

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
sub-cuenca Torca

Erick Anderson Suárez González

Michel Dayann Reyes Alcantar

Universidad Antonio Nariño

Facultad de ingeniería Ambiental & Civil

Bogotá D.C. 2020

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

Erick Anderson Suárez González

Michel Dayann Reyes Alcantar

Monografía con caso de estudio para optar al título de Ingeniero Civil

Director

Juan Pablo Rodríguez Rincón

Universidad Antonio Nariño

Facultad de ingeniería Ambiental & Civil

Bogotá D.C. 2020

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Firma jurado 1

Firma jurado 2

---

---

Firma de director

---

## TABLA DE CONTENIDO

|  |    |
|--|----|
| 1. RESUMEN.....  | 10 |
| 2. ABSTRACT .....  | 10 |
| 3. INTRODUCCIÓN .....  | 12 |
| 4. OBJETIVOS.....  | 13 |
| 4.1. GENERAL.....  | 13 |
| 4.2. ESPECIFICOS.....  | 13 |
| 5. MARCO CONCEPTUAL.....   | 14 |
| 5.1. Modelos hidrogeológicos .....   | 14 |
| 5.2. Causas de las inundaciones y su clasificación.....                        | 16 |
| 5.3. Impactos económicos y sociales de las inundaciones en áreas urbanas ..... | 19 |
| 5.4. Nivel de Vulnerabilidad.....  | 21 |
| 5.5. Gestión de riego de inundaciones en Colombia .....                        | 24 |
| 5.6. Modelo de gestión de aguas pluviales .....                                | 25 |
| 5.6.1. EPA SWMM .....  | 25 |
| 5.6.2. Arc GIS .....   | 27 |
| 6. ESTADO DEL ARTE.....  | 33 |
| 6.1. Documentos relacionados según criterio de búsqueda .....                  | 46 |
| 7. PROBLEMÁTICA.....   | 54 |

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

|       |                                  |    |
|-------|----------------------------------|----|
| 7.1.  | Formulación.....                 | 54 |
| 7.2.  | Justificación del problema ..... | 54 |
| 8.    | METODOLOGÍA .....                | 55 |
| 8.1.  | Ubicación geográfica.....        | 55 |
| 8.2.  | Toma de datos.....               | 58 |
| 8.3.  | Análisis y modelación .....      | 58 |
| 9.    | RESULTADOS.....                  | 71 |
| 10.   | CONCLUSIONES.....                | 78 |
| 11.   | RECOMENDACIONES .....            | 79 |
| 12.   | REFERENCIAS .....                | 81 |
| 13.   | ANEXOS.....                      | 86 |
| 13.1. | GLOSARIO .....                   | 86 |

## ILUSTRACIONES

|  |    |
|--|----|
| Ilustración 1. Factores del modelo hidraulico.....   | 15 |
| Ilustración 2. Desastres hidrológicos y meteorológicos a nivel mundial.....  | 20 |
| Ilustración 3. Tecnologías de ArcGIS .....   | 27 |
| Ilustración 4. Sumidero de rejilla.....  | 29 |
| Ilustración 5. Sumideros de ventana o captación lateral.....   | 30 |
| Ilustración 6. Sumideros mixtos .....  | 31 |
| Ilustración 7. Subcuenca y red de conducción pluvial.....  | 34 |
| Ilustración 8. Cruces que sufren inundaciones en la cuenca al norte de China .....   | 36 |
| Ilustración 9. Subcuencas que sufren inundaciones en Urmia.....  | 38 |
| Ilustración 10. Diagrama esquemático de la evaluación del modelo y análisis de escenarios<br>bajo cambio climático. Cuenca Yongin..... | 39 |
| Ilustración 11. Modelo SWMM de Vallikallio, con subcuencas, red de alcantarillado y<br>desagüe .....                                   | 40 |
| Ilustración 12. Coeficientes de cobertura terrestre y superficie. Cuenca Vallikallio.....  | 41 |
| Ilustración 13. Rutas de flujo en SWMM- Cuenca Vallikallio.....  | 42 |
| Ilustración 14. Esquema de marco WEB-SWMM .....  | 43 |
| Ilustración 15. Mapa topográfico y de drenaje en la cuenca Wadi Feiran.....  | 45 |
| Ilustración 16. Corrientes en la cuenca Wadi Feiran.....   | 46 |
| Ilustración 17. Ubicación geográfica subcuenca Torca.....  | 56 |
| Ilustración 18. Subcuenca torca presentada en Google Earth.....  | 57 |
| Ilustración 19. Subcuenca Torca en ArcGIS .....  | 59 |
| Ilustración 20. Subcuenca Torta en AutoCAD.....  | 60 |

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquéñ  
subcuenca Torca

|  |    |
|--|----|
| Ilustración 21. Convertidor EpaCAD .....   | 61 |
| Ilustración 22. Pozos y sumideros - Subcuenca Torca en EpaSWMM .....                               | 62 |
| Ilustración 23. Pozos y sumideros parte superior con tuberías - Subcuenca Torca en<br>EpaSWMM..... | 64 |
| Ilustración 24. Cotas Pozos y sumideros con tuberías. - Subcuenca Torca en EpaSWMM                 | 65 |
| Ilustración 25. Superficie de escorrentía Subcuenca Torca .....                                    | 66 |
| Ilustración 26 curvas IDF Bogotá.....  | 67 |
| Ilustración 27. Curva de tiempo SWMM DATE-1 periodo de retorno de 100 años.....                    | 70 |
| Ilustración 28. Curva de tiempo SWMM DATE-1 periodo de retorno de 25 años.....                     | 70 |
| Ilustración 29. Rain Gage Subcuenca Torca.....   | 71 |
| Ilustración 30 Perfil nodos 3300 a n2909 .....   | 72 |
| Ilustración 31 perfil nodos 3300 a n2909 corregido.....  | 72 |
| Ilustración 32. Perfil nodos 3300 a n2909 retorno a 100 años .....                                 | 75 |
| Ilustración 33 Perfil nodos 1582 a 8700 retorno a 100 años .....                                   | 75 |
| Ilustración 34 Perfil nodos 1602 a 4100 retorno a 100 años .....                                   | 76 |

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

TABLAS

|   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| Tabla 1. Factores naturales y antropogénicos en inundaciones.....                   | 18                                   |
| Tabla 2. Países en América Latina con más ocurrencia de inundaciones.....           | 21                                   |
| Tabla 3 . Índices de vulnerabilidad.....  | 23                                   |
| Tabla 4. Entidades para el desarrollo de riesgos por inundaciones en Colombia ..... | 24                                   |
| Tabla 5. Artículos relacionados según criterio de búsqueda .....                    | 46                                   |
| Tabla 6 intensidad periodo de retorno 100 años .....                                | 68                                   |
| Tabla 7. Resultados periodo de retorno a 100 años. ....                             | 74                                   |
| Tabla 8. Resultados periodo de retorno a 25 años. ....                              | 77                                   |
| Tabla 9 Listado de resultados obtenido .....  | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |



## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecer en primer lugar a Dios por el don de la vida, a nuestros padres, hermanos y demás familiares por su apoyo incondicional en todo este proceso, también, a nuestros amigos por su motivación y aliento en cada paso siendo la razón fundamental para seguir adelante

Agradecemos de todo corazón al Doctor Juan Pablo Rodríguez Rincón, por su colaboración, paciencia, criterio, ayuda, caracterizado siempre por una excelente actitud y ver siempre las cosas con optimismo pese a las adversidades que se fueron presentando en el camino.

Gracias al ingeniero Néstor Rafael Perico, por compartir con nosotros su extenso conocimiento acerca de los distintos software que existen para diseño de redes hidráulicas.

Extendemos nuestro agradecimiento a La Empresa De Acueducto y Alcantarillado de Bogotá por ser la fuente principal de la información, sin su apoyo no hubiera sido posible la realización de este trabajo, a su vez, a la ingeniera Dennis Sherly Vanegas de la dirección técnica y geográfica, por toda su gestión para los tramites y solicitudes.

## 1. RESUMEN

Bogotá es un escenario que debido a su mal manejo y proyección ha sufrido daños por fuertes precipitaciones repentinas, que han generado pánico en diferentes zonas de la ciudad, una de ellas es el sector de Usaquén donde las fuertes lluvias expusieron grandes inundaciones que originaron pérdidas materiales, colapso en el tránsito y una afectación en el comercio.

En la actualidad, no se han realizado estudios a profundidad sobre las causas de este fenómeno en el sector, por tal razón, con la única información que se cuenta es la brindada por las instituciones tales como el Instituto Nacional de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), y por el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio climático (IDIGER), donde se tendrá en cuenta para este modelo, la curva IDF con un periodo de 100 años de Bogotá, para el estudio de la precipitación en un periodo de retorno de 100 años, adicionalmente, la de empresa Acueducto y alcantarillado de Bogotá para los datos de las localizaciones de los sumideros, tuberías, pozos y canales, siendo el resultado de una labor de levantamiento topográfico en el 2019.

Este proyecto tiene como objeto, realizar modelaciones hidrometeorológicas de la zona urbana de Usaquén específicamente en la subcuenca Torca, haciendo uso de distintos softwares como son ArcGIS, EPA SWMM y EpaCAD para el estudio de este fenómeno climatológico analizando variables como la escurrentía y el tiempo para así poder establecer las zonas más vulnerables a inundaciones en el sector.

## 2. ABSTRACT

Bogotá is a scenario that due to its mismanagement and projection has suffered damage from sudden heavy rains, which have generated panic in different areas of the city, one of them is the Usaquén sector where heavy rains exposed large floods that caused material losses, collapse in traffic and an impact on commerce.

At present, no in-depth studies have been carried out on the causes of this phenomenon in the sector, for this reason, the only information available is that provided by institutions such as the National Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies. (IDEAM), and by the District Institute for Risk Management and Climate Change (IDIGER), where the IDF curve with a period of 100 years will be taken into account for this model, for the study of precipitation in a return period of 100 years of Bogota city, additionally, that of the company Aqueduct and sewerage of Bogotá for the data of the locations of the sumps, pipes, wells and channels, being the result of a topographic survey work in 2019.

The purpose of this project is to carry out hydrometeorological modeling of the urban area of Usaquén specifically in the Torca sub-basin, making use of different software such as ArcGIS, EPA SWMM and EpaCAD for the study of this climatological phenomenon, analyzing variables such as runoff and time to thus to be able to establish the most vulnerable areas to floods in the sector.

### **3. INTRODUCCIÓN**

A lo largo de la historia, la construcción ha sido indispensable en el desarrollo del hombre, implicando la diversificación de su cultura, autosuficiencia y bienestar general.

Sin embargo, construir de manera exagerada y errónea a dañado el medio que nos rodea y la remoción de importantes capas de suelo, donde la contaminación existente en algunos cuerpos de agua y el colapso de los sistemas pluviales y de alcantarillado pueden ser advertencias de una mala ejecución.

Estos colapsos pueden generar pérdidas económicas, paralización en el tráfico y temor en sus habitantes, como es el caso de la localidad de Usaquéñ Subcuenca Torca donde a final del año 2019 se presentaron advertencias de una mala realización.

Este proyecto se realiza con el fin de observar y de analizar el comportamiento de dichos sistemas en las obras de ingeniería ya que son de máxima importancia porque nos muestran su funcionamiento y si en dado caso necesitan una nueva instalación o un mantenimiento para ofrecer el máximo de seguridad. Dicho análisis se realizó principalmente con el programa EPA SWMM 5.1. donde se encontraron diferentes puntos de colapso con una escorrentía obtenida en las estaciones meteorológicas del IDEAM.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1. GENERAL:

Evaluar la capacidad de respuesta y comportamiento del sistema pluvial de la subcuenca Torca ubicada en la localidad de Usaquén en la ciudad de Bogotá al simular las condiciones en el momento de una escorrentía y precipitación en un periodo de retorno de 100 años en modelo EPA SWMM 5.1.

### 4.2. ESPECIFICOS:

- Analizar y validar la veracidad de la información contenida en la base de datos del sistema de alcantarillado pluvial de la ciudad de Bogotá.
- Evaluar la capacidad de respuesta del sistema de alcantarillado pluvial ubicado en la localidad de Usaquén de la ciudad de Bogotá en condiciones normales y extremas.
- Analizar los resultados de la simulación del comportamiento desde la cuenca hasta los sistemas de drenajes de la zona de estudio con los parámetros obtenidos mediante el uso del programa EPA SWMM 5.1, basados en las variaciones que se puedan efectuar en el modelo.
- Estimar el funcionamiento general de la red de alcantarillado pluvial dadas las situaciones a las que es expuesta.

## 5. MARCO CONCEPTUAL

### 5.1. Modelos hidrogeológicos

La capacidad del sistema pluvial se determina por medio de una evaluación de las patologías existentes y sobrevivientes que permitan definir el tiempo de vida útil estructural de las unidades, a su vez, el periodo de vida hidráulico es posible calificar cualitativa y cuantitativamente de acuerdo con el nivel de cumplimiento de cada unidad con respecto a las exigencias técnicas de la norma R.A.S. 2000, su funcionalidad, operación, mantenimiento y limpieza que se haga. (Zúñiga O, Ramírez H- UNAL,2010)

La infiltración es un proceso en el que, el agua atraviesa la superficie del suelo de una cuenca, dependiendo de la velocidad de penetración y la porosidad del suelo, dependiendo también, de las características del mismo, y su tipo de cobertura ya es esto también determina si las pérdidas de caudal son mayores o menores en la cuenca. Proceso que se ve interrumpido por la construcción de las vías y nuevas edificaciones disminuyendo la capacidad de infiltración del suelo casi a cero (Guevara, 2004)

La escorrentía, es un parámetro clave para el estudio de la hidrología de una cuenca, siendo este, fundamental para eventualidades de este contexto y a las pérdidas de precipitación, factores que hacen parte de un sistema fluvial desde su inicio hasta la producción de escorrentía. Método empleado para la estimación del umbral fue desarrollado por el US Soil Conservation Service –SCS- en el año 1972; dicho método emplea, principalmente, la pendiente, vegetación, uso y características hidrológicas del suelo.

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

El modelo hidraulico que se aplicará para determinar el comportamiento de la cuenca a analizar debe tener en cuenta diversos factores, algunos de los factores básicos del modelo se pueden observar en la ilustración 1.

*Ilustración 1. Factores del modelo hidraulico*



FUENTE: ELABORACION PROPIA con base a IDEAM, 2013

Los componentes mencionados anteriormente deben ser tenidos en cuenta dependiendo el tipo de modelado a realizar (IDEAM, 2013).

## 5.2. Causas de las inundaciones y su clasificación

Para realizar las diferentes modelaciones para el sistema de alcantarillado de la zona urbana localidad de Usaquén se debe estudiar si las inundaciones ocurren por un colapso en el sistema pluvial o si este está construido de manera incorrecta, estas modelaciones se realizan mediante diversas variables (Schütze et al., 2002). El proceso de lluvia Escorrentía, el flujo de agua dentro del sistema de alcantarillado y contaminantes dentro de estos sistemas, son unos de estos factores para realizar estos procesos.

La generación de escorrentía se estudia ya que las cuencas sufren diferentes daños a lo largo del tiempo, que aumenta la susceptibilidad del área urbana, tales como, un incremento del volumen, menor tiempo en el pico del hidrograma y por último el incremento del caudal máximo (Codner et al., 1988). El exceso de precipitación en estas áreas se puede llegar a infiltrar, quedar sobre puesta en la superficie o llegar hasta almacenarse dañando las capas del suelo, para la modelación de dichos procesos se deben tomar diferentes contextos en el área urbana, como lo son:

- Pérdidas iniciales: Estas pérdidas se toman de acuerdo con la intercepción ( $<1$  mm) y el almacenamiento en depresiones (0.5 - 2 mm para las superficies impermeables y de 2.5 - 7.5 mm para las superficies permeables)
- Perdidas continuas: Se deben a la evapotranspiración y la infiltración.



Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

- Flujo superficial: Cuando ya se han tenido en cuenta la lluvia que se transforma en escorrentía, se usan modelos para transformar dicha lluvia como lo son el hidrograma unitario, método de área tiempo y el método de embalses.

La acumulación y el lavado de contaminantes son importantes ya que las aguas pueden estar altamente contaminadas, estas aguas se transportan hacia el drenaje haciendo que genere impactos negativos en los sistemas de alcantarillado. Para el estudio de esta acumulación se necesitan estudiar los siguientes aspectos. (Butler y Davies, 2000).

- Aportes atmosféricos al sistema de drenaje: Estos se clasifican en húmedo, seco y combinado.
- Arrastre de contaminantes: Se da mediante sedimentos de lluvia o procesos de lavado.
- Modelación matemática del fenómeno de acumulación: Existen diversos métodos para dicha modelación: la relación lineal y la relación exponencial.
- Modelación matemática del fenómeno de lavado: Se debe asumir que existe una reserva máxima de contaminantes.

Para las modelaciones de los flujos en el sistema de alcantarillado se realizan dos enfoques, tanto el modelo conceptual como el modelo basado en leyes físicas. Estos modelos corresponden a:

- Modelos Hidráulicos: Se destacan para los flujos detallados en una cuenca.
- Modelos hidrológicos: Son las soluciones para las modelaciones de los flujos.

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

Las inundaciones se presentan por una combinación de agentes hidrológicos y meteorológicos (Abhas K, 2012) y sus tipos se basan en los desastres, el periodo de años y la ocurrencia que se pueden presentar en las ciudades. Esta información es importante ya que hay que tener en cuenta como se presentan estas inundaciones para así saber cómo tratarla ya que pueden existir factores naturales y antropogénicos que influyan en ellas. (Ver tabla 1.)

