SIMULACIÓN Y MODELACIÓN DE SISTEMAS DE DRENAJE SOSTENIBLES (SUDS) CON STORM WATER MANAGEMENT MODEL (SWMM)

CRISTIAN CAMILO SIERRA PINZÓN

DIANA CAROLINA ROA CENDALES

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

INGENIERÍA CIVIL

PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER

2021

Monografía de grado

Presentada como requisito para optar al título de

Ingeniero Civil

En La Facultad De Ingenierías Y Arquitectura

Universidad de Pamplona

Presentada por:

Cristian camilo sierra pinzón

Diana Carolina Roa Cendales

Dirigida por:

Diego Iván Sánchez Tapiero

Semestre II, 2021.

Quiero dedicar este estudio universitario de manera especial a Dios Padre.

Y al espíritu de Dios por su gran amor y sabiduría en mi vida. A mi familia, Desiderio José Roa, mi padre, por su perseverancia, cariño y amor incondicional hacia mí; Olga María Cendales Moreno, mi madre, por sus constantes oraciones y amor en mi vida;

A mis hermanos Amalia, Tatiana y Nicolas Roa por su cariño y compañerismo. A mi querido y maravilloso director, Diego Sánchez, por su compromiso

Con esta investigación, sus valiosos aportes y su compromiso incondicional. A la querida Universidad de Pamplona por las valiosas oportunidades que me has brindado y

Recibir una formación ética y profesional. A todos los que asistieron a mi formación profesional que me apoyaron y acompañaron.

Diana Carolina Roa Cendales

Dediqué este estudio a Dios quien animó mi mente a emprender esta investigación, por darme salud y bendiciones para lograr mis metas como persona y como ser humano.

A mis padres Carolina Pinzón Garzón y José Dilbar Sierra Jiménez, quienes con todo su cariño, paciencia y esfuerzo me permitieron cumplir otro sueño hoy, gracias por darme un ejemplo de esfuerzo y coraje, sin miedo a la adversidad porque Dios siempre está conmigo.

A mis seres queridos, que han sido un pilar muy importante de mi vida, por darme cariño, amor, comprensión, apoyo y dinamizarme fuertemente durante mi formación.

A mis profesores por su esfuerzo, dedicación, paciencia y confianza, pero sobre todo por ofrecer sus conocimientos y apoyo para su formación profesional y personal.

¡Gracias por Confiar en mí!

Cristian Camilo Sierra Pinzón

AGRADECIMIENTOS

Esta monografía no solo indica para mí un requisito de grado, sino la culminación de todo mi esfuerzo y dedicación durante estos años, donde pude crecer como persona y profesional.

Primero, quiero agradecer a Dios por darme fuerza y sabiduría a lo largo de este proceso de carrera, porque hubo días en los que solo quería ir a casa y me dio la fuerza para seguir adelante.

A mis padres y hermanos por ser mis pilares y mi mayor motivación para continuar, por su dedicación y amor, para que yo pudiera cumplir mis sueños.

A mi director de monografía y demás docentes que me regalaron su conocimiento e hicieron que mi formación como profesional se enriqueciera y me formara como una gran persona y profesional.

A todos mis amigos y compañeros que me apoyaron e hicieron que el camino fuese más fácil.

Diana Carolina Roa Cendales

En primer lugar, agradezco a Dios por acompañarme y guiarme a lo largo de mi carrera, dándome fuerza en momentos de debilidad y brindándome una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Agradezco a mis padres Carolina Pinzón Garzón y José Sierra Jiménez por apoyarme incondicionalmente a lo largo de mi carrera como me apoyaron en completar mi carrera, por ser los principales impulsores de mis sueños, mi confianza y fe en mis expectativas, fueron mi apoyo, mi la luz y el camino continuo.

Gracias a mi familia por apoyarme en cada decisión y proyecto. Gracias a la vida por mostrarme cada día lo precioso y justo que puede ser. Gracias a mis seres queridos por el apoyo incondicional.

Mi agradecimiento a la Universidad de Pamplona, a toda la Facultad de Ingeniería, y a todos mis profesores, que con su enseñanza de valiosos conocimientos me han ayudado a desarrollarme. Todos los días como profesional, les agradezco a todos su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Les agradezco por creer en mí y les agradezco nuevamente por permitirme vivir y disfrutar cada día.

Cristian Camilo Sierra Pinzón

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 10
2. SISTEMAS DE DRENAJE SOSTENIBLES (SUDS) 12
2.1. Historia 13
2.2. Los impactos de la urbanización 15
2.2.1. Escorrentía de las lluvias 15
2.2.2. Calidad del agua 15
2.2.3. Cambio climático 16
2.3. SUDS 16
2.3.1. filosofía de los SuDS 16
2.3.2. Tratamiento de aguas residuales (SuDS) 17
2.3.3. Técnicas de SuDs 19
3. STORMWATER MANAGEMENT MODEL (SWMM) 20
3.1. Software, compatibilidad y documentos 20
3.2. Capacidades 21
3.2.1. Modelado hidráulico 21
3.2.2. Contabilización de procesos hidrológicos 22
3.2.3. Estimulación de la carga contaminante 23
3.2.4. Herramienta complementaria para proyecciones climáticas 24
3.3. Aplicaciones 25
3.4. Infraestructura verde como controles LID 26
3.5. Módulos de SWMM 26
3.5.1. RUNOFF 27
3.5.2. EXTRAN 27
3.5.3. Unidad de calidad de aguas de escorrentía 28
4. **SIMULACIÓN Y MODELACIÓN DE LOS SUDS** 29
4.1. Tipos de modelos 29
4.2. Tipos de simulaciones 30

4.2.1. Simulaciones Analógicas 30
4.2.2. Simulaciones Digitales 30
4.2.3. Simulación Analógica De Los Suds 31
4.2.4. SIMULACION COMPUTACIONAL DE LOS SUDS 32
4.2.5. GIFMod 32
4.2.6. Características de GIFMod 33
4.2.7. BEST 36
5. SIMULACIÓN Y MODELACIÓN DE LOS SUDS CON SWMM 38
5.1. Fundamento Legal de los SUDS en nuestro país. 38
5.1.1. La secretaria de ambiente (2020) cita la Resolución Nacional 330 de 2017 de la RAS, art 153 esta indica que los "SUDS. (Secretaria de Ambiente, 2020). 38
5.1.2. La secretaria de ambiente (2020) cita el "Decreto 597 de 2018: Deroga el Decreto 528 de 2014 (Secretaria de Ambiente, 2020). 39
5.1.3. Como se puede observar en secretaria de ambiente (2020) "la Resolución Conjunta 001 de 2019 entre SDP y SDA: (Secretaria de Ambiente, 2020). 39
5.2. Bogotá apuesta por los SUDS como una fuente de mejora en manejos de aguas lluvias 40
5.3. Tipología de SuDS 41
5.4. "Bogotá Ya Cuenta Con Pilotos A Escala Real Basados En La Guía Técnica De Diseño De Suds" (Secretaria de Ambiente, 2020). 41
5.5. OTRAS INVESTIGACIONES REALIZADAS EN COLOMBIA Y EN EL EXTRANJERO. 43
6. BIBLIOGRAFÍA 50