*Tabla 1. Factores naturales y antropogénicos en inundaciones.*

| Tipo de desastre    | Periodo de tiempo   | Ocurrencia   |
|---------------------|---|--|
| Pluvial y terrestre | Se puede presentar debido a tormentas colectivas, lluvias severas o terremotos causantes de deslizamientos de tierras | Cambios en el uso del suelo y en su urbanización   |
| Inundación urbana   | Repentina y pluvial   | Saturación de la capacidad de drenaje y el alcantarillado.<br><br>Falta de permeabilidad en el pavimento.<br><br>Drenaje defectuoso y sin mantenimiento. |

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

|                           |   |  |
|---------------------------|---|--|
| Aguas subterráneas        | Alto nivel freático con altas lluvias           | Desarrollo en zonas bajas e interferencia con acuíferos naturales  |
| Inundación relámpago      | Ríos, sistemas pluviales o tormentas colectivas | Falla de infraestructura y drenaje insuficiente.   |
| Inundación semipermanente | Hundimiento de la tierra                        | Sobrecarga del drenaje, mal desarrollo urbano, falla de los sistemas e inadecuada gestión de aguas subterráneas. |

FUENTE: PROPIO con base a Aragón, 2014

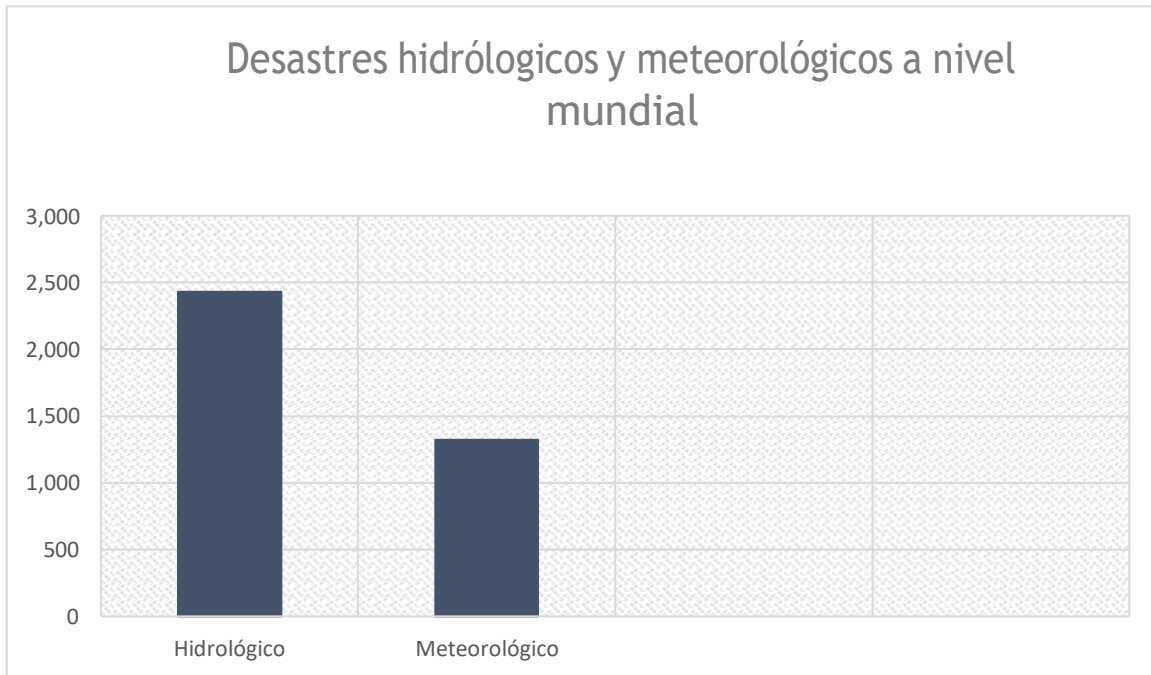
### 5.3. Impactos económicos y sociales de las inundaciones en áreas urbanas.

Es necesario verificar la ocurrencia de los desastres hidrológicos y meteorológicos a nivel mundial y en América Latina para así mismo tener en cuenta el nivel de riesgo que poseemos y las pérdidas que se generan. “Los desastres naturales produjeron a nivel mundial pérdidas económicas de un aproximado de 370 mil millones de dólares y la muerte de 35 mil personas” (Swiss Re, 2012). Para este análisis se toma en cuenta las estadísticas del CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters).

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquéñ  
subcuenca Torca

Los resultados de los últimos 12 años aseguran según la CRED que los eventos de desastres hidrológicos y meteorológicos predominan en América Latina, como se observa en la ilustración 2.

*Ilustración 2. Desastres hidrológicos y meteorológicos a nivel mundial.*



FUENTE: PROPIO con base a la CRED

Ocurrieron 1.324 desastres meteorológicos y 2.431 hidrológicos, indicando la gran cantidad de desastres que se presentan por este tipo a nivel mundial y así mismo el impacto que presenta en las personas afectadas y su impacto económico. Para América Latina las inundaciones son el tipo de desastre que más se presenta según la CRED, a continuación, se refleja en la tabla 2. los 5 países con más ocurrencia en América Latina y su impactos económicos y sociales.

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

Tabla 2. Países en América Latina con más ocurrencia de inundaciones

| País      | Ocurrencia | Muertes | Población<br>afectada | Daños totales<br>(USD) |
|-----------|------------|---------|-----------------------|------------------------|
| Argentina | 48         | 836     | 14,102,249            | 9,998,210              |
| Brasil    | 121        | 7,404   | 15,077,504            | 8,962,254              |
| México    | 61         | 4,319   | 4,837,528             | 4,49,400               |
| Colombia  | 71         | 2,675   | 15,301,018            | 3,579,353              |
| Venezuela | 29         | 30,396  | 900,442               | 3,497,126              |

FUENTE: PROPIO con base a la CRED

Estos resultados pueden variar dependiendo del nivel de resiliencia y vulnerabilidad de cada país y aparte de las consecuencias ya vistas se pueden presentar daños socioculturales y ambientales. (Aragón, 2014)

#### 5.4. Nivel de Vulnerabilidad

Además de tomar en cuenta el estudio del sistema de alcantarillado, se debe analizar las inundaciones en diferentes áreas urbanas, y así mismo la vulnerabilidad que se presenta en estas, para poder llegar a predecir escenarios de futuras inundaciones(*CLIMATOLÓGICO MENSUAL - IDEAM*, n.d.).

Existen varias alternativas y métodos para realizar dichos estudios. Uno de ellos corresponde a la evaluación de las áreas de vulnerabilidad en las estaciones del río Xingu. Lo primero que

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

realizaron fueron las respectivas investigaciones de los datos fluxómetros de un periodo de retorno de 100 años, para luego delimitar el nivel que se quería evaluar. La metodología que se desarrollo fue orientada por Szlafsztein et al. (2010) donde se adopta variables socioeconómicas que puede subir el índice de vulnerabilidad. Estas variables están definidas como la población total y el nivel educativo

Con la tabla 3. se pretende escoger un indicador de vulnerabilidad para así poder relacionarlo con las áreas de riesgo. Estos indicadores se deben realizar con diferentes métodos para así lograr una correlación correcta. Algunos de estos métodos son:

- Coeficiente de determinación ( $R^2$ ): Aquí se debe utilizar la correlación del momento- producto de Pearson. Este se da cuando existen dos variables relacionadas (Triola,1999).
- Prueba t: Se da para evaluar estadísticas entre las muestras de los datos que se toman. Según este método la fórmula que se utiliza para desarrollar el índice de vulnerabilidad en la siguiente:

$$IVS = \frac{(PT + PIN + PID + E + P)}{5}$$

PT=Población total

PIN=Índice población infantil

PID=Población antigua

E= Nivel educativo,

P=Pobreza

Tabla 3 . Índices de vulnerabilidad.

| VARIABLES          | ACRONIMO | DEFINICIÓN   | IMPORTANCIA  |
|--------------------|----------|--|--|
| Población total    | PT       | Proporción (%) de la población total del Estado que corresponde a la población del municipio.                    | La decisión de ubicar poblaciones en áreas susceptibles a amenazas aumenta la vulnerabilidad de la sociedad (KATAYAMA, 1993).  |
| Población de niños | PIN      | Proporción (%) de la población total correspondiente a niños entre 0 y 4 años.                                   | Los niños suelen estar entre las primeras víctimas en períodos de desastre debido a su alta dependencia de la familia. Los efectos de los desastres van desde el físico (por ejemplo, pérdida de vidas y lesiones) hasta el pánico psicológico y las incertidumbres asociadas con la evacuación (UNDRO, 1992). |
| Población adulta   | PID      | Proporción (%) de la población total, correspondiente a personas mayores de 60 años.                             | Las personas mayores sufren cuando sus hogares deben ser evacuados y presentan dificultades para recuperarse de la pérdida de sus pertenencias y otras economías (QUARENTELLI, 1994).  |
| Nivel de educación | E        | Proporción (%) de la población total, que tiene menos de 4 años de estudio.                                      | Las personas que aún no han completado la primera etapa de la educación primaria en Brasil, el antiguo curso primario de cuatro años, llamado el primer ciclo de la educación primaria y regulado por la Ley y las bases de la educación en 1996.  |
| Nivel de pobreza   | P        | Proporción (%) de la población, correspondiente a jefes de hogar con ingresos inferiores a dos salarios mínimos. | La pobreza está estrechamente relacionada con la marginación social y la falta de acceso a los recursos, lo que hace de este grupo de población el objetivo principal de los impactos de los desastres y el cambio climático (SZLAFSTEIN, 1995).   |

FUENTE: Szlafstein et al. (2010)

Pasando al tema del cálculo del nivel de inundaciones máximas se utilizó modelaciones matemáticas para las superficies reales a partir de logaritmos y un conjunto de puntos llamados (x,y,z) (ASSAD; SANO, 1998)

Los resultados de esta investigación muestran la evolución de la cota del río Xingu, durante los últimos 44 años. Se observaron variaciones tanto negativas como positivas para distintos periodos de tiempo, se pudo evaluar también modelos digitales para observar la

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

zona de inundación y la vulnerabilidad de dicha zona, obteniendo también los principales afluentes del área urbana.

5.5. Gestión de riesgo de inundaciones en Colombia.

“La problemática de las inundaciones empieza con la arquitectura, competencias y responsabilidades de las entidades” (Aragón, 2014). Esto se hace con el fin de realizar un plano local de la ciudad que se va a estudiar. En la siguiente información (tabla 4) se mencionarán dichas entidades y su participación en los riesgos por inundaciones.

Tabla 4. Entidades para el desarrollo de riesgos por inundaciones en Colombia.

| ARREGLOS INSTITUCIONALES<br>PARA LA REDUCCIÓN DE<br>DESASTRES                         | IMPLICACIÓN   |
|---|---|
| Coordinación inter institucional  | Los tres ámbitos de planeación (nacional, distrital y municipal) integren la gestión de riesgos por inundaciones. |
| Transversalización de la gestión de riesgo de desastres en los sectores de desarrollo | Análisis del impacto económico y las vulnerabilidades que dejan los fenómenos climáticos                          |



Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquéñ  
subcuenca Torca

|   |  |
|---|--|
| Descentralización de la gestión de riesgo de desastres en la planificación del desarrollo | Priorizar, programar y ejecutar actividades para disminuir el riesgo del desastre.   |
| Coordinación local y autonomía en el manejo de desastres.                                 | Intervenir en el desastre que se presente con los diferentes organismos de emergencia.   |
| Sistema nacional de gestión de Riegos   | A partir de los impactos que generen las inundaciones se genera una prevención a todos los niveles y entidades que generen prevención. |

FUENTE: PROPIO con base a “Argón, 2014”

## 5.6. Modelo de gestión de aguas pluviales.

### 5.6.1. EPA SWMM

EPA SWMM es un modelo dinámico creado en 1971 capaz de realizar simulaciones de precipitaciones, estas simulaciones se pueden utilizar para periodos extendidos y permite evaluar la calidad como cantidad del agua evacuada (Manual de usuario SWMM 5.0, 2005).

El programa contiene diferentes módulos para su correcto funcionamiento, entre estos tenemos:

- Módulo de escorrentía: Funciona con diferentes cuencas donde cae el agua de lluvia.
- Módulo de transporte: Analiza el recorrido que tiene el agua en las tuberías, canales, bombas, entre otros. También funciona para seguir la evolución de la calidad y

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

cantidad de escorrentía como el caudal y el nivel del agua en distintos intervalos de tiempo.

Entre las características de este modelo que produce diferentes procesos hidrológicos en la salida de las aguas urbanas se encuentran:

- Precipitación en diferentes variables de tiempo.
- Evaporación de las aguas estancadas.
- Acumulación de nieve.
- Intercepción de precipitaciones por almacenamiento.
- Entrada de agua de infiltración.
- Infiltración de precipitaciones.
- Intercambio de flujo en acuíferos.
- Intercambio de flujo en el sistema de drenaje.
- Modelos no lineales para el flujo superficial.

Asimismo, el programa contiene variedades de herramientas para modelar características hidráulicas como lo son:

- Se pueden manejar redes de tamaño ilimitado.
- Amplia variedad de geometrías para conducciones abiertas y cerradas.
- Modela bombas, vertederos y orificios.
- Aplicar caudales externos para conocer la calidad del agua superficial.
- Conocer caudales de los acuíferos, caudales de infiltración, caudales sanitarios en tiempo seco y definidos por el usuario.

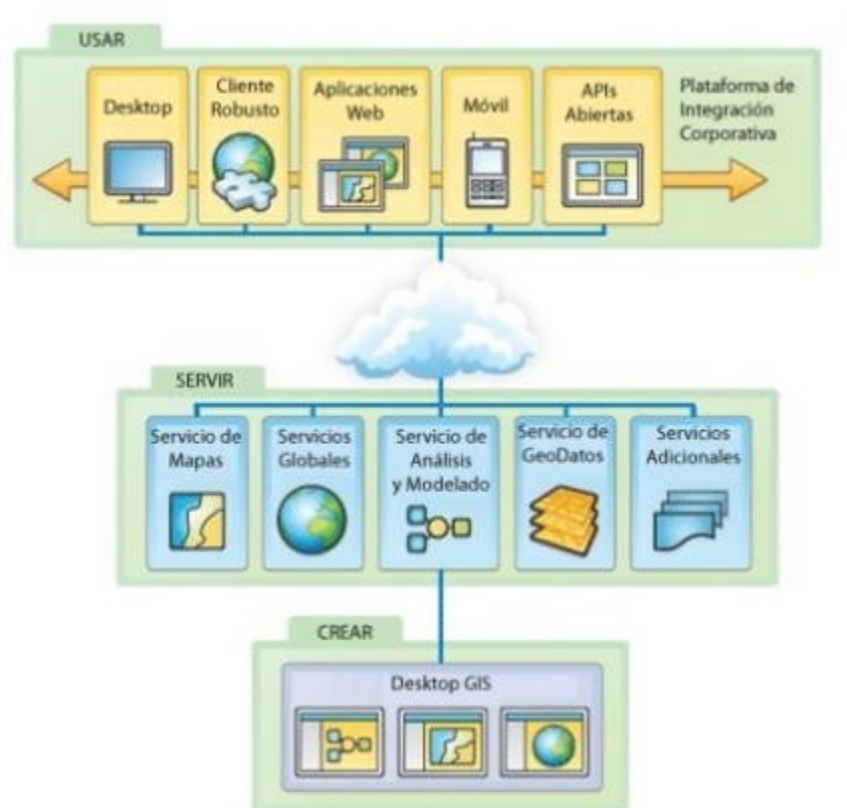
Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

- Análisis hidráulico por flujo uniforme, onda cinemática y dinámica.
- Modelar regímenes de flujo como el remanso, entrada de carga y flujos inversos.
- Controles dinámicos en bombas, orificios y crestas de un vertedero.

### 5.6.2. Arc GIS

Arc GIS es por el momento la tecnología número uno en referencia en los sistemas de información Geográfica. Este programa nos sirve para elaborar mapas e infraestructuras con información geográfica (E. Bermejo, 2020). En la ilustración 4. podemos observar el diagrama explicativo de las tecnologías ArcGIS.

*Ilustración 3. Tecnologías de ArcGIS.*



FUENTE: E. Bermejo (2020).

## Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén subcuenca Torca

Estas tecnologías están compuestas por herramientas que permiten crear, manipular, administrar, editar, analizar y distribuir toda la información geográfica necesaria para las fases de un proyecto (E. Bermejo, 2020). Entre estas herramientas encontramos:

- Datos geográficos con digitalización.
- Dibujar y editar mapas.
- Trabajar con datos en tiempo real.
- Almacenar información con datos geográficos.
- Calcular y diseñar redes.
- Visualizar propiedades en 2D y 3D.
- Controlar datos.
- Publicar información geográfica para que quede acceso a cualquier usuario.

### 5.6.3. EpaCAD

EpaCAD es un programa que permite convertir datos de AutoCAD a EPANET, este reconoce automáticamente las principales propiedades de los elementos de la red (UNIVERSITAT POLITECNICA DE VALENCIA, 2020).

### 5.7. Marco normativo.

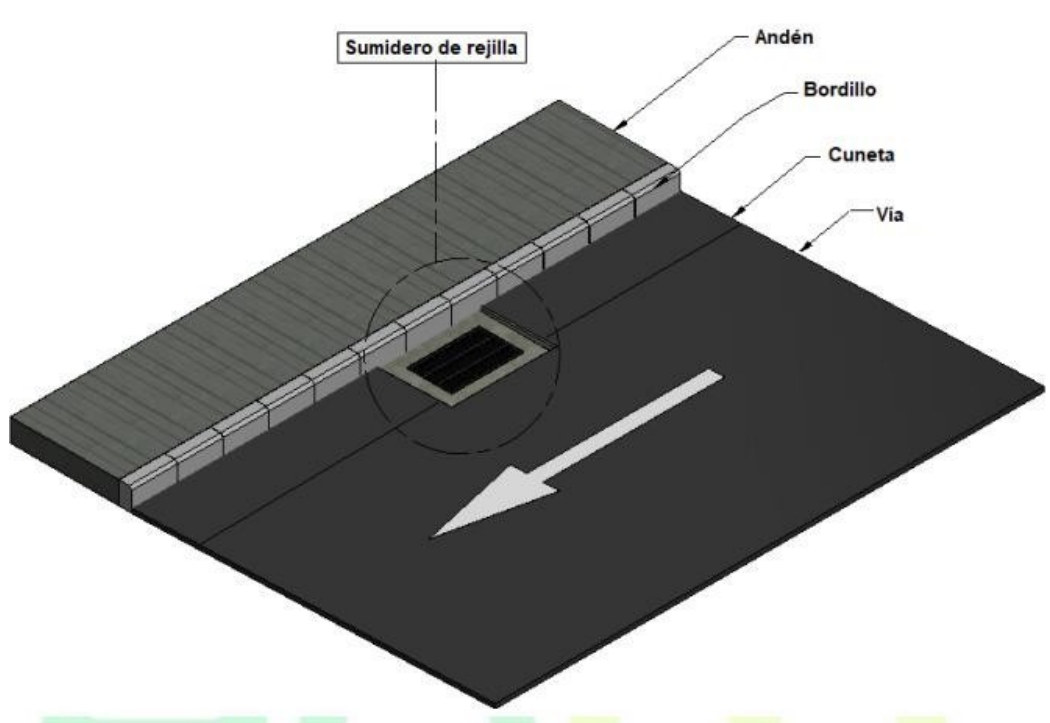
La normatividad para el diseño de sistemas pluviales y de alcantarillado se debe tener en cuenta para establecer los requisitos técnicos para su correcta construcción y ejecución; siendo necesaria una investigación adicional ya que la información brindada por la empresa de Acueducto de Bogotá presenta inconsistencias.