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: objetivos de los sistemas de drenaje sostenible. Fuente: http://sudsostenible.com/ 13

Ilustración 2:El tren de tratamiento SuDS (fuente adaptada de: Berry, 2002) 19

Ilustración 3:swmm, (FUENTE: EPA,2020) 24

Ilustración 4:aplicaciones, (FUENTE: EPA,2020) 26

Ilustración 5: Esquema de cálculo del módulo RUNOFF de SWMM. Fuente: https://hdl.handle.net/). 27

Ilustración 6: montaje de carga, Fuente Nicolas Cortes, 2018: 31

Ilustración 7: tipología de SuDS, fuente: (Secretaria de Ambiente, 2020) 41

Ilustración 8:Cuneta Verde Y Cuenca Seca De Drenaje Extendido, Ciia, fuente: Universidad De Los Andes, 2017 (Secretaria de Ambiente, 2020)) 42

Ilustración 9:SUDS en la nueva Avenida Bosa en Bogotá, fuente: (pavcowavin, 2020) 44

1. INTRODUCCIÓN

Durante muchos años, era común que las alcantarillas urbanas sacaran rápidamente el agua de la ciudad. Se han cortado canales en áreas urbanas y los sistemas de represas están diseñados para recibir toda la escorrentía. Como resultado de las actividades, las fuentes que antiguamente eran receptores capacitados (ríos), quedan cortas ante una sociedad que día a día aumenta áreas impermeabilizadas, mientras que por otra parte los sistemas de alcantarillado diseñados para una demanda poblacional especifican no pueden absorber más agua de las nuevas áreas de desarrollo urbano. (Gomez, y otros, 2004)

En cuanto a la calidad del agua, está claro que nadie quiere beber las aguas residuales de sus vecinos de arriba, por lo que se están construyendo plantas de tratamiento de aguas residuales. Pero el lavado de carreteras con agua de lluvia y la formación de escorrentías también provocan graves daños al medio ambiente, constituyendo una contaminación generalizada. (Butler & Davies, 2000)

Ante estos problemas, existen SUDS, con el objetivo de cuidar y aumentar la calidad del agua, evitar altos niveles de escorrentía que sean posibles causales de inundaciones, facilitar la regeneración del acuífero y generar un desarrollo urbano más consiente, desarrollo de soluciones tempranas en zonas donde el drenaje actual está próximo a la saturación. (EPA, 1999)

Todo esto se hace resistiendo el flujo desde el primer instante en que la lluvia cae al suelo. El manejo de las aguas pluviales se basa en tres pilares: estratificación de la disponibilidad de agua, mejora de la calidad del agua a través de procesos naturales y servicio a las poblaciones mediante la mejora de los paisajes urbanos y la restauración de los hábitats urbanos naturales. (Fernandez, Rivera, & Montt, 2003)

El crecimiento urbano sostenible o planificación de bajo impacto incluye un conjunto específico de tecnologías relacionadas con el drenaje urbano conocido como SUDS en el Reino Unido, BMP en los EE. UU. O MPC en los países de habla hispana. (Jimenez, 1999)

SWMM es un software muy completo, el cual se destaca por la capacidad de simular el movimiento de agua lluvia y arrastre de contaminantes a través del terreno, además analiza la infiltración y flujo de escorrentía producida en el sistema; y a través de redes y canales de recolección que transportan el agua a las instalaciones de almacenamiento y / o tratamiento. (Abellan Garcia, 2016)

El modelo se puede utilizar para simular y analizar un solo evento de lluvia o un período continuo largo. Este programa te permite simular la cantidad y calidad del agua. (Abellan Garcia, 2016)

Este software ha sido utilizado por la División de Recursos Hídricos y de Agua de la Agencia de Protección Ambiental durante más de cuarenta años desde su inicio. Y como puede ver, el software ha evolucionado a lo largo de los años hacia versiones cada vez

más avanzadas. La última versión que se lanzará es SWMM 5, actualmente en la versión 5.1.010. (Abellan Garcia, 2016)

Esta monografía busca dar a conocer cómo se pueden implementar la simulación y modelación de los Suds a SWMM, en casos que se están gestionando en Bogotá, Colombia.

2. SISTEMAS DE DRENAJE SOSTENIBLES (SUDS)

El sistema de drenaje superficial desarrollado de acuerdo con el ideal de desarrollo se conoce colectivamente como SuDS. (Woods-Ballard, y otros, 2007)

En un sitio determinado, estos sistemas tienen como objetivo mitigar los distintos riesgos ambientales que genera caudales de escorrentía con mal manejo en zonas urbanas y contribuir a mejorar el medio ambiente tanto como sea posible. (Woods-Ballard, y otros, 2007)

Por lo tanto, los objetivos del SuDS son minimizar el impacto de la impermeabilización del suelo en la cantidad y calidad del agua corriente, al tiempo que se maximizan las oportunidades de recreación y la biodiversidad. (Woods-Ballard, y otros, 2007)

El concepto tridimensional, que se muestra en la ilustración 1, ilustra los principales propósitos que el enfoque está tratando de lograr. Es importante mantener un mismo nivel de importancia y de esta manera la solución ideal se beneficiará en las tres categorías,

aunque el éxito de este modelo depende de condiciones específicas del medio y sus limitaciones. (Woods-Ballard, y otros, 2007)

La filosofía del drenaje sostenible es recrear el sistema de drenaje natural tanto como sea posible para un lugar antes de que se convierta en urbano. (Woods-Ballard, y otros, 2007)

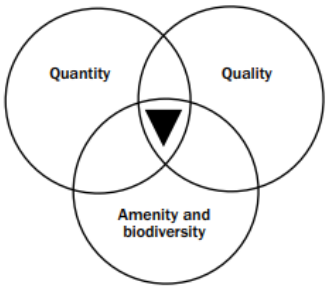

Ilustración 1: objetivos de los sistemas de drenaje sostenible. Fuente: http://sudsostenible.com/

Los diseños de SuDS deben apuntar a reducir los caudales de lluvia haciendo uso de la integración de medidas de control de aguas pluviales a nivel del sitio en pequeñas unidades separadas. Con un control de flujo efectivo desde su fuente, se debe reducir la necesidad de un control de flujo significativo y una estructura de dilución. (Woods-Ballard, y otros, 2007)

2.1. Historia

El método tradicional para drenar el exceso de agua superficial de las zonas edificadas ha sido a través de sistemas de tuberías subterráneas. Estos sistemas están diseñados para evitar inundaciones localmente, transportando el agua lo más rápidamente posible. (Woods-Ballard, y otros, 2007)

Históricamente, la escorrentía se combinaba con el flujo de aguas residuales en una corriente colectora. (Woods-Ballard, y otros, 2007)

Sin embargo, el agua superficial debido a la lluvia puede colocar una carga grande e impredecible en la infraestructura diseñada para el tratamiento de aguas residuales, provocando que algunas aguas residuales sin tratar se descarguen en las líneas receptoras a través de canales. (Woods-Ballard, y otros, 2007)

Durante más de 50 años, se han instalado sistemas de alcantarillado separados para aguas residuales y aguas superficiales. Las aguas residuales son dirigidas a la planta de tratamiento, mientras que las aguas superficiales se dirigen a la fuente de agua más cercana. Estas alcantarillas separadas reducen los riesgos de emisiones de las CSO, pero continúan transfiriendo los contaminantes de la escorrentía urbana directamente a las aguas receptoras. (Woods-Ballard, y otros, 2007)

El ciclo del agua es tal vez el proceso de mayor importancia para la vida en este planeta, y el agua dulce es un elemento vital además de esto su uso se hace necesario para todos los aspectos de nuestras vidas. Históricamente, la urbanización ha provocado la pérdida y degradación de humedales, ríos y recursos hídricos subterráneos por la contaminación, el agotamiento de los recursos y la construcción en las llanuras de inundación naturales. (Woods-Ballard, y otros, 2007)

Desde el inicio de diseño de los sistemas de drenaje convencionales se realizaba con el objetivo principal de evacuar aguas de escorrentía por lo cual la mayoría de ellos no están diseñados para la sostenibilidad y no prestan suficiente atención al control efectivo de las

inundaciones de la cuenca, la rehabilitación del agua y mejoramiento continuo de la calidad del agua, cuidado y preservación de las fuentes y recursos hídricos, los requisitos recreativos o la biodiversidad (Woods-Ballard, y otros, 2007).

2.2. Los impactos de la urbanización

2.2.1. Escorrentía de las lluvias

La urbanización puede reducir la permeabilidad de la superficie del terreno al sustituir el suelo de libre drenaje por tejados impermeables y zonas pavimentadas que se drenan por el agua de drenaje libre por tejados impermeables, carreteras y zonas pavimentadas que se drenan por sistemas de tuberías o canales. (Woods-Ballard, y otros, 2007)

El despeje de la zona elimina la vegetación natural que previene y ralentiza la precipitación y la devuelve al aire a través de la transpiración (transpiración y transpiración).(Woods-Ballard, y otros, 2007)

Durante el desarrollo, los suelos naturales con vegetación de la superficie y el subsuelo se compactan. Todos estos procesos reducen el volumen de agua que puede filtrarse a través del suelo y aumentan drásticamente la velocidad a la que el agua se drena de la superficie. (Woods-Ballard, y otros, 2007)

2.2.2. Calidad del agua

Las actividades del hombre dan lugar a un gran número de contaminantes como sedimentos, aceites, arenas metales, fertilizantes, pesticidas, sales,

patógenos y basura que, junto con los desechos animales pueden afectar a la salud pública y causar daños al medio ambiente.

El agua de lluvia moviliza estos contaminantes, que son arrastrados a los desagües de aguas superficiales y, finalmente, a los ríos, o a las aguas subterráneas.

La eliminación de la capa superficial del suelo y la vegetación priva a un valioso mecanismo de filtración para el agua de escorrentía, y debido a que los sistemas de drenaje tradicionales están diseñados para mover el agua rápidamente sin tratamiento, transfieren rápidamente los contaminantes a las aguas receptoras aguas abajo de la urbanización. (Woods-Ballard, y otros, 2007)

2.2.3. Cambio climático

Hay cada vez más indicios de que el clima de la Tierra está cambiando. Proyecciones más recientes (basadas en escenarios revisados publicados por el Programa de Impacto Climático del Reino Unido. (Hulme, y otros, 2002)

2.3. SUDS

2.3.1. filosofía de los SuDS

El correcto diseño, construcción y mantenimiento de los SUDS hacen que sean más duraderos que los métodos de drenaje tradicionales porque pueden reducir muchos de los impactos ambientales negativos de la escorrentía de aguas pluviales. Esto se consigue gracias a:

- Reduce los caudales y, por lo tanto, reduce el riesgo de inundaciones aguas abajo.
- Es probable que la reducción del volumen de escorrentía y la frecuencia del flujo aumenten debido a la urbanización y pueden aumentar la probabilidad de inundaciones y dañar la calidad del agua receptora.
- Fomentar la recarga natural de las aguas subterráneas (cuando proceda) para minimizar el impacto sobre los acuíferos y los caudales de los ríos en la cuenca receptora.
- Reducir los niveles de concentración de elementos contaminantes en el agua pluvial y proteger la calidad del agua receptora.
- Actúa como barrera contra derrames, evitando el derrame directo de contaminantes altamente concentrados a las aguas receptoras.
- Reducir el volumen de escorrentía descargada en los sistemas de alcantarillado comunes, lo que reduce la descarga de agua contaminada en las vías fluviales a través de las descargas de CSO.
- Contribuir a mejorar el valor estético de las zonas urbanas.
- Proporcionar hábitats de vida silvestre urbana y oportunidades para mejorar la biodiversidad. (Woods-Ballard, y otros, 2007)

La visión de un sistema de drenaje totalmente sostenible ha sido desarrollada por The Natural Step en sus documentos sobre la visión 2020 de los sistemas de drenaje sostenible (The Natural Step, 2001)

2.3.2. Tratamiento de aguas residuales (SuDS)

Para simular completamente los procesos de captación natural, se requiere un "entrenamiento de procesamiento". es necesario. Este concepto es esencial para diseñar un sistema SUDS exitoso, ya que utiliza técnicas de drenaje secuencial para reducir gradualmente la contaminación, los caudales y los volúmenes. (Woods-Ballard, y otros, 2007)

La jerarquía de las técnicas que deben tenerse en cuenta al desarrollar el tren de tratamiento son las siguientes:

- **Prevención:** el uso de un buen diseño del sitio y de medidas de mantenimiento del sitio para prevenir la escorrentía y la contaminación, y la reutilización/captación del agua de lluvia. En general, las políticas de salvaguardia deben incorporarse al plan de manejo del sitio. (Woods-Ballard, y otros, 2007)
- **Control de la fuente:** controlar el flujo en o cerca de su fuente (por ejemplo, camisas, otros métodos de intrusión, techos verdes, etc.). métodos de infiltración, techos verdes, pavimentos permeables). (Woods-Ballard, y otros, 2007)
- **Control del terreno:** Tratamiento de agua en un área local o en el suelo (por ejemplo, drenaje de agua de tejados y estacionamientos hacia un área de tratamiento de aguas residuales). azoteas de edificios y estacionamientos hasta un gran depósito de absorción, permeación o almacenamiento). (Woods-Ballard, y otros, 2007).

- **Control regional:** tratamiento de la escorrentía de una o varias zonas, normalmente en un estanque de equilibrio o humedal. (Woods-Ballard et al., 2007).