5.7.1. Norma de construcción de sumideros: Norma técnica de producto NS – 047 -  
Sumideros, Acueducto y alcantarillado de Bogotá EAAB.

Esta norma aplica para todas las construcciones de sumideros que se realizan  
en la red tales como:

- 1.1.1. Sumideros de rejilla tipo A y tipo B: Poseen una abertura con rejilla en el piso de la  
cuneta adyacente al borde del andén. Esta debe quedar entre 0.01 m a 0.02 m de la  
rasante de la vía.

Ilustración 4. Sumidero de rejilla.

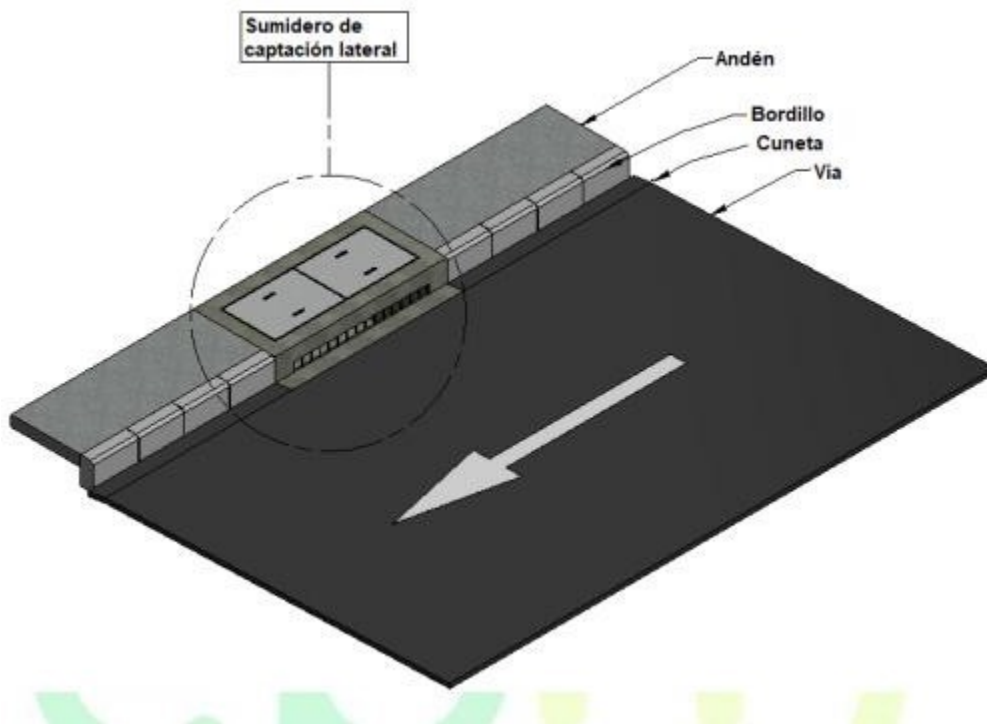


FUENTE: NORMA TÉCNICA DE PRODUCTO NS – 047 - SUMIDEROS,  
ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ EAAB.

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquéen  
subcuenca Torca

- Sumideros de ventana o captación lateral: Constan de una abertura sobre la cara vertical del borde del andén, una ventana con ligera depresión para la acumulación de agua.

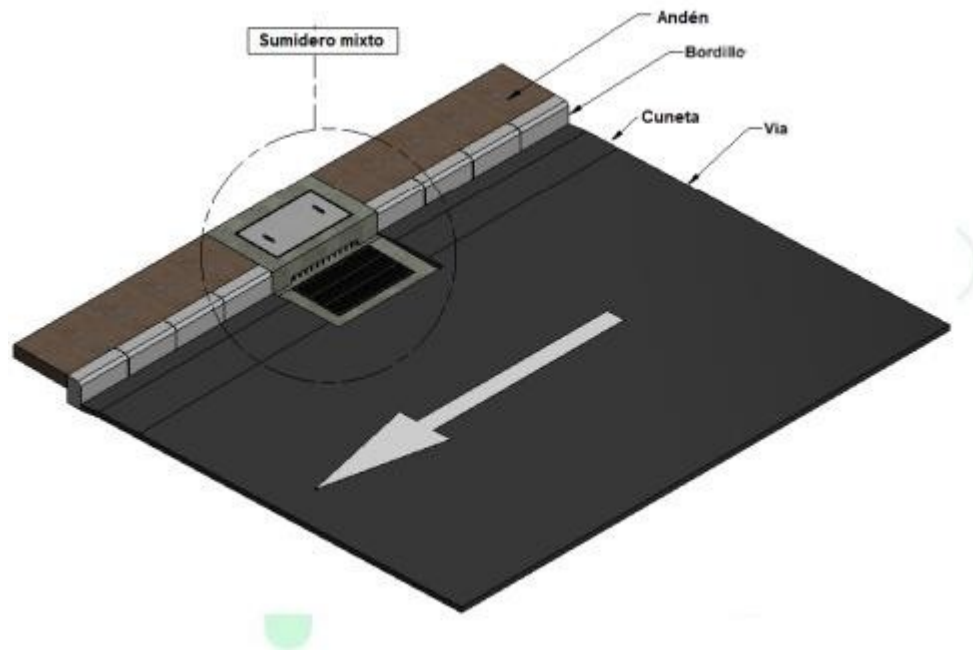
Ilustración 5. Sumideros de ventana o captación lateral



FUENTE: NORMA TÉCNICA DE PRODUCTO NS – 047 - SUMIDEROS,  
ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ EAAB.

- Sumideros mixtos: Están compuestos por sumideros de rejilla y de ventana para aumentar el área de captación. Se utilizan en zonas donde la pendiente longitudinal sea mayor a 3%.

Ilustración 6. Sumideros mixtos.



FUENTE: NORMA TÉCNICA DE PRODUCTO NS – 047 - SUMIDEROS,  
ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ EAAB.

Sus generalidades son:

- Para su localización se debe tener en cuenta los cruces de las vías, los sectores para peatones, parqueaderos en sótanos, zonas de andén, pendiente de la vía, puentes o terraplenes y sitios de captación de sedimentos.
- Deben tener un espaciamiento de máximo 80 cm, asimismo estar conectados a cámaras de inspección.
- El caudal de escorrentía no debe sobrepasar la capacidad hidráulica del sistema.
- Su instalación depende del flujo, topografía y el sector.

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

1.1.2. RAS: Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico Ras –  
2000, Título A.

Esta norma tiene como objeto señalar los reglamentos técnicos para cumplir los diferentes diseños en el sector de agua potable. Esta norma se requiere para que todos los proyectos que se lleven a cabo en el territorio nacional se ajusten a los siguientes procedimientos:

- Definir el nivel de complejidad del sistema.
- Justificar el proyecto y la definición de su alcance.
- Conocimiento del marco institucional
- Acciones legales.
- Aspectos ambientales.
- Ubicación dentro de los planes de ordenamiento territorial y desarrollo urbano.
- Estudios previos.
- Estudios socioeconómicos.
- Diseños y requerimientos técnicos.
- Selección de materiales y equipos.
- Construcción e interventoría.
- Puesta en marcha, operación y mantenimiento.

1.1.3. Norma técnica NP-032 de tuberías para acueducto de Bogotá EAAB Versión 9.



Esta norma establece los tipos de tubería y los requisitos que deben cumplir para las redes de acueducto, conducciones, líneas primarias, secundarios y de menor distribución. Es necesaria ya que esta nos ayuda para la construcción y mantenimiento de las redes.

## 2. ESTADO DEL ARTE

Desde que la humanidad ha avanzado en su urbanización también ha aumentado la contaminación en las escorrentías de lluvias haciendo que los expertos analicen estos problemas para así mismo mejorar los niveles de los sistemas de control de las aguas pluviales. Para esto es necesario investigar y estudiar las características de la escorrentía, de la lluvia, de descarga, drenaje y el grado de contaminantes que posee la lluvia.

Para realizar dichas investigaciones es necesario tener en cuenta el área de demostración, los modelos regionales, las instalaciones de almacenamiento y filtración de escorrentías y los eventos de lluvia (Water Science and Engineering, 2016) y para obtener correctamente los datos del nivel de participación de una cuenca en el modelado sobre escorrentía en aguas pluviales, se debe tener en cuenta la superposición en GIS, la adecuada división de las subcuencas, las direcciones de flujo del sistema, la pendiente y la situación actual de la zona de estudio (S.Y. Parka, K.W. Leeb, I.H. Parkb, S.R. Hab, 2008).

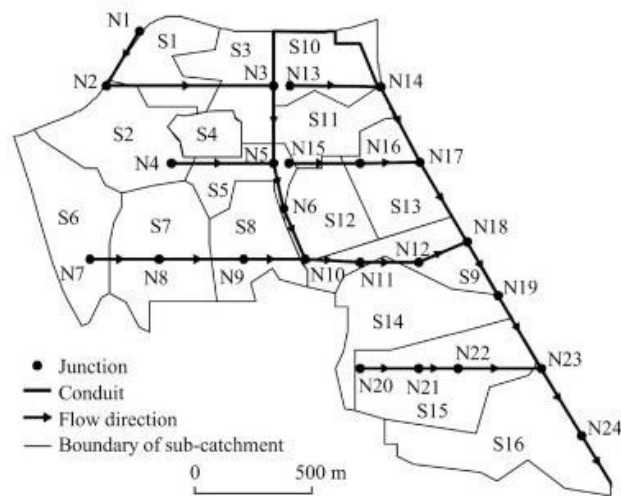
Al día de hoy se presentan algunos avances sobre modelos de simulación de escorrentías con SWMM en diferentes escenarios, una de ellas se presenta en “Layout effects and optimization of runoff storage and filtration facilities based on SWMM simulation in a demonstration área, 2016” donde se realiza una investigación en una ciudad al norte de

## Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquéen subcuenca Torca

China, esta ciudad tiene una área de 2 km aproximadamente y cuenta con una zona de recreación y entretenimiento en su parte noroeste y en la parte sureste cuenta con una zona residencial y comercial.

Esta información es necesaria y crucial para verificar donde se encuentra mayor superficie con porcentaje verde e impermeable. También se tomaron datos meteorológicos de los últimos 20 años, su precipitación mensual, estaciones, tormentas y drenajes. A continuación, se presenta el diagrama de planificación (ilustración 6) de las tuberías correspondientes al agua de lluvia realizado por SWMM, donde se encuentran 16 subcuencas y 24 nodos.

Ilustración 7. Subcuenca y red de conducción pluvial.



FUENTE: Water Science and Engineering, (2016)

Para la modelación digital se analizó la información hidrológica con ArcGIS 9.3, teniendo los datos en ArcGIS se importaron a SWMM y se realizaron los cambios necesarios en las

## Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén subcuenca Torca

subcuencas, tuberías, nodos y desagües. Ya que los cambios en el terreno y la topografía eran pequeños entonces se consideró como referencia para el posterior desarrollo urbano. Su validación y confiabilidad se garantizaron incluyendo porcentajes de impermeabilidad, coeficiente de rugosidad de Manning y parámetros de lavado y acumulación.

Para las instalaciones de filtración y almacenamiento se asumió que las aguas lluvias llegan a la subcuenca y luego se descarga en el pozo, teniendo en cuenta la succión y la conductividad necesaria ya que se pueden tener contaminantes por sedimentación o filtración.

En conclusión y con base a los datos y resultados simulados con lluvias de 30, 50 y 80 mm de precipitación y con un tiempo de 2 horas, se indicó que las instalaciones de filtración y almacenamiento pueden controlar perfectamente el flujo de salida máximo y cortar el caudal máximo, haciendo que en recomendación se deba reducir la presión de la red de tuberías en las altas precipitaciones. Los cruces que sufren inundaciones con las altas precipitaciones (80 mm) son los marcados en la ilustración 7.

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquéñ  
subcuenca Torca

Ilustración 8. Cruces que sufren inundaciones en la cuenca al norte de China.

| Empalme<br>no. | Duración del<br>anegamiento (h) | Flujo<br>máximo (m <sup>3</sup> / s) | Hora de ocurrencia<br>del flujo máximo | Volumen total de<br>inundación (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ) |
|----------------|---------------------------------|--------------------------------------|--|--|
| N1             | 1.06                            | 2.423                                | 00:27                                  | 1.829  |
| N2             | 0,87                            | 0.903                                | 01:19                                  | 1,697  |
| N3             | 0,67                            | 2.703                                | 00:28                                  | 1.595  |
| N4             | 0,17                            | 1.356                                | 00:26                                  | 0,286  |
| N5             | 0,39                            | 1.668                                | 00:33                                  | 1.240  |
| N7             | 0,91                            | 0,800                                | 00:58                                  | 1.490  |
| N8             | 1.06                            | 1.285                                | 01:09                                  | 2.998  |
| N9             | 0,74                            | 0,926                                | 00:58                                  | 1,191  |
| N11            | 1,61                            | 1.431                                | 00:50                                  | 5.896  |
| N12            | 1,22                            | 0,912                                | 00:53                                  | 2.324  |
| N13            | 0,78                            | 1.868                                | 00:26                                  | 2.341  |
| N14            | 1,14                            | 1.987                                | 00:29                                  | 3.144  |
| N15            | 0.47                            | 0.555                                | 01:42                                  | 0.484  |
| N16            | 0.48                            | 0,279                                | 01:45                                  | 0,275  |

FUENTE: Water Science and Engineering, (2016)

Así mismo también podemos observar que la escorrentía en el área urbana ha estado aumentando de manera significativa debido al aumento de superficies permeables. Para esto es necesario mitigar las posibles inundaciones en las temporadas de lluvias, en algunos casos la falta de información ha ocasionado estragos hidráulicos y por tanto es necesario adoptar un medio de simulación para estimar la escorrentía superficial y evaluar la precisión del sistema de drenaje (Ghazavi y Erfanian, 2020).

## Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén subcuenca Torca

La siguiente área de estudio que se investigó en el artículo “Simulación de inundaciones urbanas y priorización de subcuencas urbanas críticas utilizando el modelo SWMM y el enfoque PROMETHEE II” queda en la ciudad de Urmia ubicada al noroeste de Irán. Para el cálculo de su escorrentía superficial, la cuenca se dividió en 22 subcuencas, con 341 nodos y 372 tuberías.

Como anteriormente se había mencionado para el modelamiento es necesario conocer el coeficiente de rugosidad de Manning, la profundidad del almacenamiento y las áreas permeables e impermeables. El periodo de retorno se tomó a 2, 5, 10, 20, 50, 100 y 200 años.

Se analizaron tres eventos de lluvia en la salida de la subcuenca 11 (ilustración 8.) donde la precipitación es superior a 18 mm causando inundaciones en la mayor parte de esta ciudad, la probabilidad de que ocurra este evento en los periodos de retorno es del 93%.

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

Ilustración 9. Subcuencas que sufren inundaciones en Urmia.

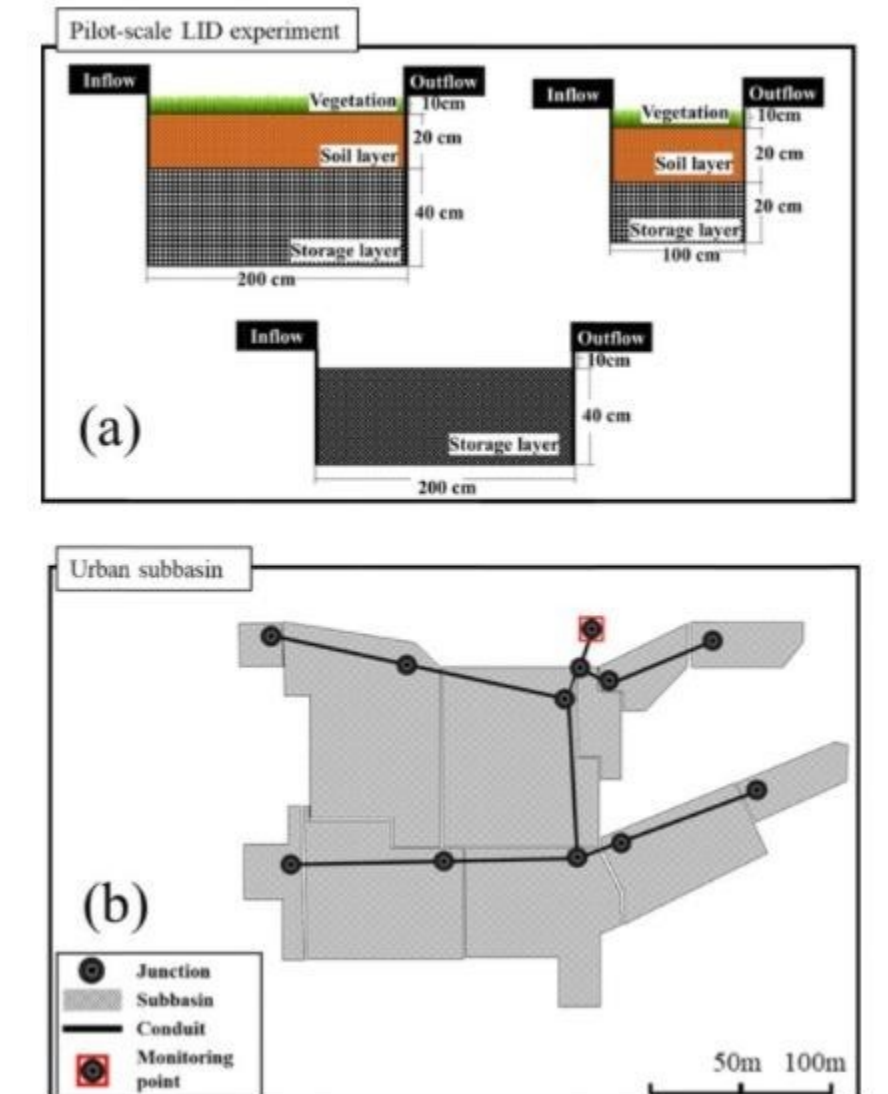
| Escorrentía máxima (CMS)    |       |       |       |       | Subcuenca |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| Periodo de devolución (año) |       |       |       |       |           |
| 50                          | 25    | 10    | 5     | 2     |           |
| 33,00                       | 28.18 | 21,9  | 17,56 | 11,51 | S1        |
| 19,31                       | 16,64 | 13,13 | 10,61 | 7,13  | S2        |
| 5,14                        | 4,43  | 3,53  | 2,88  | 2,01  | S3        |
| 11,42                       | 9,55  | 7,14  | 5,61  | 3,47  | S4        |
| 19,09                       | 16,16 | 12,35 | 9,8   | 6,24  | S5        |
| 10,34                       | 8,89  | 7,04  | 5,72  | 3,96  | S6        |
| 25,04                       | 21,76 | 15,2  | 13,29 | 7,90  | S7        |
| 17,28                       | 14,93 | 11,86 | 9,64  | 6,59  | S8        |
| 18,27                       | 15,78 | 12,49 | 10,11 | 6,82  | S9        |
| 11,37                       | 9,76  | 7,66  | 6,19  | 4,14  | S10       |
| 25,24                       | 21,45 | 16,53 | 13,19 | 8,52  | S11       |
| 8,01                        | 6,89  | 5,42  | 4,37  | 2,92  | S12       |
| 6,62                        | 5,65  | 4,39  | 3,52  | 2,31  | T13       |
| 16,02                       | 13,84 | 10,96 | 8,88  | 6,00  | T14       |
| 11,6                        | 10,03 | 7,99  | 6,52  | 4,49  | S15       |
| 28,76                       | 24,73 | 19,48 | 15,74 | 10,63 | T16       |
| 8,15                        | 7,01  | 5,53  | 4,47  | 3,02  | T17       |
| 26,01                       | 21,76 | 16,33 | 12,84 | 7,99  | T18       |
| 6,99                        | 5,98  | 4,67  | 3,75  | 2,49  | T19       |
| 16,56                       | 14,22 | 11,17 | 9,02  | 6,05  | S20       |

FUENTE: Ghazavi y Erfanian (2020).

El tercer caso de estudio sucede en la ciudad de Yongin en Corea del Sur, en esta ciudad se puede observar que por el cambio climático ha aumentado su escorrentía, por tanto, esta fue monitoreada al final de la tubería de drenaje en el año 2013. Esta evaluación se hizo mediante estudios como lo muestra la ilustración 9. donde podemos ver que en la figura (a) esta la ilustración del experimento a escala piloto y en la figura (b) la subcuenca urbana.

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

Ilustración 10. Diagrama esquemático de la evaluación del modelo y análisis de escenarios  
bajo cambio climático. Cuenca Yongin.



FUENTE: Journal of Hydrology (2020).

Estos estudios se realizan con el fin de estudiar los fenómenos climáticos que aumenten los caudales y la escorrentía superficial y utilizarlos para una metodología para mitigar estos problemas. Los resultados que muestran fueron la comparación de los contaminantes en

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

SWMM con cargas contaminadas, demanda de oxígeno, nitrógeno y fosforo total. En conclusión, la calidad del agua posee una carga máxima en el momento que la entrada de agua fuese alta y una salida de agua que decrece cuando la carga es baja. (Journal of Hydrology, 2020).

Para esta evaluación de cargas contaminantes de las aguas pluviales mediante SWMM también se conoce la cuenca Vallikallio en Finlandia, esta cuenca tiene una red de alcantarillado y otra red de aguas pluviales (ilustración 10). La precipitación, descarga y la calidad del agua se tomaron con un periodo de retorno de 5 años.

Ilustración 11. Modelo SWMM de Vallikallio, con subcuencas, red de alcantarillado y desagüe.



FUENTE: C Tuomela, N Sillanpää, H Koivusalo (2019).



Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

Este modelo esta basado completamente en EPA SWMM 5.0. donde se dividieron en 600 subcuencas donde el 38% son áreas de vegetación, el 19% son techos, 14% estacionamientos, 14% pasillos, 6% caminos y 6% arenas y gravas (C Tuomela, N Sillanpää, H Koivusalo, 2019). Para estos parámetros se tomaron los coeficientes correctos para su buen funcionamiento (ilustración 11).

Ilustración 12. Coeficientes de cobertura terrestre y superficie. Cuenca Vallikallio.

| <b>Cobertura del suelo o tipo de superficie</b> | <b>Rugosidad de Manning (-)</b> | <b>Almacenamiento de depresión (mm)</b> | <b>Impermeabilidad (%)</b> |
|---|---------------------------------|---|----------------------------|
| Zonas asfaltadas                                | 0,016                           | 0,826                                   | 94,1                       |
| Techo   | 0,0084                          | 0,28                                    | 100 *                      |
| Roca abierta                                    | 0,05                            | 3,16                                    | 100 *                      |
| Pavimento de piedra / baldosas                  | 0,019                           | 0,3                                     | 84,9                       |
| Grava de arena                                  | 0,01                            | 0,4                                     | 33                         |
| Vegetación, Céspedes                            | 0,5                             | 2,45                                    | 0 *                        |
| Tubería   | 0,015                           |   | * no calibrado             |

FUENTE: C Tuomela, N Sillanpää, H Koivusalo (2019).

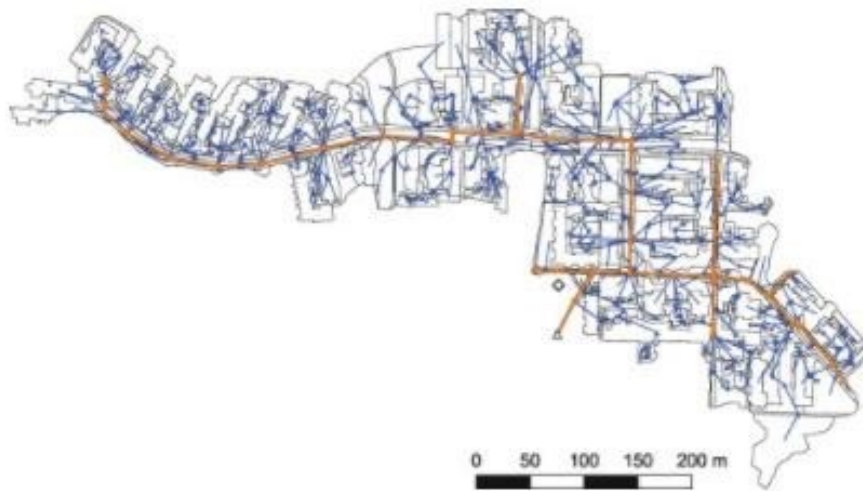
Para la simulación de la escorrentía de agua se tomo que el suelo de la cuenca es principalmente arenoso y una conductividad hidráulica saturada. Para la simulación de calidad de agua se utilizo la función de lavado con contaminantes como fosforo, nitrógeno, plomo, cobre y zinc.

Las subcuencas se pueden conectar a otra que este aguas abajo, un canal o también un alcantarillado, estas simulaciones automáticamente producen resúmenes de todas las

## Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén subcuenca Torca

subcuencas conectadas, en este caso, río abajo, con sus respectivas rutas de flujo (ilustración 12). Para las cargas totales se suman todas las cargas y volúmenes del área aferente. Estos resultados se compararon con otros medidos en dos veranos pasados, obteniendo un modelo de discretización con áreas mas grandes y coberturas terrestres mixtas. La escorrentía y los contaminantes deben tener una mayor presión en su captación.

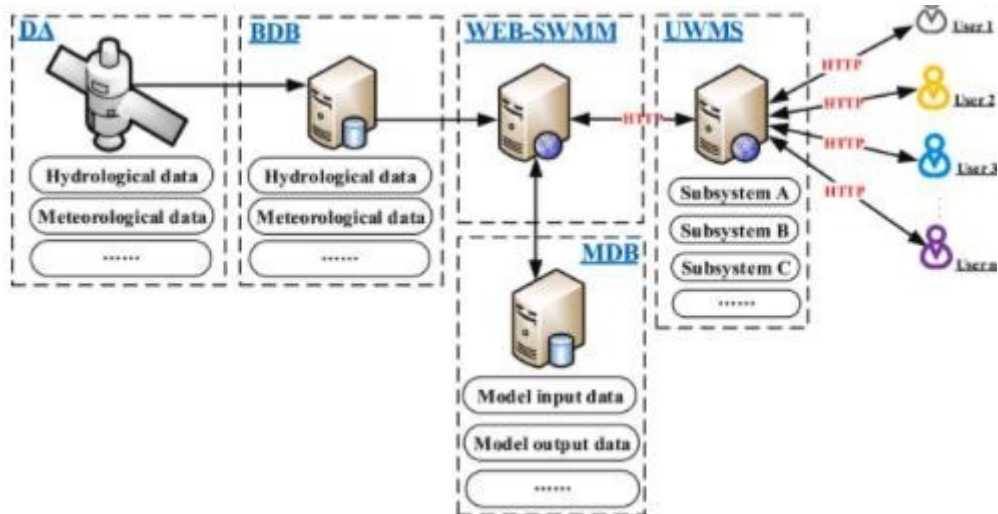
Ilustración 13. Rutas de flujo en SWMM- Cuenca Vallikallio.



FUENTE: C Tuomela, N Sillanpää, H Koivusalo, (2019).

El programa SWMM también se puede adaptar a la web para brindar un apoyo en aguas pluviales urbanas en tiempo real. Este es un modelo hidrodinámico que simula la escorrentía y el drenaje urbano en tiempo real en aguas pluviales y asimismo se adapta a la web. (Zhiqiang Zeng; Xiaohui Yuan; Ji Liang; Yuhong Li,2020). Su diseño e implementación requiere de cuatro módulos que se muestran en la ilustración 13.

Ilustración 14. Esquema de marco WEB-SWMM.



FUENTE: Zhiqiang Zeng; Xiaohui Yuan; Ji Liang; Yuhong Li, (2020).

Los módulos DA, BDB, WEB-SWMM y UWMS son la base del funcionamiento del programa. La base del proyecto se mide respecto a las tormentas que pueden ser aleatorias, por tanto, al correr el programa en tiempo real se pueden encontrar problemas hídricos que se dan el cualquier momento de tiempo. WEB-SWMM es el encargado de monitorear el estado del agua indefinidamente y de manera prolongada hasta que esté obligado a finalizar.

Para entender más a detalle cómo funciona este programa basado en la web se tomará un ejemplo. Cuando los administradores de una entidad de agua urbana deseen obtener la información hidrológica o hidráulica de una zona en tiempo real se deben tomar los siguientes pasos:

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquéen  
subcuenca Torca

- El usuario 1 debe enviar una solicitud a UWMS.
- Con el apoyo de SWMM, UWMS envía una segunda solicitud a HTTP (Protocolo de transferencia de hipertexto) para luego enviarla a WEB-SWMM.
- WEB-SWMM responde estas solicitudes donde admitirá el proceso concurrente del servidor y su información.

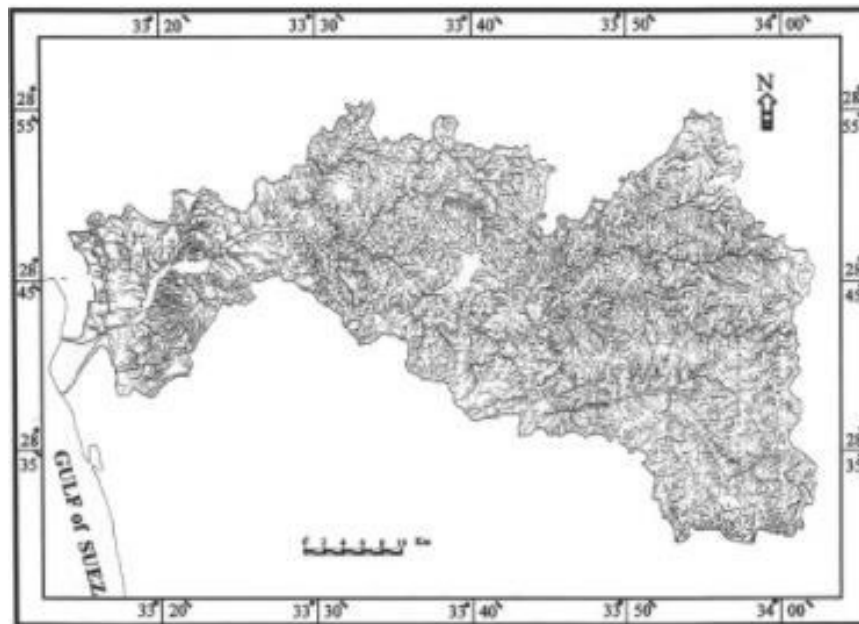
Haciendo que las funciones generales de estos módulos sean:

- Proporcionar diferentes datos de entrada para así poder ejecutar SWMM.
- Administrar los datos necesarios para mantener el buen funcionamiento en WEB-SWMM.

Por ultimo las tecnologías en ArcGIS son necesarias es proyectos hidráulicos ya que en estos estudios se utilizan técnicas para delimitar los limites necesarios en las cuencas, delimitar la red de drenaje y tener las características secundarias como mapas topográficos y fotografías aéreas. En el área de estudio en la cuenca Wadi Feiran en la península de Sinaí, se extrajeron datos morfológicos transformados en parámetros morfométricos para cada subcuenca de la península. Toda la cuenca esta cubierta por 11 hojas de mapas topográficos y un mapa de drenaje para verificar los canales principales y las subcuencas como se muestra en la ilustración 14. esto con el fin de mostrar el aumento de numero de corrientes.

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquéen  
subcuenca Torca

Ilustración 15. Mapa topográfico y de drenaje en la cuenca Wadi Feiran.



FUENTE: Adel Omran <sup>d</sup>Schröder Dietrich<sup>b</sup>Abdou Abouelmagd<sup>c</sup>Märker Michael<sup>d</sup>, (2016)

Los resultados arrojados muestran que las corrientes 1,2,3 y 4 son las que aumentan significativamente como se muestra en la ilustración 15.

(Adel Omran <sup>d</sup>Schröder Dietrich<sup>b</sup>Abdou Abouelmagd<sup>c</sup>Märker Michael<sup>d</sup>, 2016).

Ilustración 16. Corrientes en la cuenca Wadi Feiran.

| Corriente | Límite de ventas |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|           | Orden            | 140  | 139  | 138  | 137  | 136  | 135  | 134  | 133  | 132  | 131  | 130  | 129  |
| Primero   | 4519             | 4552 | 4598 | 4635 | 4664 | 4699 | 4752 | 4788 | 4834 | 4861 | 4893 | 4947 | 4974 |
| 2do       | 1036             | 1047 | 1059 | 1064 | 1073 | 1079 | 1091 | 1097 | 1113 | 1117 | 1119 | 1131 | 1139 |
| Tercero   | 234              | 239  | 241  | 241  | 243  | 243  | 247  | 251  | 254  | 258  | 255  | 258  | 263  |
| Cuarto    | 42               | 42   | 42   | 42   | 42   | 42   | 43   | 43   | 44   | 44   | 44   | 45   | 48   |
| Quinto    | 8                | 8    | 8    | 8    | 8    | 8    | 8    | 8    | 8    | 8    | 8    | 8    | 8    |
| Sexto     | 2                | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    |
| Séptimo   | 1                | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    |
| Total     | 5842             | 5891 | 5951 | 5993 | 6033 | 6074 | 6144 | 6190 | 6256 | 6291 | 6322 | 6392 | 6435 |

FUENTE: Adel Omran<sup>d</sup>Schröder Dietrich<sup>b</sup>Abdou Abouelmagd<sup>c</sup>Märker Michael<sup>d</sup>, (2016)

## 2.1. Artículos relacionados según criterio de búsqueda

En la tabla 5. Se puede observar los artículos obtenidos mediante la plataforma de Scopus con su respectivo criterio de búsqueda.