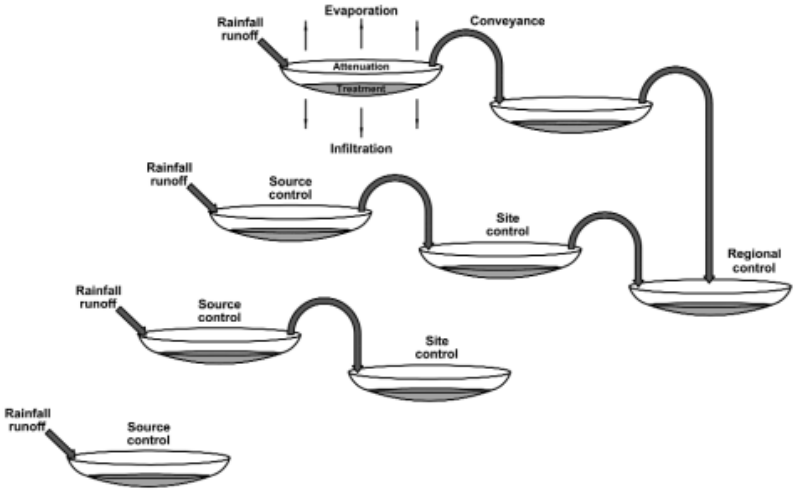

Ilustración 2:El tren de tratamiento SuDS (fuente adaptada de: Berry, 2002)

2.3.3. Técnicas de SuDs

Existe una amplia gama de técnicas individuales de componentes que pueden utilizarse para formar parte del tren de tratamiento. Se pueden clasificar a grandes rasgos en función de si su uso principal se considera el pretratamiento, la conducción, la fuente, el lugar o los controles regionales y se pueden clasificar de forma sencilla en función de su potencial de rendimiento. (Woods-Ballard et al., 2007).

3. STORMWATER MANAGEMENT MODEL (SWMM)

Mediante el modelamiento de manejo de aguas pluviales la EPA por medio de (SWMM) busca generar modelos dinámicos de escorrentía pluvial y de esta manera prever factores tales como saber cuánta y en qué calidad se entrega el agua de escorrentía principalmente en áreas donde se ha generado mayores afectaciones al sistema natural por ello se busca estudiar las zonas urbanas donde se presentan los mayores caudales de escorrentía por procesos de impermeabilización generada por la urbanización de zonas rurales(Rossman, 2009).

El modelo es considerablemente utilizado para planificar, analizar y diseñar sistemas de drenaje urbano(Rossman, 2009) SWMM5, la versión más reciente del modelo que proporciona un entorno de Windows integrado para editar datos de entrada, ejecutar simulaciones y visualizar los resultados en forma de mapas temáticos, gráficos, tablas, diagramas de perfiles e informes estadísticos.

SWMM5 ha modernizado tanto la estructura del modelo como su interfaz de usuario, haciendo que SWMM sea más fácil de usar y más accesible para una nueva generación de ingenieros y especialistas en recursos hídricos, aunque es demasiado complejo para que lo utilice el público en general o los planificadores sin experiencia en modelización (Elliotta y Trowsdale, 2007).

3.1. Software, compatibilidad y documentos

SWMM es un programa de escritorio basado en Windows. Es un software público de código abierto y es gratuito para su uso en todo el mundo. SWMM 5 se

produjo en un esfuerzo de desarrollo conjunto con CDM, Inc., una firma global de consultoría, ingeniería, construcción y operaciones. (EPA, 2020).

3.2. Capacidades

Los SWMM se utilizan en un solo evento o en una simulación a eventos con mayores plazos de la cantidad y calidad de la escorrentía de aguas pluviales en áreas predominantemente urbanas, aunque hay muchas aplicaciones, pueden usarse para sistemas de drenaje en áreas no urbanas. (EPA, 2020)

SWMM proporciona un entorno integrado para editar las entradas del área de estudio, ejecutar simulaciones hidrológicas, hidráulicas y de calidad del agua y mostrar los resultados en múltiples formatos. Incluye áreas de intercambio codificadas por colores, mapas del sistema de transmisión, gráficos, tablas de series de tiempo, gráficos de perfiles y análisis estadísticos de frecuencia. (EPA, 2020)

3.2.1. Modelado hidráulico

SWMM contiene una gama de capacidades de modelado hidráulico flexible que se utilizan para enrutar entradas externas y externas a través de redes de tuberías, conductos, unidades de almacenamiento / procesamiento y estructuras de líneas. Un circuito del sistema de drenaje. Esto incluye la capacidad de hacer lo siguiente:

- Manejar redes de drenaje de tamaño ilimitado.
- Utiliza una variedad de formas estándar de tubos abiertos y cerrados además de conductos naturales.

- Modelización de artigo especializados como unidades de almacenamiento/procesado, separadores de caudal, bombas, vertederos y orificios.
- Aplicación de salidas e insumos de calidad de la escorrentía, Inter flujo de agua subterránea, infiltración / afluencia dependiente de la lluvia, flujo sanitario en clima seco y afluencias definidas por el usuario.
- Utilice métodos de enrutamiento de flujo de onda cinemático o dinámico completo.
- Modele varios regímenes de flujo, como remanso, recargo, flujo inverso y estancamiento superficial. Aplica reglas de control dinámico definidas polo usuario para simular o funcionamiento da bomba, aberturas de orificios y niveles de cresta de vertedero.
- Enrutamiento no lineal de tanques de desbordamiento de superficie. Flujo reducido gracias al control de LID. (EPA, 2020)

3.2.2. Contabilización de procesos hidrológicos

SWMM es responsable de una serie de procesos hidrológicos que generan escorrentías de áreas urbanas, que incluyen:

- Reducción de la escorrentía mediante prácticas de infraestructura verde.
- Lluvia variable en el tiempo (precipitación) y evaporación del agua superficial estancada.
- Acumulación y deshielo de nieve.

- Evite la precipitación del almacenamiento a baja presión.
- La precipitación se filtra en capas de suelo insaturadas.
- Enrutamiento no lineal de tanques de desbordamiento de superficie.

La varianza espacial de todos estos procesos se obtiene dividiendo el área de estudio en un conjunto de subcuencas más pequeñas y homogéneas. Cada región contiene una porción separada de subáreas permeables e impermeables. La escorrentía puede dirigirse entre subáreas, entre subcuencas o entre puntos de entrada de drenaje. (EPA, 2020)

3.2.3. Estimulación de la carga contaminante

SWMM puede estimar la generación de carga contaminante asociada con la escorrentía de agua de lluvia. Los siguientes procesos pueden modelarse para cualquier número de componentes de calidad del agua definidos por el usuario:

- Acumulación de contaminantes de clima seco en diferentes usos de la tierra.
- Lavado de contaminantes de usos específicos de la tierra durante tormentas.
- Contribución directa de la precipitación pluvial. Reducción de la acumulación de clima seco.
- Reducción de concentración de constituyentes mediante tratamiento en unidades de almacenamiento o por procesos naturales en tuberías y canales. (EPA, 2020)

3.2.4. Herramienta complementaria para proyecciones climáticas

SWMM incluye una utilidad de software que permite incorporar a la modelización las proyecciones del cambio climático futuro. La Herramienta de Ajuste Climático de SWMM (SWMM-CAT) proporciona un conjunto de ajustes específicos de ubicación derivados de los modelos de cambio climático global del Programa Mundial de Investigación del Clima. SWMM-CAT acepta factores de ajuste mensuales para variables relacionadas con el clima que podrían representar el impacto potencial de cambios climáticos futuros. (EPA, 2020)