Tabla 5. Artículos relacionados según criterio de búsqueda.

|                      |   |
|----------------------|---|
| 1. Nombre documento  | A simple raster-based model for flood inundation simulation |
| fecha de publicación | 22-jun-05   |
| publicado por        | journal of hydrology  |

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

Autor

Bates, P.D., De Roo, A.P.J.

palabras clave

itzi, hydrology, inundation

2. Nombre documento

**A simple inertial formulation of the shallow  
water equations for efficient two-dimensional  
flood inundation modelling**

fecha de publicación

jul-05

publicado por

journal of hydrology

Autor

Bates, P.D., Horritt, M.S., Fewtrell, T.J.

palabras clave

itzi, hydrology, inundation

3. Nombre documento

Two dimensional diffusion wave modelling of  
flood inundation using a simplified channel  
representation

fecha de publicación

2004

publicado por

International Journal of River Basin Management

Autor

Bradbrook, K.F., Lane, S.N., Waller, S.G., Bates,  
P.D.

palabras clave

itzi, hydrology, inundation

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquéen  
subcuenca Torca

4. Nombre documento **A novel approach to model dynamic flow interactions between storm sewer system and overland surface for different land covers in urban areas**

fecha de publicación 2015

publicado por Journal of Hydrology,

Autor Chang, T.-J., Wang, C.-H., Chen, A.S.

palabras clave itzi, hydrology, inundation, urban

5. Nombre documento **An integrated inundation model for highly developed urban areas**

fecha de publicación 2005

publicado por Water Science and Technology

Autor Chen, A.S., Hsu, M.H., Chen, T.S., Chang, T.J.

palabras clave itzi, hydrology, inundation, urban

6. Nombre documento **The Hull floods of 2007: Implications for the governance and management of urban drainage systems**

fecha de publicacion 2010

publicado por Journal of Flood Risk Management



Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

Autor Coulthard, T.J., Frostick, L.E.

palabras clave itzi, hydrology, inundation, urban

7. Nombre documento **A weighted cellular automata 2D inundation  
model for rapid flood analysis**

fecha de publicacion 2016

publicado por Environmental Modelling and Software

Autor

Guidolin, M., Chen, A.S., Ghimire, B., Keedwell,  
E.C., Djordjević, S., Savić, D.A.

palabras clave itzi, hydrology, inundation, urban

8. Nombre documento Simulación de inundaciones urbanas y  
priorización de subcuencas urbanas críticas  
utilizando el modelo SWMM y el enfoque  
PROMETHEE II

fecha de publicacion 2020

publicado por Departamento de Gestión de Cuencas  
Hidrográficas, Facultad de Recursos Naturales,  
Universidad de Kashan, Irán

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

|       |   |
|-------|---|
| Autor | Sahar Babaei <sup>a</sup> Reza Ghazavi <sup>a</sup> Mahdi Erfanian <sup>b</sup> |
|-------|---|

|                |   |
|----------------|---|
| palabras clave | Priorizar, Subcuenca, Modelo SWMM<br>Escorrentía urbana, PROMETHEE II |
|----------------|---|

|                     |  |
|---------------------|--|
| 9. Nombre documento | <b>Efectos de diseño y optimización de las instalaciones de almacenamiento y filtración de escorrentías basadas en la simulación SWMM en un área de demostración</b> |
|---------------------|--|

|                      |      |
|----------------------|------|
| fecha de publicacion | 2016 |
|----------------------|------|

|               |                                      |
|---------------|--------------------------------------|
| publicado por | Environmental Modelling and Software |
|---------------|--------------------------------------|

Autor

Wei Xing <sup>a</sup> <sup>b</sup>Peng Li <sup>a</sup>Shang-bing Cao <sup>c</sup>Li-  
li Gan <sup>a</sup>Feng-lin Liu <sup>a</sup>Jian-e Zuo <sup>a</sup>

|                |  |
|----------------|--|
| palabras clave | Diseño, Mejoramiento<br>Estanque de almacenamiento de agua de lluvia,<br>Control de aguas pluviales<br>Modelo de gestión de aguas pluviales (SWMM) |
|----------------|--|

|                      |   |
|----------------------|---|
| 10. Nombre documento | <b>Cities and flooding. A guide to integrated urban flood risk management for 21st Century.</b> |
|----------------------|---|

|                      |      |
|----------------------|------|
| fecha de publicacion | 2012 |
|----------------------|------|

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

publicado por Environmental Modelling and Software

Autor

Abhas J. Kha, Bloch Robin, Lamond Jessica

palabras clave Flood, urban basin

11. Nombre documento **Designing and implementing an SWMM-based  
web service framework to provide decision  
support for real-time urban stormwater  
management.**

fecha de publicación 2020

publicado por Environmental Modelling & Software

Autor

Zhiqiang Z, Xiaohui Y, Ji L, Yuhong L.

palabras clave SWMM model  
Urban stormwater management  
Web services  
Real-time computing

12. Nombre documento **A novel water quality module of the SWMM  
model for assessing low impact development  
(LID) in urban watersheds**

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

|                      |      |
|----------------------|------|
| fecha de publicación | 2020 |
|----------------------|------|

|               |                              |
|---------------|------------------------------|
| publicado por | <u>Journal of Hydrology.</u> |
|---------------|------------------------------|

Autor

Sang S, Mayzonee L, Jongcheol P, Jong P, Joo H,  
Yakov P, Jong A, Kyung H.

|                |                        |
|----------------|------------------------|
| palabras clave | Low impact development |
|----------------|------------------------|

Storm water management model

Water quality

Climate change

|                      |   |
|----------------------|---|
| 13. Nombre documento | <b>Assessment of stormwater pollutant loads and<br/>source area contributions with storm water<br/>management model (SWMM).</b> |
|----------------------|---|

|                      |       |
|----------------------|-------|
| fecha de publicación | 2019. |
|----------------------|-------|

|               |                                      |
|---------------|--------------------------------------|
| publicado por | Journal of Environmental Management. |
|---------------|--------------------------------------|

Autor

Tuomela C, Sillanpaa N, Harri K.

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

|                      |   |
|----------------------|---|
| palabras clave       | Event mean concentration; Land cover; Pollutant pathway; Stormwater pollution; Stormwater quality modelling; Urban catchment. |
| 14. Nombre documento | <b>Effect of the aggregation level of surface runoff fields and sewer network for a SWMM simulation</b>                       |
| fecha de publicación | 2007.   |
| publicado por        | Desalination.   |
| Autor                | Park S.Y. Lee I.H . Ha. S.R.  |
| palabras clave       | Runoff<br>Pollutant load<br>Subcatchment<br>Aggregation<br>SWMM   |

FUENTE: ELABORACION PROPIA.

### 3. PROBLEMÁTICA

#### 3.1. Formulación

Una red de alcantarillado en estado de deterioro, o con escaso mantenimiento, puede ocasionar taponamientos, reboses y empozamientos, causando posibles daños materiales y también genera riesgos en la salud humana por ser focos de cultivo de insectos y enfermedades, dado lo anterior, es importante contar con información de las zonas que presenten este tipo de riesgos para dar prioridad en el momento de una situación extrema de precipitación o daños dentro de la red. Dado lo anterior, buscamos conocer ¿Cuál ES LA CAPACIDAD DE RESPUESTA DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL EN SITUACIONES DE PRECIPITACION EXTREMA?

#### 3.2. Justificación del problema

La localidad de Usaquéñ tiene un histórico de inundaciones reciente en las calles 160 y 192 y entre carrera Novena y autopista norte, en donde las nuevas edificaciones, donde anteriormente existía un cuerpo de agua fue seriamente afectado perdiendo su capacidad hidráulica, las lluvias fuertes y la escorrentía de los cerros, haciendo que el actual sistema de alcantarillado colapse en algunos sectores, (*Hemeroteca*, n.d.) t.

## Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén subcuenca Torca

En ese sentido, se pretende aprovechar una metodología de esorrentía para la modelación en el proyecto (Rodríguez-UNAL, 2006), ya que se puede calcular de manera precisa para la obtención de datos confiables para realizar la simulación en el programa EPA SWMM de este fenómeno.

### **4. METODOLOGÍA**

En la metodología para la realización la modelación del sistema de aguas lluvias y determinar las condiciones para generar una inundación, se deben realizar diversas actividades que van desde la recolección de los datos hasta la implementación y posterior validación del modelo.

Basados en el modelo EPA SWMM la metodología será implementada para obtener los mejores resultados gracias a sus múltiples potenciales de aplicación en todo lo que tiene que ver con sistemas acuíferos y flexibilidad de escenarios y condiciones variables.

#### 4.1. Ubicación geográfica:

La zona de estudio está ubicada en la ciudad de Bogotá-Colombia, localidad de Usaquén subcuenca Torca.

Ilustración 17. Ubicación geográfica subcuenca Torca.

### ALCANTARILLADO PLUVIAL CUENCA TORCA

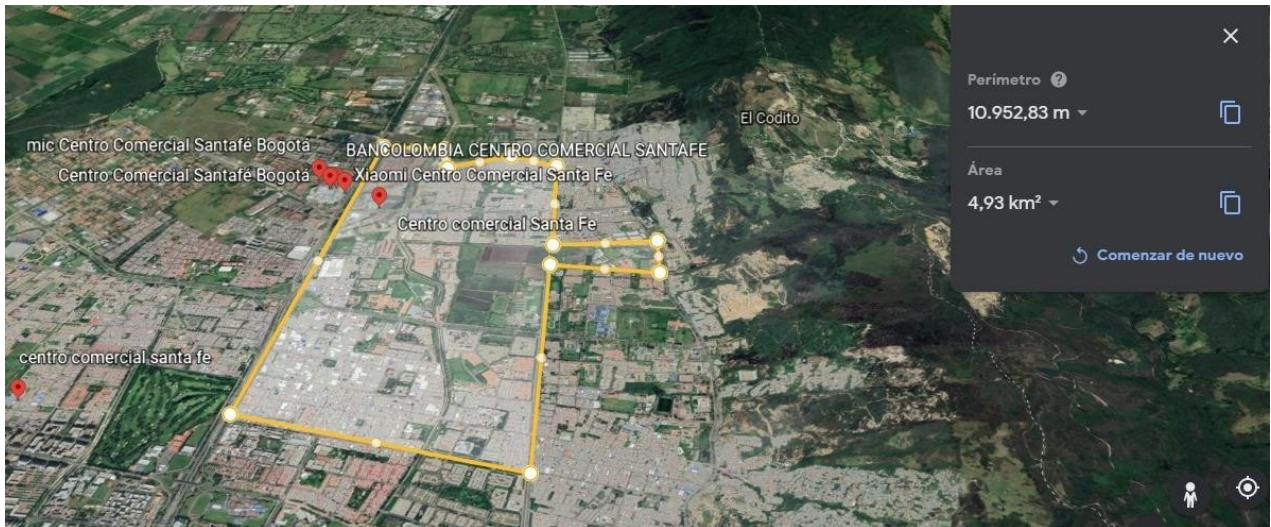


FUENTE: ELABORACION PROPIA con base a EAAB ESP.



Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

Ilustración 18. Subcuenca torca presentada en Google Earth



FUENTE: Google Earth

Extensión aproximada: 4.3  $km^2$

Perímetro aproximado: 10952.83 m

Altura promedio: 2.565 m.s.n.m.m.

Características del uso de suelo: Urbano

Temperatura: 18-22°C

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

4.2. Recolección de datos

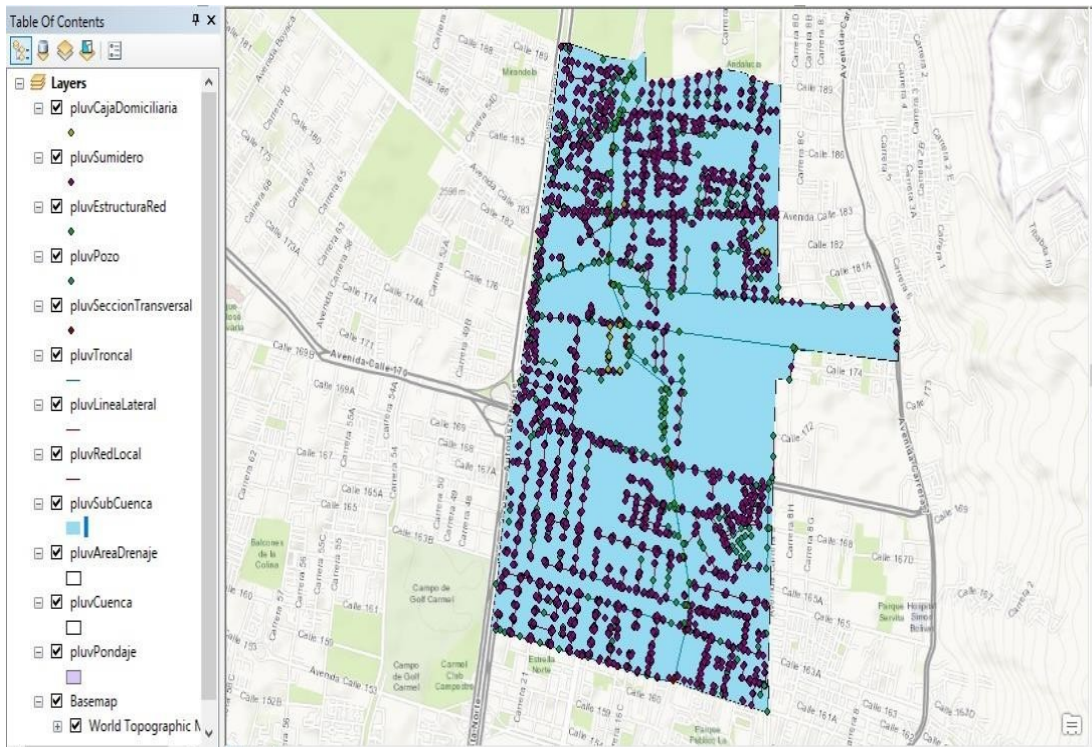
- Para la obtención de los datos de la información geográfica del sistema de alcantarillado pluvial de la zona, fue radicada la solicitud E-2020-10057590 en la EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ, cumpliendo con todos los requerimientos solicitados por parte de la compañía, con un tiempo de tramites de aproximadamente 60 días, para finalmente obtener aprobación por parte del departamento de ingeniería de la entidad, dando como resultado la adquisición de la información bajo el contrato N° MPFT04033F02-01, cuyo objeto es la MODELACION DE COMPORTAMIENTO DE INUNDACION DE UNA ZONA URBANA: LOCALIDAD DE USAQUEN.
- En la página web de Datos Abiertos del Gobierno de Colombia se encuentra el catálogo completo de las estaciones hidrometeorológicas de Colombia con su respectiva finalidad y localización, se seleccionó la tabla de curvas IDF de la ciudad de Bogotá para sacar un periodo de retorno de 100 años.

4.3. Modelación

- Mediante el programa ArgGis se analizan todas las capas que se usaran en el proyecto como se muestra en la ilustración 12.

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquéen  
subcuenca Torca

*Ilustración 19. Subcuenca Torca en ArcGIS. .*



FUENTE: ELABORACION PROPIA con base a EAAB ESP.

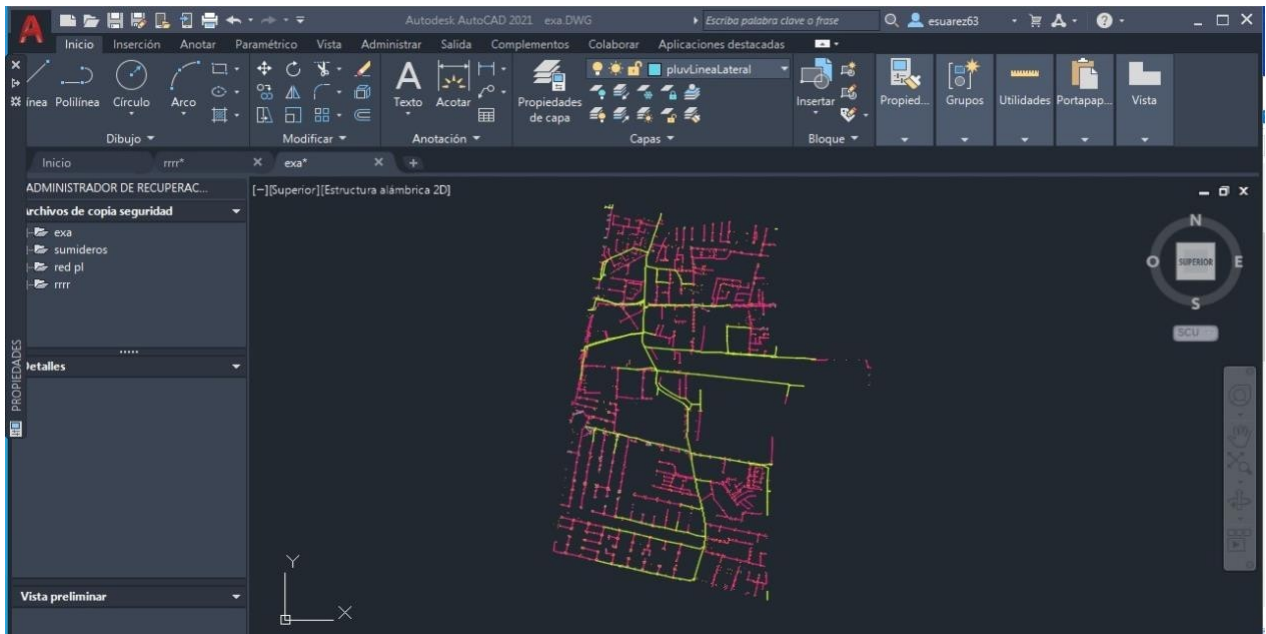
De allí se emplearán las capas mencionadas a continuación:

- PluvCajaDomiciliaria
- PluvSumidero
- PluvEstructuraRed
- PluvPozo
- PluvTroncal
- PluvLineaLateral
- PluvRedLocal

## Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén subcuenca Torca

- Se realiza la exportación de la información seleccionada en ArcGIS hacia AutoCAD mediante un formato Shape en cada una de sus capas para obtener en modelado en 2D y así mismo hacerlo compatible con un formato DXF.

Ilustración 20. Subcuenca Torta en AutoCAD.