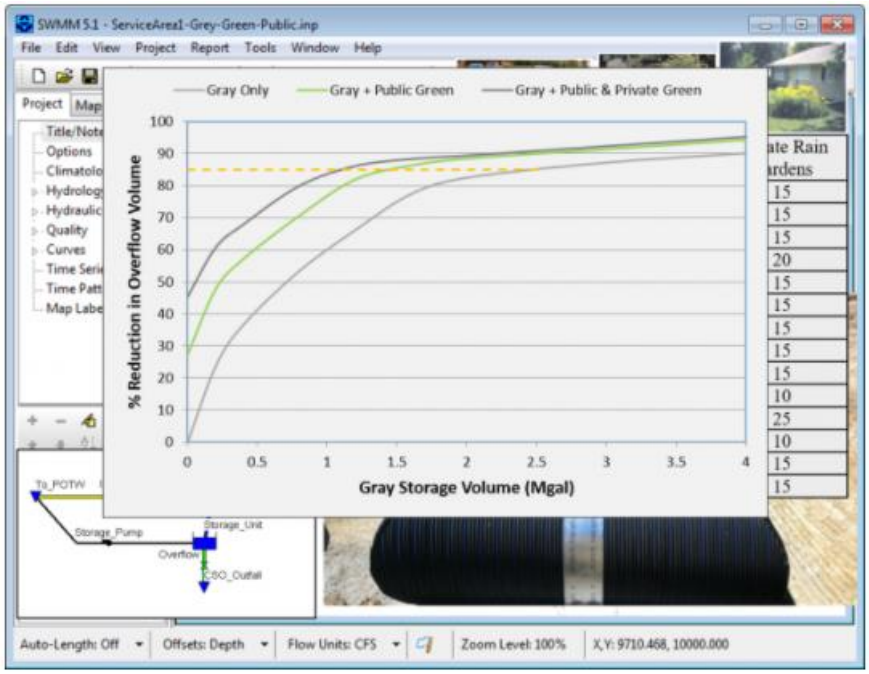

Ilustración 3:swmm, (FUENTE: EPA,2020)

3.3. Aplicaciones

Aplicaciones típicas de SWMM:

- Diseñar y escalar componentes del sistema de drenaje de control de inundaciones.
- Dimensiones de las instalaciones de detención y sus anexos para controlar las inundaciones y proteger la calidad del agua.
- Mapeo de inundaciones de sistemas de canales naturales: SWMM 5 es un modelo aprobado por FEMA para los estudios del Programa Nacional de Seguros contra Inundaciones.
- Generar cargas contaminantes de diferentes fuentes para afectar las cargas de residuos.
- Control de flujo del sitio utilizando métodos de infraestructura verde como el control de LID bajo.
- Evaluar la efectividad de las mejores prácticas de gestión y desarrollos de bajo impacto para reducir las cargas contaminantes de los climas húmedos. (EPA, 2020)

Ilustración 4:aplicaciones, (FUENTE: EPA,2020)

3.4. Infraestructura verde como controles LID

SWMM permite a los ingenieros y planificadores representar combinaciones de prácticas como controles LID para determinar su efectividad en la gestión de la escorrentía. Aunque algunas de estas prácticas también pueden proporcionar beneficios significativos en la reducción de contaminantes, en este momento, SWMM solo modela la reducción en la carga de masa de escorrentía resultante de la reducción en el volumen de flujo de escorrentía. (EPA, 2020)

3.5. Módulos de SWMM

SWMM es un modelo de simulación dinámico de conversión de escorrentía a flujo, usado por diseñadores que buscan predecir eventos o una simulación continua, para calcular los volúmenes y calidad de la lluvia, especialmente en las cuencas hidrográficas en zonas urbanas. (Rossman, 2009).

El código se usa notablemente para planificar, analizar y diseñar sistemas de drenaje urbano.

El código EPA-SWMM consta de tres módulos que representan el sistema de agua dinámico interactuando entre sí: (EPA, 2020)

3.5.1. RUNOFF

Trabaja con una serie de subcuencas pequeñas y homogéneas en las que se producen precipitaciones y se produce escorrentía.(EPA, 2020)

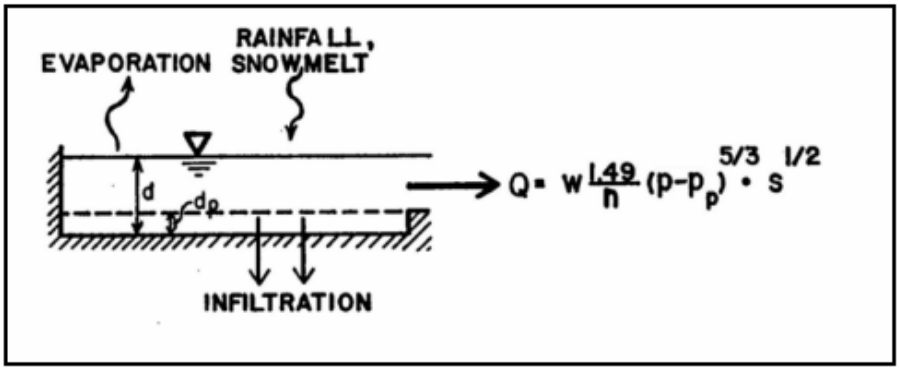

Ilustración 5: Esquema de cálculo del módulo RUNOFF de SWMM. Fuente: https://hdl.handle.net/).

3.5.2. EXTRAN

Análisis del flujo de agua a través de tuberías, canales abiertos, equipos de almacenamiento y tratamiento, bombas y controles, que trabajan como conjunto de un sistema. (Rossman, 2009)

EXTRAN es una mejora del módulo de transporte del propio programa, que resuelve el problema de la propagación mediante el método de onda cinética. (EPA, 2020)

Este último método, que no es capaz de reproducir efectos aguas arriba, presenta una desventaja significativa y reduce la validez de los resultados. La falta de capacidad de determinadas tuberías, el suministro de tanques de almacenamiento, etc., son las condiciones que afectan al funcionamiento de la red de alcantarillado difuso aguas arriba, cuya solución se requiere para completar las ecuaciones de Saint The Venant para crear un modelo preciso de la Red de alcantarillado compleja. Al reconstruir los flujos en constante cambio, EXTRAN permite el diseño de presas, drenajes, bombas, válvulas, depósitos, redes e inundaciones, con las condiciones de contorno deseadas. (EPA, 2020)

3.5.3. Unidad de calidad de aguas de escorrentía

Como se ha descrito anteriormente en el desarrollo de este documento los principales factores a evaluar son la cantidad y calidad de la escorrentía durante un ciclo, este ciclo es rastreado por el software desde la salida de las subcuencas hasta el medio receptor teniendo en cuenta cada elemento presente en el sistema(Rossman, 2009).

El Software SWMM tiene la capacidad de analizar y resolver ecuaciones de manera dinámica, lo que permite identificar posibles inconvenientes a corregir en la etapa de diseño como es el caso acumulación de líquido, desviaciones entre otros casos particulares de cada proyecto. Durante el modelado y simulación se

tienen en cuenta cada uno de elementos presentes en el sistema, desde objetos de medición hasta tuberías(Rossman, 2009).

4. SIMULACIÓN Y MODELACIÓN DE LOS SUDS

Cuando nos referimos a simulación hacemos referencia a la realización de una proyección del sistema físico, mediante el diseño de un modelo que no es más que una representación simplificada de un sistema y hace referencia a que el tipo y numero de modelos depende del juicio del modelador.

Al momento de que el modelador inicia con la recopilación de información se encamina en una búsqueda de datos que le permitirán imitar comportamientos y características puntuales de un sistema generando una copia que asemejará al entorno simulado y permitirá al modelador predecir, prever e identificar de una manera más precisa variabilidades generadas por la intervención del sistema sin necesidad de alterar la zona de estudio. (cova, 2016)

4.1. Tipos de modelos

Los modelos son la caracterización de nuestro sistema y muchas veces conllevan una metamorfosis ya que estos modelos se pueden guiar desde aspectos mentales hasta llegar a ser modelos físicos palpables, modelos computacionales, modelos numéricos entre otros según (Kofman,2021) la importancia de los modelos género.

4.2. Tipos de simulaciones

4.2.1. Simulaciones Analógicas

Tanto la simulación analógica como la simulación computacional comparten el mismo objetivo de prever el comportamiento de un sistema ante un estímulo como lo es en este caso la impermeabilización y manejo de escorrentías en zonas urbanas donde el crecimiento poblacional detona cambios ambientales de grandes proporciones.

La simulación analógica se apoya muchas veces en medios tecnológicos para el procesamiento de datos, pero se basa esencialmente en la experimentación y captación de información mediante procesos físicos, como ejemplo de este tipo de simulación se puede determinar maquetas realizadas a escala de una canaleta Parshall.

4.2.2. Simulaciones Digitales

Por otra parte, las simulaciones digitales se basan en algoritmos implementados en computadoras donde por medio de suministro de información se programan distintos softwares que pueden predecir el comportamiento del sistema sin necesidad de generar un modelo físico, cabe destacar que en ambos tipos de modelación es necesario conocer e identificar cada elemento perteneciente al sistema, en el caso de simulaciones digitales es necesario además conocer elementos de programación y softwares.

4.2.3. Simulación Analógica De Los Suds

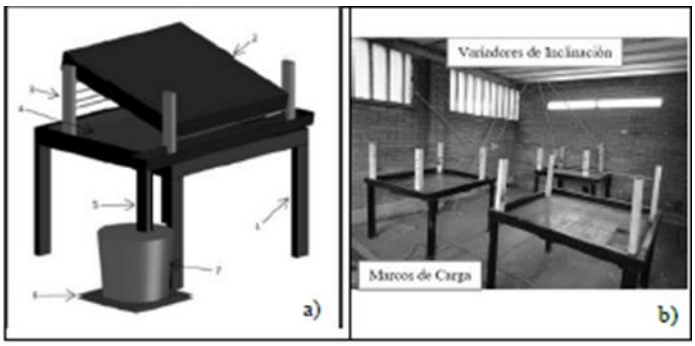

Ilustración 6: montaje de carga, Fuente Nicolas Cortes, 2018:

En Buenos Aires en 2018 se presentó un proyecto titulado “Conferencia de Expertos para la valoración de la Presión Arterial y la Emoción en Techos Verdes”, implementado en colaboración entre la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad de Columbia. Pontificia Javeriana cuenta con un modelo elaborado para comprender el comportamiento hidrológico de los techos verdes de Bogotá. (Cortes, 2018)

Con base en la teoría TR-20 desarrollada por el Servicio de Conservación de Suelos en 1972, se ha implementado el diseño, en el cual se evalúan aspectos como el caudal superficial (Pe) y el cambio de caudal de agua en el sustrato. Plantas de techo verde (Fa; una medida indirecta de la cantidad de transpiración que se producirá al final de la precipitación).(Cortes, 2018)

Allí se utilizaron 8 parcelas de 1 m^2 de ancho con cubiertas verdes; 5 y 10 cm y dos tipos de plantas, el sistema se conecta a la plataforma Arduino conectada a los sensores de flujo y peso, gracias a este mecanismo es posible evaluar la retención de agua de lluvia del techo verde, así como la elaboración de transpiración. Después de que llueva.(Cortes, 2018)

Mediante este modelo analógico, apoyado de un sistema Arduino y la recopilación de datos en computadoras se logró realizar la simulación de un evento de lluvia, creando entornos idénticos a los de campo de estudio como lo son vegetación, intensidad de precipitación e inclinación (Cortes, 2018)

4.2.4. SIMULACION COMPUTACIONAL DE LOS SUDS

Simulación computacional de los SuDS permite prever los mismos aspectos analizados anteriormente en una simulación análoga sin necesidad de crear modelos físicos los cuales son reemplazados por modelos computacionales estas simulaciones se puede desarrollar en software distintos a swmm entre estos se destacan.

4.2.5. GIFMod

Según (Abellan , 2018) GIF Mod “Es un programa gratuito usado con fines urbanos y agrícolas que permite predecir el comportamiento de aguas lluvias, y prever los beneficios al ser intervenidas por sistemas de infraestructura verde. Este software permite al diseñador conocer aspectos como la calidad del agua y el desempeño hidráulico en

distintas condiciones climáticas, además el diseñador puede obtener datos como la evaporación en función de distintos factores (masa, viento, humedad entre otros)".

4.2.6. Características de GIFMod

- El modelamiento en GIFMod según (Abellan , 2018) "Permite a los usuarios diseñar hidráulicamente teniendo en cuenta el arrastre de materiales contaminantes en ambientes que disponen de medios distintos (capas del subsuelo), es posible modificar este programa con el cambio de ecuaciones ajustables.", lo cual genera una proyección más cercana a la realidad ya que en otros programas no se tiene en cuenta estos contaminantes y se realizan proyectos mediante la suposición de unas condiciones ideales.
- Este software se conoce como un software "manipulable" desde distintos ámbitos generando una versatilidad donde el diseñador puede incluir parámetros de acuerdo a las necesidades de simulación y definir las ecuaciones que permiten prever de manera mas exacta el comportamiento de las aguas pluviales. (Abellan , 2018)
- GIFMod hace uso de un método numérico que permite aumentar la velocidad de la simulación y obtención de resultados. (Abellan , 2018)
- GIFMod se destaca ante otros programas ya que en este es posible incluir condiciones específicas y poco usuales como es el caso de que los bloques usados estén secos un 100%(Abellan , 2018).