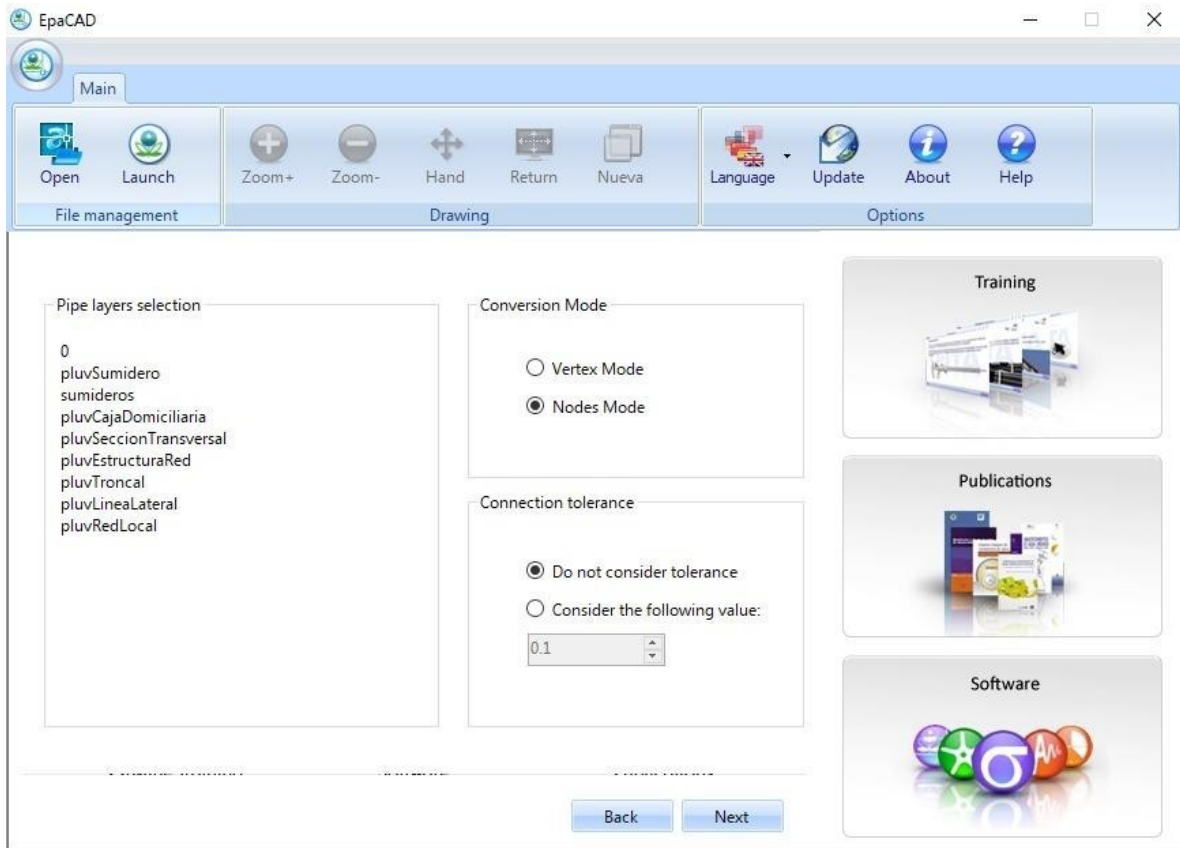


FUENTE: ELABORACION PROPIA

- Teniendo la información en AutoCAD se ajusta la escala a una escala real para obtener una simulación más acercada a la realidad. A continuación, se exportan los datos obtenidos a EpaCAD.

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquéñ  
subcuenca Torca

Ilustración 21. Convertidor EpaCAD.



FUENTE: ELABORACION PROPIA.

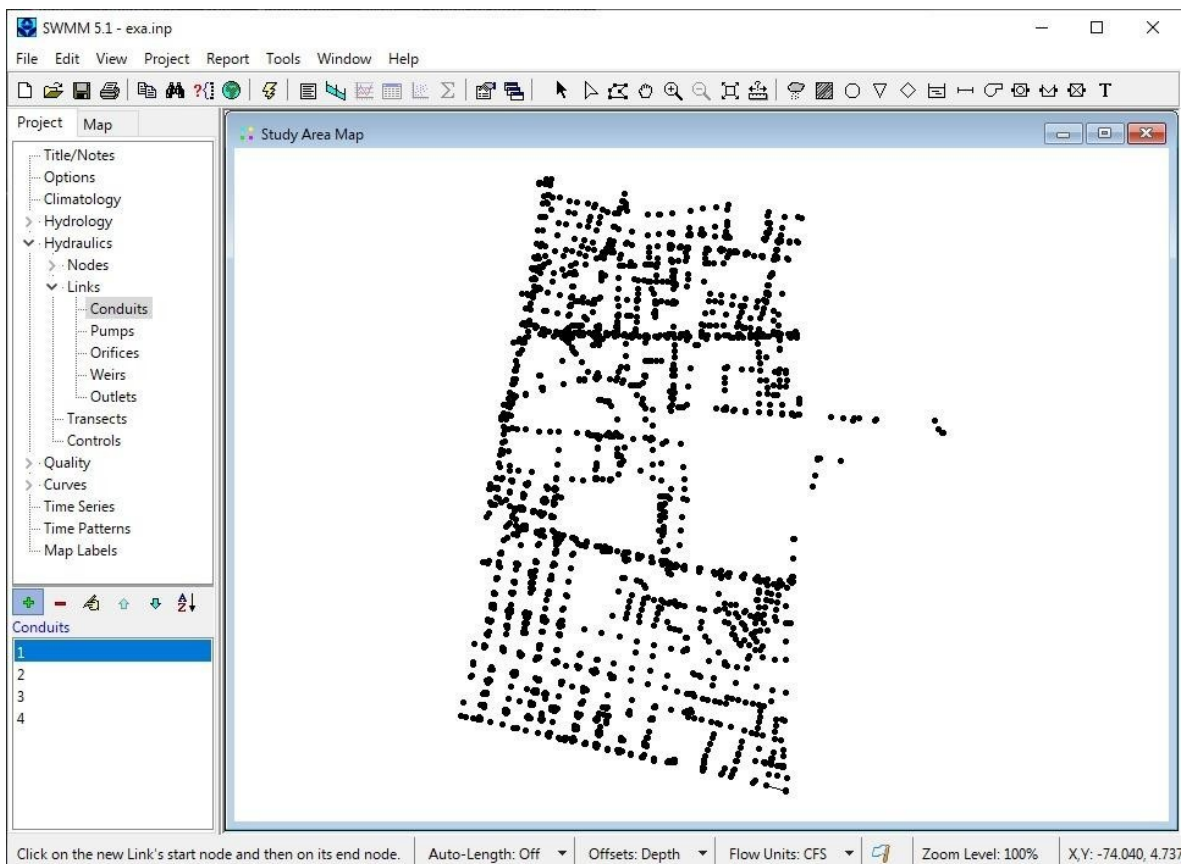
- Con la información en EpaCAD se convierte a formato INP para hacerlo compatible con EPANET. Dicho programa esta creado por los mismos desarrolladores de EpaSWMM teniendo similitudes entre los mismos, pero a su vez con un objetivo diferente ya que este a diferencia de EpaSWMM está desarrollado para sistemas de acueducto con tuberías de flujo a presión, como estos dos son diferentes, no reconocen las funcionalidades del otro, por lo tanto en EpaSWMM, no se puede

## Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén subcuenca Torca

migrar la información completa como si se logra en el otro programa es decir, solo se permite el paso de puntos de georreferenciación.

- Luego de realizar todas las exportaciones, finalmente, se obtiene un sistema de puntos de coordenadas donde irían localizados los sumideros y pozos con una cota por defecto en cero.

Ilustración 22. Pozos y sumideros - Subcuenca Torca en EpaSWMM.



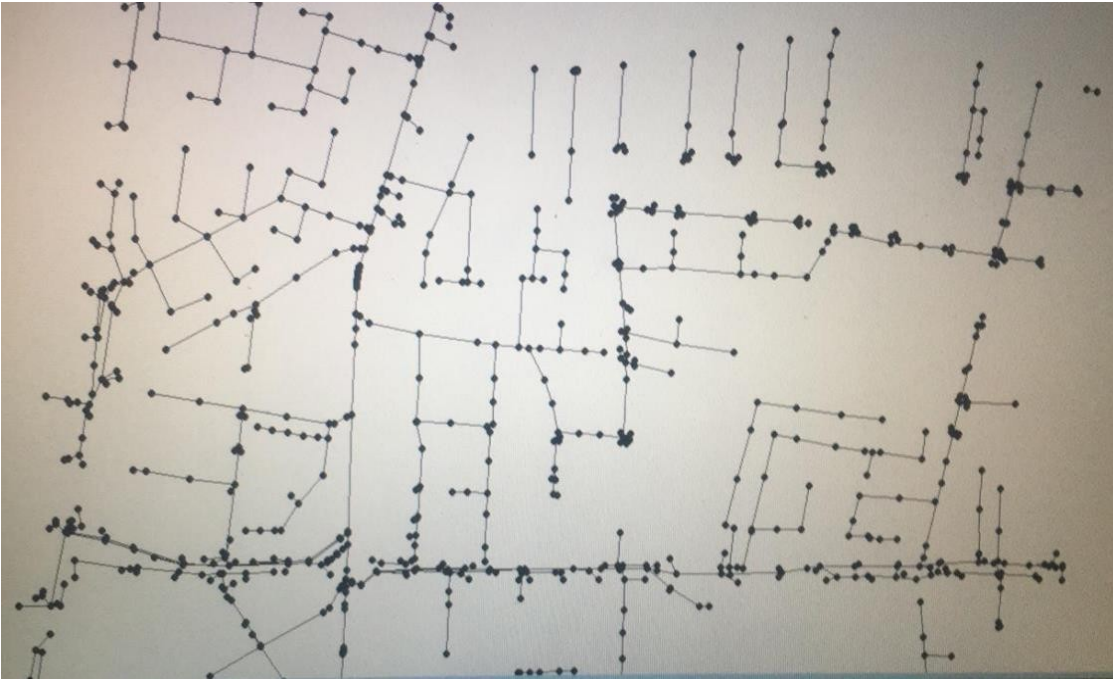
FUENTE: PROPIO.

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

- Teniendo los nodos se procede a ingresar la Cota batea y la profundidad máxima en cada uno de ellos, igualmente, se conectan los pozos con las tuberías y su información pertinente como diámetro y rugosidad según la base de datos de la empresa Acueducto de Bogotá.
- Se debe realizar un ajuste en algunos datos debido a que están alejados a un posible dato más aproximado a la realidad, es decir, sus cotas están por debajo de su pozo de conexión haciendo un contraflujo a una profundidad superior a 30 metros, dicho ajuste se realiza teniendo en cuenta la Norma Técnica Colombiana para diseño y construcción de sumideros para no incurrir en errores mayores que puedan afectar la simulación.
- En la base de datos, tampoco se encuentra registrado su canal principal que es el canal Torca, por tal motivo, se debe realizar una medida en campo de este para determinar su base, altura e inclinación de los costados para ser ingresados al programa. Se toman las cotas y longitudes que aparecen en los puntos que conectan cada tramo registrados en ArcGIS.

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

Ilustración 23. Pozos y sumideros parte superior con tuberías - Subcuenca Torca en  
EpaSWMM

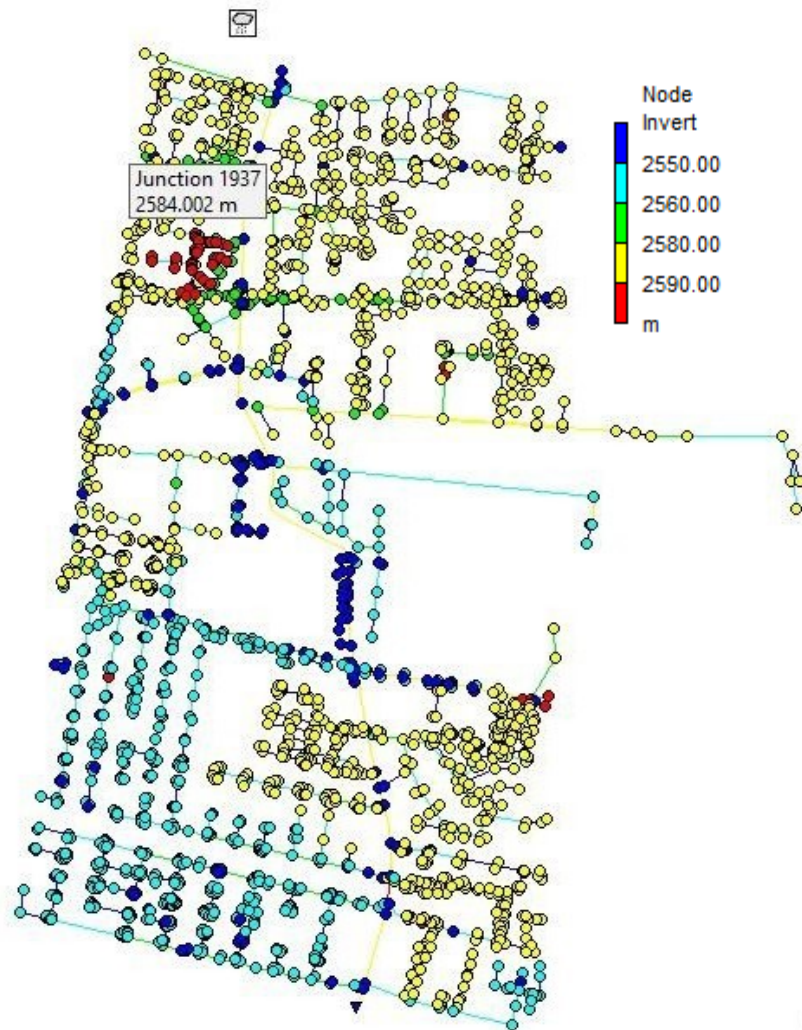


FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

Ilustración 24. Cotas Pozos y sumideros con tuberías. - Subcuenca Torca en EpaSWMM

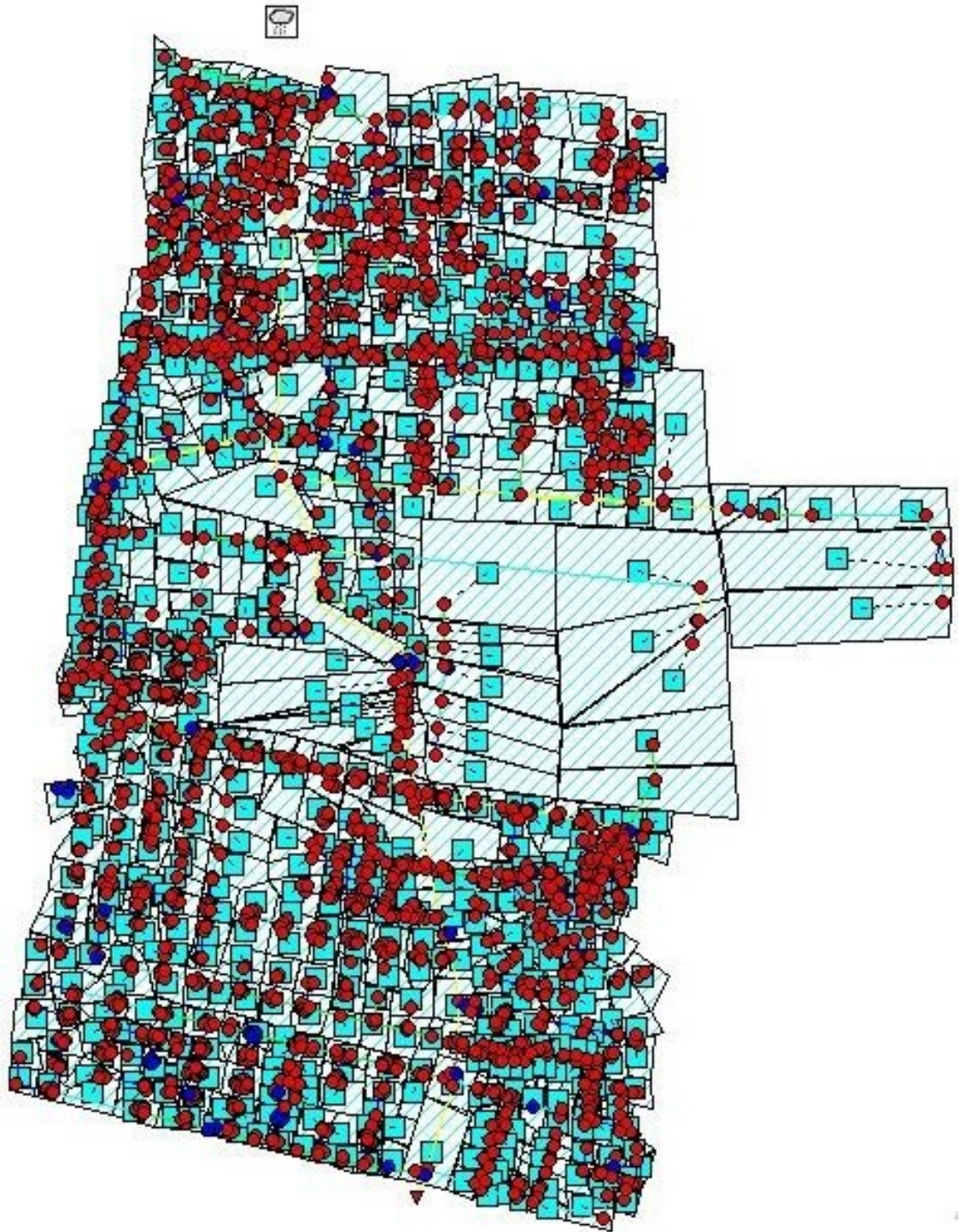


FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

- Se ingresa las subcuencas que corresponden a la cantidad total de agua recogida por cada sumidero y pozo en el sistema y un pluviómetro por el cual se controlara el nivel de precipitación de estas.

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

Ilustración 25. Superficie de escorrentía Subcuenca Torca.