Infraestructuras verdes que se pueden simular con este software son:

- Depósitos de lluvia
- Biorretención
- Cubiertas verdes
- Técnicas de infiltración
- Pavimentos permeables
- Cunetas verdes

Procesos que simula GIFMod encontramos:

Relacionados con la cantidad/volumen de escorrentía:

- Infiltración / percolación
- Evapotranspiración
- Fluir a través de tuberías y vertederos
- Flujo superficial
- Corrientes de agua

Relacionados con la calidad de la escorrentía:

- Transformación química y bioquímica definida por el usuario
- Intercambio de masas
- Transporte de partículas
- Absorción por parte de las plantas

proyección de técnicas de gestión del agua pluvial en nuevos desarrollos urbanos. Entre sus ventajas se encuentran que permite trabajar con una dilatada gama de tamaños de cuencas y da la opción de realizar comparaciones con diseños alternativos para analizar las mejores opciones tanto en lo referente a la hidrología, a la gestión de la contaminación como a los costes. Este programa permite simular el funcionamiento de diferentes técnicas para evaluar cuál es el mejor tamaño de las infraestructuras seleccionadas, optimizar costes y seleccionar la mejor combinación de SUDS para cada caso". Las técnicas de drenaje sostenible que se incluyen en MUSIC son:

- Sistemas de biorretención
- Sistemas de infiltración
- Sistemas de filtración
- Sistemas de sedimentación de sólidos gruesos
- Cunetas vegetadas
- Franjas filtrantes (incluidos los Buffer strips)
- Estanques para la sedimentación
- Depósitos de lluvia
- Humedales
- Estanques de detención
- Elementos puntuales de tratamiento (Abellán, 2018).

Datos que intervienen en la calidad del agua de escorrentía:

- El diseñador puede variar datos como lo son la composición química y bioquímica definida, Intercambio de masas, arrastre de partículas, absorción, contaminantes en superficies expuestas (Abellan , 2018).

GifMod no tiene ningún costo y se puede obtener fácilmente en la página web del software donde se encuentra además del archivo de instalación ejemplos y manuales.(Abellan , 2018)

4.2.7. BEST

- De acuerdo a (Abellan , 2018) "Esta herramienta, que incluye hojas de trabajo y un manual de usuario, proporciona un enfoque listo para evaluar una variedad de beneficios, a menudo basado en el desempeño general del sistema de intercambio. Sigue una estructura simple, comenzando con un estudio cualitativo para determinar los beneficios a evaluar posteriormente. Además, brinda soporte para ayudar a identificar y monetizar cada característica que SUDS tiene para ofrecer. Al final del análisis, la herramienta proporciona una serie de gráficos que representan el desempeño de las tecnologías evaluadas."

SUSTAIN

- "SUSTAIN es una herramienta desarrollada por la EPA. Es un sistema que ayuda a los profesionales de la gestión de aguas pluviales a desarrollar planes para la implementación y el control de la escorrentía y la contaminación asociada, con el

objetivo de tomar las medidas pertinentes para conservar el agua, proteger el agua en la fuente y lograr los objetivos de calidad del agua. El sistema permite a los expertos en cuencas hidrográficas y aguas pluviales desarrollar, evaluar y seleccionar la mejor solución BMP (BMP), es decir, identificar un conjunto de tecnologías de drenaje sostenible que funcionarán bien en el futuro con diferentes tamaños de la cadena de drenaje según el costo. y eficiente." (Abellan , 2018)

- “Es un sistema complejo que combina un GIS y un modelo hidrológico, en este último punto, al ser un programa de la EPA, utiliza los algoritmos computacionales del programa SWMM, que veremos a continuación.(Abellan , 2018)
- Como podemos observar en el blog SuDs Sostenible referenciado anteriormente en la actualidad se vienen desarrollando distintos softwares con unos mismos fines y características similares. A pesar de esto cabe destacar que swmm es tal vez el programa más utilizado para este tipo de simulaciones ya que es un software muy completo y además su descarga se realiza gratuitamente. (Abellan , 2018)

5. SIMULACIÓN Y MODELACIÓN DE LOS SUDS CON SWMM

5.1. Fundamento Legal de los SUDS en nuestro país.

5.1.1. La secretaria de ambiente (2020) cita la Resolución Nacional 330 de 2017 de la RAS, art 153 esta indica que los "SUDS. (Secretaria de Ambiente, 2020).

Para nuevos desarrollos urbanos donde el uso de la tierra está cambiando, se deben desarrollar estrategias para reducir el impacto de las áreas impermeables aumentando la escorrentía. Se debe diseñar un sistema de drenaje urbano sostenible, que reduzca el pico de drenaje de la trayectoria de inundación de diseño en al menos un 25%, para evitar la sobrecarga del sistema de lluvia y las inundaciones posteriores, además de analizar las condiciones de flujo antes y después del proyecto contra la capacidad de flujo del organismo receptor, ya sean cloacas o cuerpos receptores." (Secretaria de Ambiente, 2020).

Cuando se utilicen estructuras de almacenamiento, deberán disponerse sistemas de tamizado y sedimentación que garanticen la facilidad del mantenimiento manual o mecánico, y la accesibilidad y los medios de transporte de los residuos hasta el almacenamiento final, en proporción a la configuración y sección del lugar y la normativa aplicable. (Norma RAS: Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico) (Secretaria de Ambiente, 2020).

5.1.2. La secretaria de ambiente (2020) cita el "Decreto 597 de 2018: Deroga el Decreto 528 de 2014 (Secretaria de Ambiente, 2020).

conviene señalar claramente que la gestión relacionada con el saneamiento, incluido un sistema de saneamiento urbano sostenible, está liderada por entidades regionales y proveedores de servicios públicos de saneamiento; para que tengan la capacidad de diseñarlos, construirlos, mantenerlos y operarlos de acuerdo con los instrumentos establecidos por la ley, en particular haciendo referencia a los planes de ordenamiento territorial, POMCAS y planes sectoriales correspondientes. (Secretaria de Ambiente, 2020).

5.1.3. Como se puede observar en secretaria de ambiente (2020) "la Resolución Conjunta 001 de 2019 entre SDP y SDA: (Secretaria de Ambiente, 2020).

Compensación al endurecimiento expresa que cuando existan varios tipos de SUDS en áreas desafiantes, se considerará la construcción de llanuras aluviales, zanjas verdes (o cercas), áreas de almacenamiento biológico, zanjas permeables, cuencas de drenaje extensivas, aceras permeables y humedales artificiales o artificiales. Estanques, deben cuantificarse positivamente de acuerdo con la metodología descrita en el Párrafo 4 del Apéndice de esta Resolución para el equilibrio de los espacios verdes." (Secretaria de Ambiente, 2020).