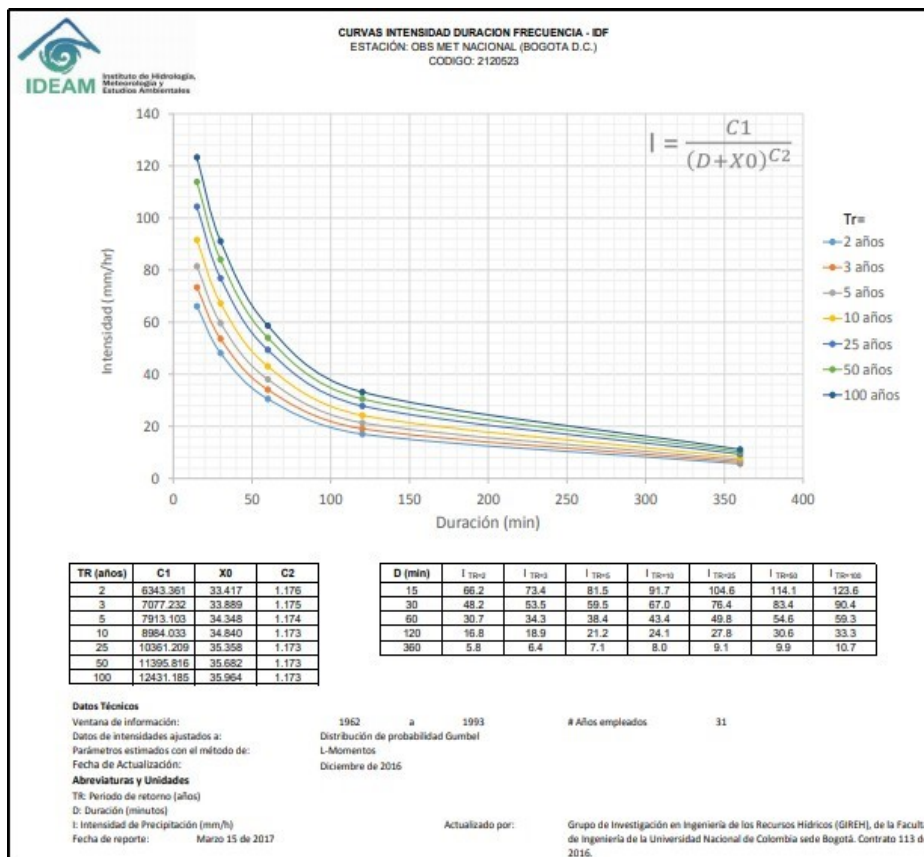


FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén subcuenca Torca

- Añadir una serie de tiempo en la que se ingresan los tiempos de duración de la precipitación y el valor en milímetros columna de agua.
  - Previamente se debe tener en cuenta los resultados que se tienen basados en la curva IDF de la ciudad de Bogotá

Ilustración 26 curvas IDF Bogotá



FUENTE: IDEAM

Realizando el siguiente cálculo se obtiene el valor máximo de intensidad en mm de Precipitación en un periodo de retorno de 100 años.

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

$$I = \frac{c1}{(D + X0)^{c2}} = \frac{12431.185}{(D + 35.964)^{1.173}}$$

Precipitación en un periodo de retorno de 25 años.

$$I = \frac{c1}{(D + X0)^{c2}} = \frac{10361.209}{(D + 35.358)^{1.173}}$$

obteniendo los resultados de la tabla 6.

Tabla 6 intensidad periodo de retorno 100 años

| <b>D (min)</b> | <b>I (100 años)</b> | <b>I (25 años)</b> |
|----------------|---------------------|--------------------|
| 15             | 123.56              | 104.44             |
| 30             | 91.30               | 76.92              |
| 45             | 71.79               | 60.37              |
| 60             | 58.82               | 49.39              |
| 75             | 49.60               | 41.61              |
| 90             | 42.75               | 35.83              |
| 105            | 37.46               | 31.38              |
| 120            | 33.27               | 27.86              |
| 135            | 29.88               | 25.00              |
| 150            | 27.07               | 22.65              |

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

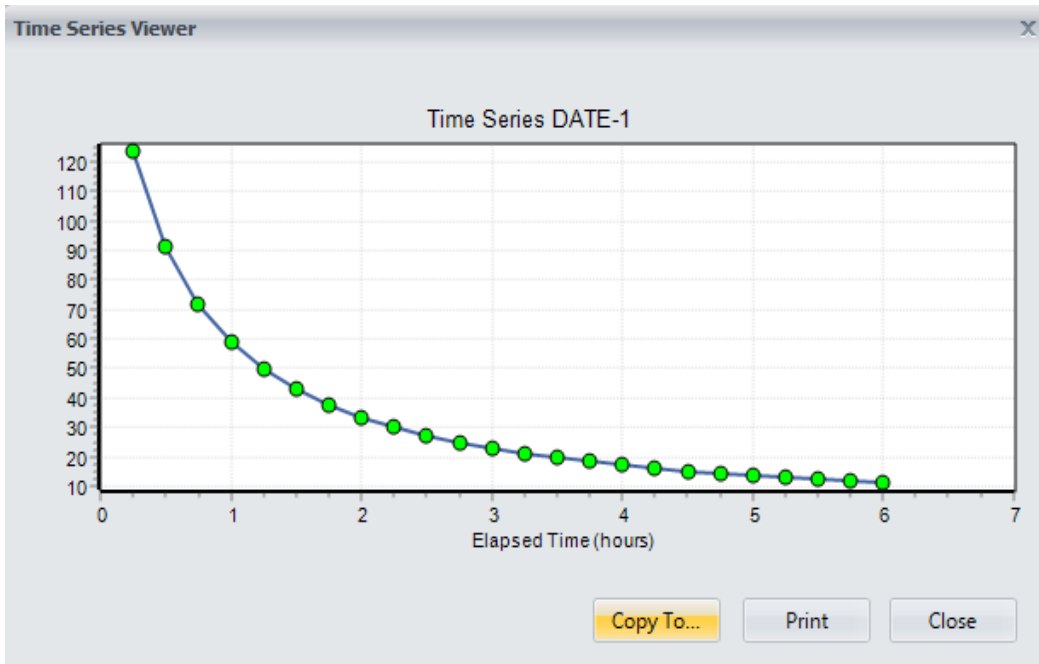
|     |       |       |
|-----|-------|-------|
| 165 | 24.71 | 20.67 |
| 180 | 22.71 | 18.99 |
| 195 | 20.99 | 17.55 |
| 210 | 19.50 | 16.30 |
| 225 | 18.19 | 15.20 |
| 240 | 17.04 | 14.24 |
| 255 | 16.01 | 13.38 |
| 270 | 15.09 | 12.61 |
| 285 | 14.27 | 11.92 |
| 300 | 13.53 | 11.30 |
| 315 | 12.85 | 10.73 |
| 330 | 12.23 | 10.22 |
| 345 | 11.67 | 9.75  |
| 360 | 11.15 |       |

FUENTE: ELABORACION PROPIA

- Se modifica el pluviómetro de acuerdo con las características de la serie de tiempo.

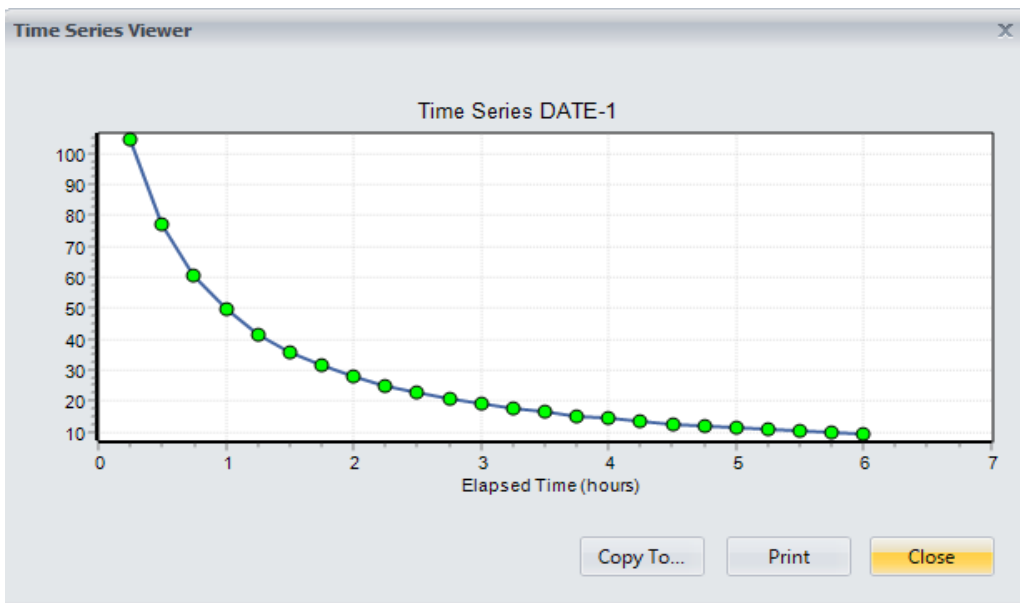
Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquéñ  
subcuenca Torca

Ilustración 27. Curva de tiempo SWMM DATE-1 periodo de retorno de 100 años.



FUENTE: ELABORACION PROPIA

Ilustración 28. Curva de tiempo SWMM DATE-1 periodo de retorno de 25 años.



FUENTE: ELABORACION PROPIA

Ilustración 29. Rain Gage Subcuenca Torca.



The image shows a software window titled "Rain Gage lluvia1". It contains a table with two columns: "Property" and "Value". The table lists various properties for the rain gauge, including its name, coordinates, description, tag, rain format, time interval, snow catch factor, and data source. Below the table, there is a section for "TIME SERIES:" with a sub-property "- Series Name" set to "DATE-1". At the bottom, there is a note: "Correction factor applied to snowfall".

| Property          | Value      |
|-------------------|------------|
| Name              | lluvia1    |
| X-Coordinate      | 3313.506   |
| Y-Coordinate      | 1070.130   |
| Description       |            |
| Tag               |            |
| Rain Format       | INTENSITY  |
| Time Interval     | 1:00       |
| Snow Catch Factor | 1.0        |
| Data Source       | TIMESERIES |
| TIME SERIES:      |            |
| - Series Name     | DATE-1     |

Correction factor applied to snowfall

FUENTE: ELABORACION PROPIA

## 5. RESULTADOS

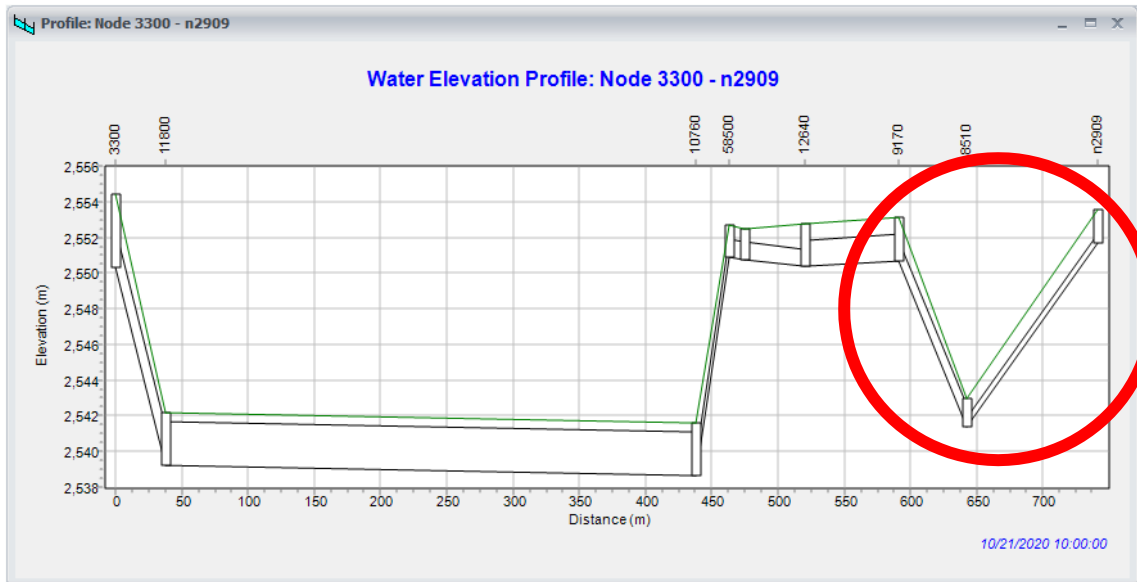
### 5.1. EVALUACIÓN DEL ESTADO DEL SISTEMA

Realizando un análisis a la base de datos del sistema, se reflejaron múltiples inconsistencias en la información suministrada, posiblemente participó más de un equipo de trabajo, donde tomaban una cota como referencia distinta para el levantamiento de los planos. Con variaciones de hasta 30 metros basados en que el sector se encuentra en una misma curva de nivel, esto quiere decir que, la diferencia de alturas debería ser de máximo 2 metros. No se puede descartar la posibilidad que los equipos empleados hayan estado descalibrados al

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

momento de la realización de la actividad, con los datos de esta manera, el sistema arrojaba un diagrama como de muestra en la siguiente ilustración:

Ilustración 30 Perfil nodos 3300 a n2909



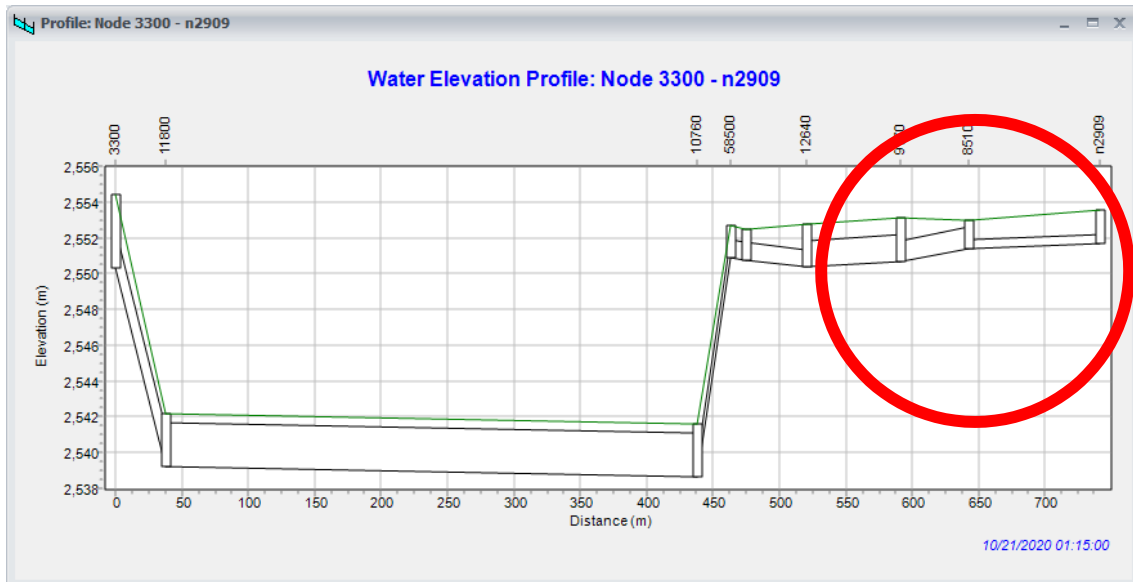
FUENTE: ELABORACION PROPIA

Por lo tanto, se realizaron ajustes que permitieran desarrollar la simulación alterando lo menos posible los datos, es decir ajustando los puntos a una inclinación mas acorde con los nodos a su alrededor, tal como se muestra a continuación.

Ilustración 31 perfil nodos 3300 a n2909 corregido



## Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén subcuenca Torca



FUENTE: ELABORACION PROPIA

Este tipo de ajustes fue realizado en aproximadamente un 18% del total de sumideros del sistema.

### 5.2. CAPACIDAD DE RESPUESTA EN UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS

Llevar a una condición extrema de precipitación el sistema de alcantarillado, teniendo en cuenta principalmente los factores de diámetro, caudal y velocidad, en los conectores, esto se debe a que, si existe un colapso en las tuberías, lo más probable es que va a haber rebosamiento en los pozos y sumideros todo esto ajustado a la normatividad que se encuentra vigente.

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquéen  
subcuenca Torca

En la simulación se elige un coeficiente de escorrentía de 0.95, que corresponde a uso residencial con predominio de zonas duras de acuerdo con la RAS-2000 título D, en su tabla D.4.5. relacionando 4 grupos de conectores de acuerdo con su porcentaje de flujo como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Resultados periodo de retorno a 100 años.

| <b>Porcentaje de flujo</b> | <b>Cantidad de conectores<br/>o tuberías</b> | <b>Porcentaje de conectores en el<br/>sistema</b> |
|----------------------------|--|---|
| 1-30%                      | 435  | 20.18%  |
| 30%-60%                    | 529  | 24.54%  |
| 60%-85%                    | 366  | 16.98%  |
| >85%                       | 826  | 38.31%  |

FUENTE: ELABORACION PROPIA

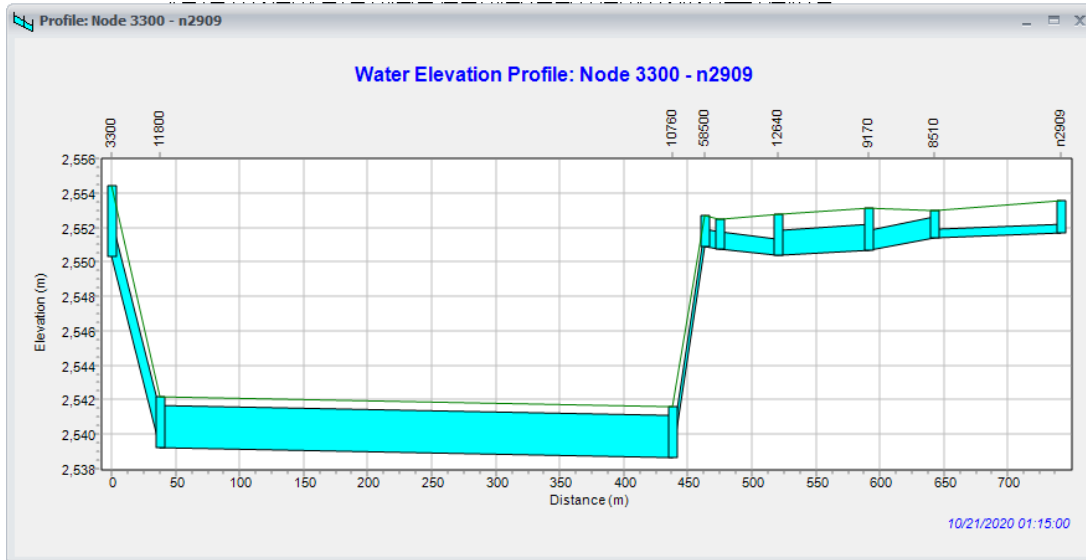
En donde se observa que el 44.72% del total de conectores se encuentra en capacidad de soportar volúmenes de precipitación extremos, el 16.98% se limita a la capacidad de flujo libre llegando al límite de su capacidad, mientras que el 38.31% restante colapsa en su totalidad generando reboses en los sumideros y pozos a su paso.

Los conectores que han colapsado tienen en común que su cota batea no supera los 2560 m.s.n.m.m. y reciben el flujo de los puntos más altos, y se encuentran cercanos a los canales de Serrezuela y Torca.

En las siguientes ilustraciones, se muestra el flujo de agua que pasa por la tubería, donde se evidencia el colapso total de ese tramo de la red

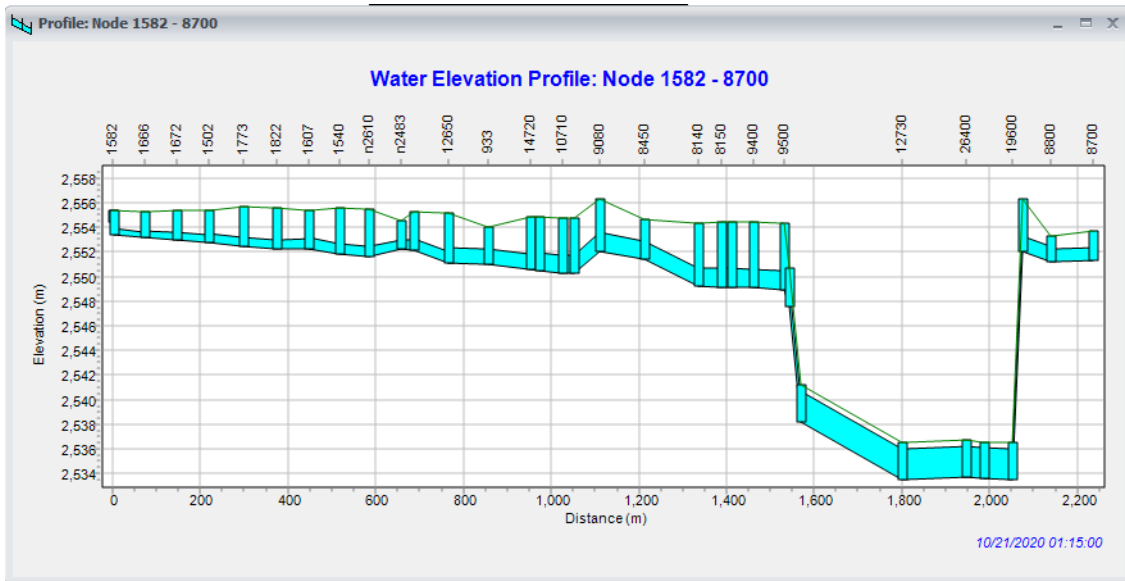
Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

Ilustración 32. Perfil nodos 3300 a n2909 retorno a 100 años.



FUENTE: ELABORACION PROPIA

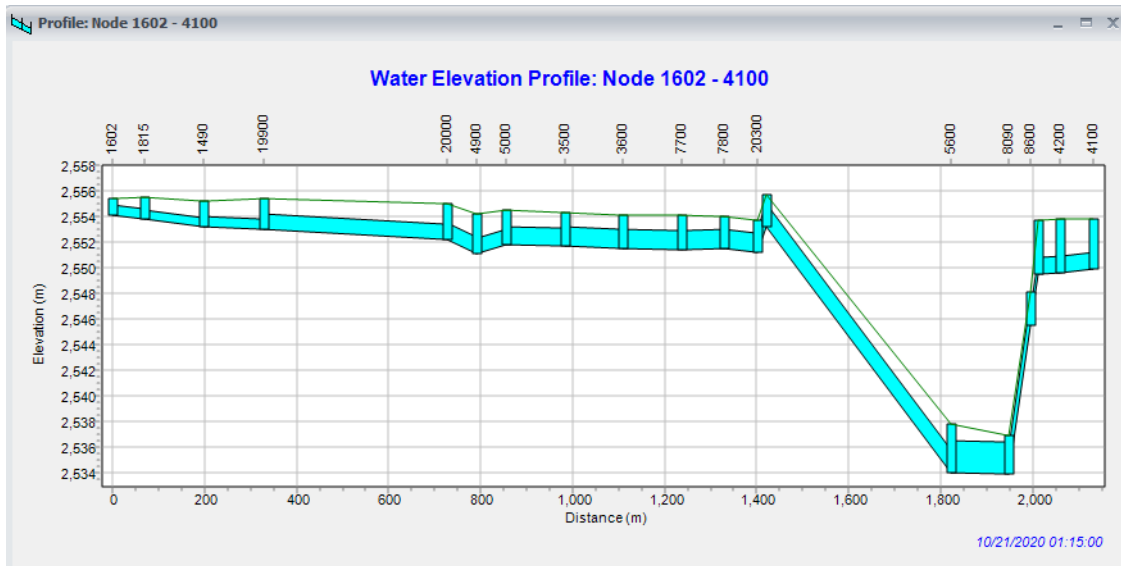
Ilustración 33 Perfil nodos 1582 a 8700 retorno a 100 años



FUENTE: ELABORACION PROPIA

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

Ilustración 34 Perfil nodos 1602 a 4100 retorno a 100 años



FUENTE: ELABORACION PROPIA

### 5.3. CAPACIDAD DE RESPUESTA A UN PERIODO DE RETORNO A 25 AÑOS

Al igual que en el ensayo anterior se tienen en cuenta principalmente los factores de diámetro, caudal y velocidad, en los conectores, para verificar en que puntos puede colapsar el sistema con un periodo de retorno de 25 años con las mismas condiciones de escorrentía obteniendo los siguientes porcentajes de flujo:

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

Tabla 8. Resultados periodo de retorno a 25 años.

| <b>Porcentaje de flujo</b> | <b>Cantidad de conectores<br/>o tuberías</b> | <b>Porcentaje de conectores en el<br/>sistema</b> |
|----------------------------|--|---|
| 1-30%                      | 542  | 25.14%  |
| 30%-60%                    | 563  | 26.11%  |
| 60%-85%                    | 370  | 17.16%  |
| >85%                       | 681  | 31.59%  |

FUENTE: ELABORACION PROPIA

A diferencia del primer ensayo, el 51.25% del total de conectores se encuentra en capacidad de soportar volúmenes de precipitación extremos, el 17.16% se limita a la capacidad de flujo libre llegando al límite de su capacidad, mientras que el 31.59% restante colapsa en su totalidad generando reboses en los sumideros y pozos a su paso.

Los porcentajes varían teniendo en cuenta que los niveles de precipitación se asemejan y su reducción no es muy notoria, donde los sitios que se evaluaron en el primer ensayo presentaron el mismo comportamiento en el segundo.

## 6. CONCLUSIONES

- El levantamiento de planos de la red presenta deficiencias en la mayoría del sistema, en especial en las cotas de los sumideros, conexiones no registradas y profundidades alejadas de la realidad, donde inicialmente no se deberían haber hecho ajustes de gran magnitud para la simulación como si ocurrió en este estudio.
- Dentro de la base de datos de la EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ, no se encuentra registro del tamaño de los canales que atraviesan el sector, que en este caso son el canal Torca y el canal Serrezuela, únicamente sus puntos de ubicación geográfica, al igual que en los sumideros, presenta irregularidades en sus cotas.
- El programa EpaSWMM en su versión 5.1 cuenta con una programación que vuelve muy eficiente el diseño de cualquier red de alcantarillado pluvial, ayudando al diseñador a elegir las mejores condiciones para un correcto funcionamiento del sistema.
- El 60% de sumideros se encuentran fuera de norma basados en la tubería de salida, esto se evidencia en su diámetro que corresponde a 0.2 m y el de la normatividad vigente es de 0.25 m, siendo un posible factor de fallas en el sistema de alcantarillado pluvial.
- Las redes de tuberías presentan un diseño adecuado desde los pozos hasta el canal en cuanto a diámetros, sin embargo, las pendientes en algunos puntos llegan a ser incluso negativas, esto quiere decir que se generan contraflujos de agua dentro del sistema.

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

- En eventos extremos de precipitación el riesgo de inundación del sector es medio-alto, de acuerdo con el análisis realizado.
- La edad promedio de la red es de más de 25 años, teniendo en cuenta que la mayoría de esta red fue instalada entre los años de 1971 y 1985, esto quiere decir que ha excedido en tiempo su periodo de diseño y requiere mantenimiento y renovación en algunos tramos donde su capacidad de respuesta no es adecuada.
- El programa EpaSWMM pese a ser un programa liviano en referencia con el software desarrollado por AUTODESK denominado AUTODESK STORM AND SANITARY cuyas funciones son muy similares, este tiene una licencia de uso libre y es bastante practico, por sus mínimas condiciones para operar, reduciendo el riesgo de presentar problemas por sistemas operativos, capacidades de memoria y espacio requerido.

## **7. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda principalmente a la Empresa De Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, realizar una verificación de los levantamientos realizados del sistema de alcantarillado pluvial de la ciudad, ya que se evidencian múltiples errores en cuanto a longitudes, profundidades, cotas y demás datos, y esto puede generar posibles daños futuros en caso de realizar obras cercanas a la red con la información incorrecta.
- Es importante hacer una evaluación del periodo de vida útil del sistema de alcantarillado pluvial y sus componentes, y determinar si son funcionales o no.

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

- El uso de software día a día va en aumento a medida que avanza la tecnología, por lo tanto, dentro del plan de estudios de las universidades debe intensificarse el uso de estas herramientas para comprender su funcionamiento y evitar errores que puedan incurrir en daños a la sociedad.
- Generar un plan de mantenimiento que sea eficiente y adecuado para mantener un funcionamiento adecuado del sistema y evitar taponamientos.
- Pese a que EpaSWMM es una herramienta muy útil, es eso, una herramienta, Donde en el momento del diseño de una red, debe estar por encima de todo, el análisis y criterio por parte del ingeniero.



## 8. REFERENCIAS

- Abhas J. Kha, Bloch Robin, Lamond Jessica (2012). Cities and flooding. A guide to integrated urban flood risk management for 21st Century.
- Aragón F. Durand, (2014). Inundaciones en zonas urbanas de cuencas en América Latina. Depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2014-18338, edición 2014.
- ASSAD, ED; SANO, EE Sistemas de información geográfica (Aplicações na Agricultura). 2.ed. Brasilia: SPI / EMBRAPA-CPAC, 1998. 434 p.
- Bates, P.D., De Roo, A.P.J. (2000). *A simple raster-based model for flood inundation simulation*. Journal of Hydrology.
- Bates, P.D., Horritt, M.S., Fewtrell, T.J. (2010). *A simple inertial formulation of the shallow water equations for efficient two-dimensional flood inundation modelling*. Journal of Hydrology.
- Berjeno, E (2020). *¿Qué es la tecnología ArcGIS)?*. Geo Innova.
- Bradbrook, K.F., Lane, S.N., Waller, S.G., Bates, P.D. (2004). *Two dimensional diffusion wave modelling of flood inundation using a simplified channel representation*. International Journal of River Basin Management.
- Butler, D., Davies J.W., (2000). Urban Drainage. First edition E & FN Spon. Taylor and Francis Group.
- Chang, T.-J., Wang, C.-H., Chen, A.S. (2015). *A novel approach to model dynamic flow interactions between storm sewer system and overland surface for different land covers in urban areas*. Journal of Hydrology,

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

- Chen, A.S., Hsu, M.H., Chen, T.S., Chang, T.J. (2005). *An integrated inundation model for highly developed urban areas*. Water Science and Technology.
- CLIMATOLÓGICO MENSUAL - IDEAM. (n.d.). Retrieved May 5, 2020
- Codner, G.P., Laurenson, E.M., Mein, R.G., (1988). Hydrologic effects of urbanization: a case study, Proceedings of the Hydrology and Water Resources Symposium. Institution of Engineers, Australia pp. 201–205
- Coulthard, T.J., Frostick, L.E. (2010). *The Hull floods of 2007: Implications for the governance and management of urban drainage systems*. Journal of Flood Risk Management.
- CRED-CRUNCH (2018), *Annual Disaster Statistical Review 2012: The numbers and trends*, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, Université Catholique de Louvaine.
- Guevara P, Cartaya H, (2004). Hidrologia ambiental Primera edicion; Universidad de Carabobo-facultad de ingenieria.
- Guidolin, M., Chen, A.S., Ghimire, B., Keedwell, E.C., Djordjević, S., Savić, D.A. (2016). *A weighted cellular automata 2D inundation model for rapid flood analysis*. Environmental Modelling and Software.
- *Hemeroteca*. (n.d.). Retrieved May 5, 2020, from <http://app2.sire.gov.co:8084/Hemeroteca/#abajo>.

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

- IDEAM. (2017). *Curvas Intensidad Duración Frecuencia-IDF*. Grupo de Investigación en Ingeniería de los Recursos Hídricos (GIREH), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.
- MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. (2000). *REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS 2000*. Ministerio de desarrollo económico - Agua potable y saneamiento básico
- Norma técnica de producto NS – 047 (2002). Sumideros, Acueducto y alcantarillado de Bogotá EAAB. Colombia.
- Norma técnica de tuberías para acueducto, Versión 9 (2020). Bogotá EAAB. Colombia.
- Park S.Y. Lee I.H . Ha. S.R. (2007). *Effect of the aggregation level of surface runoff fields and sewer network for a SWMM simulation*. Desalination.
- Rey D., Zambrano J. (2017). Estudio de la respuesta hidrológica en la cuenca urbana de montaña San Luis-Palogrande.
- Rodríguez – UNAL, (2006). Proyecto de investigación, “Instrumentación y modelación hidrometeorológica y ambiental de una cuenca urbana: Campus Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá”.
- Ruan, M., Wiggers, J.B.M., (1997). Modelling sewer emission using Simulink. *Water science and technology* 36(5): 185.
- Sahar Babaei <sup>a</sup>Reza Ghazavi <sup>a</sup>Mahdi Erfanian <sup>b</sup>. (2020). *Simulación de inundaciones urbanas y priorización de subcuencas urbanas críticas utilizando el*

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquéen  
subcuenca Torca

*modelo SWMM y el enfoque PROMETHEE II.* Departamento de Gestión de  
Cuencas Hidrográficas, Facultad de Recursos Naturales, Universidad de Kashan,  
Irán.

- Sang S, Mayzonee L, Jongcheol P, Jong P, Joo H, Yakov P, Jong A, Kyung H.  
(2020). *A novel water quality module of the SWMM model for assessing low impact  
development (LID) in urban watersheds.* Journal of Hydrology.
- SAOV. (2019). *NORMA DE CONSTRUCCIÓN SUMIDEROS.* EPM.
- Schütze, M., Butler, D., Beck, M. B., (2002). *Modelling, simulation and control of  
Urban Wastewater Systems.* Springer.
- SWISS RE, (2012). *Catástrofes de la naturaleza y grandes siniestros antropógenos.*  
Swiss Re Institute.
- SZLAFSZTEIN, C. y col. *Referencias Metodológicas para mapeamento de Riscos  
Naturais na Amazônia: Mapeando as vulnerabilidades.* Brasilia, MMA / GTZ, 2010,  
60 p.
- TRIOLA, MF *Introducción a la estadística.* Río de Janeiro: Livros Técnicos  
Científicos. 7. ed. 410p. 1999.
- Tu barco, (2019). *Fuerte aguacero en Bogotá genera pánico en una zona muy  
visitada* CLGR - CC (2018). *Caracterización General de Escenarios de Riesgo*  
IDIGER.

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

- Tuomela C, Sillanpaa N, Harri K. (2019). *Assessment of stormwater pollutant loads and source area contributions with storm water management model (SWMM)*.  
Journal of Environmental Management.
- UCAR, (2010). Modelo de investigación y previsión meteorológica; MMM:  
Laboratorio de Meteorología de Mesoescala y Microescala
- UNIVERSITAT POLITECNICA DE VALENCIA. (2020). *Epacad*.
- US Soil Conservation Service (1972), National Engineering Handbook, sec 4, sup.  
A, Hydrology.
- Wei Xing <sup>a</sup> Peng Li <sup>a</sup> Shang-bing Cao <sup>c</sup> Li-li Gan <sup>a</sup> Feng-lin Liu <sup>a</sup> Jian-e Zuo<sup>a</sup>. (2016).  
*Efectos de diseño y optimización de las instalaciones de almacenamiento y  
filtración de escorrentías basadas en la simulación SWMM en un área de  
demostración*. Environmental Modelling and Software.
- Zhiqiang Z, Xiaohui Y, Ji L, Yuhong L. (2020). *Designing and implementing an  
SWMM-based web service framework to provide decision support for real-time  
urban stormwater management*. Environmental Modelling & Software
- Zuñiga O, Ramirez H, (2011). Metodología para la valoración sanitaria de sistemas  
de acueducto y alcantarillados. DYNA, Volumen 78, Número 167, p. 178-185.

## 9. ANEXOS

### 9.1. GLOSARIO

- Área neta: Cantidad de sección restando las perforaciones.
- Canal: Conducto que transporta agua a flujo libre.
- Caudal: Cantidad de fluido por unidad de tiempo.
- Colector: Tramo del sistema que se construye bajo tierra para conectar la evacuación.
- Cota Batea: Profundidad desde la superficie hasta la base de la tubería
- Cuenca: terreno drenado por un sistema de drenaje natural o artificial
- Drenaje: red que permite el desalojo de líquidos
- Escorrentía: Lámina de agua en una cuenca de drenaje. - Altura de lluvia escurrida y extendida en la pendiente de terreno.
- Inundación: flujo y estancamiento de agua en lugares generalmente secos
- Pluviómetro: Instrumento que mide la cantidad que cae de lluvia en determinado espacio de tiempo.
- Pozo: punto de recolección e inspección de una red
- Precipitación: fenómeno en el que el agua, nieve o granizo caen de la atmosfera hasta el suelo
- Rasante: Cota que determina la elevación del terreno.
- Rugosidad: Espesor de la superficie de un cuerpo.

Modelación de comportamiento de inundación de una zona urbana: Localidad de Usaquén  
subcuenca Torca

- Sumidero: Estructuras que tienen por objeto la recolección de aguas lluvias de escorrentía e impedir el paso de sólidos de mayor tamaño al sistema de alcantarillado pluvial.