5.2. Bogotá apuesta por los SUDS como una fuente de mejora en manejos de aguas lluvias

- El acuerdo 327 de 2008: Obliga a compensar las zonas verdes endurecidas en proyectos de infraestructura (reglamentada por la Resolución 01 de 2019, en donde también se incentiva los SUDS). (Secretaria de Ambiente, 2020)
- Cartilla de andenes: en donde de acuerdo el tipo de árbol se obliga a dejar diferentes tamaños del contenedor o alcorque. (Secretaria de Ambiente, 2020)
- Resolución 6563 de 2011 donde se revisan los diseños paisajísticos de las obras publicas entre SDA y JBB (Secretaria de Ambiente, 2020).
- POZ LAGOS DE TORCA Decreto 088 de 2017: Iniciativa que transformará el norte de Bogotá en una ciudad donde convergerán viviendas con equipamientos como centros culturales, recreativos, educativos y de salud. Además, se recuperarán y protegerán las zonas ambientales existentes y se mejorará la movilidad de la zona. Lagos de Torca tiene un área de 1.803 hectáreas, de las cuales 550 ya están ocupadas por colegios, concesionarios y otros equipamientos, 370 serán construibles, 640 serán recreativas y de infraestructura pública y el restante es suelo de protección, que no se afectará, sino que se protegerá. (Secretaria de Ambiente, 2020).

5.3 Tipología de SuDS

Ilustración 7: tipología de SuDS, fuente: (Secretaria de Ambiente, 2020)

5.4 "Bogotá Ya Cuenta Con Pilotos A Escala Real Basados En La Guía Técnica De Diseño De Suds" (Secretaria de Ambiente, 2020).

- **"Cuneta Verde Y Cuenca Seca De Drenaje Extendido, Parque Metropolitano San Cristóbal Sur. Bogotá D.C."** (Secretaria de Ambiente, 2020)

Ilustración 8:Cuneta Verde Y Cuenca Seca De Drenaje Extendido, Ciia, fuente: Universidad De Los Andes, 2017

(Secretaria de Ambiente, 2020)

)

- **EJEMPLO: AV. Rincón (LA CONEJERA - AV. TABOR)**

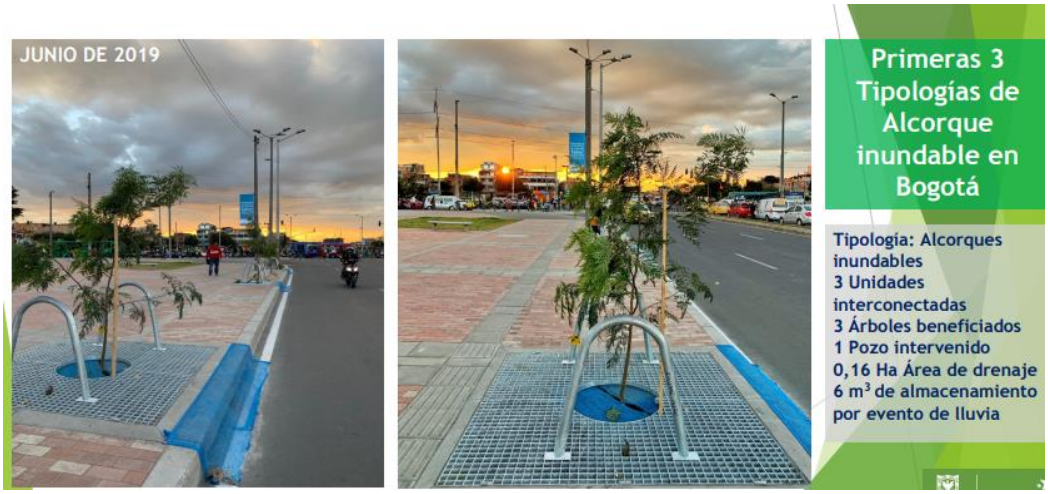

Ilustración 9: AV. Rincón (LA CONEJERA - AV. TABOR) fuente: (Secretaria de Ambiente, 2020)

5.5 OTRAS INVESTIGACIONES REALIZADAS EN COLOMBIA Y EN EL EXTRANJERO.

Los SUDS se presentan como una solución para múltiples problemas a través de los años ya que estos generan un manejo confiable y amigable con el ambiente de aguas de escorrentía, ya que las aguas lluvias mal controladas permiten la generación de inundaciones en zona urbanas debido a la impermeabilización del suelo.

SUDS en la nueva Avenida Bossa en Bogotá, para evitar riesgos de inundaciones y impulsar el ciclo del agua, en el centro de Avenida Bossa, con una extensión de más de 1,7 km, un SUDS, hecho de células AquaCell de Pavco y Wevin y con el apoyo del departamento de ingeniería de la empresa. Cerca de 600.000 habitantes se benefician del proyecto, que conduce a la liberación del área metropolitana. (pavcowavin, 2020)

La implementación del SUDS en el proyecto evita el riesgo de inundaciones al reducir los picos de lluvia que penetran bajo tierra en la región central, cuando esto conduce a la saturación del exceso vertido al sistema de alcantarillado. Paisajes urbanos. (pavcowavin, 2020)

El tipo SUDS diseñado en la Avenida Bosa es un dique de tierra de control de nivel de agua fabricado con un material permeable, conocido como zanja o barrera permeable, con propiedades que permiten la retención, evaporación y filtración., mejora el ciclo del agua y asegura que no quede atrapada en el sistema durante más de 24 horas. (pavcowavin, 2020)

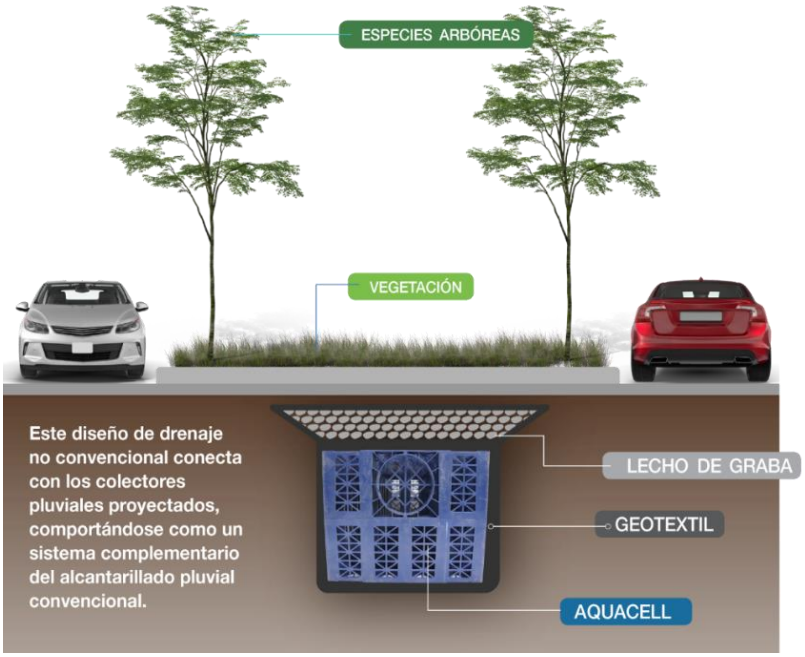

Ilustración 9:SUDS en la nueva Avenida Bosa en Bogotá, fuente: (pavcowavin, 2020)

En Colombia, se han realizado diversas propuestas para un análisis referente entre la ejecución de tecnologías SUDS para el drenaje urbano sostenible y el comportamiento de los sistemas de saneamiento convencionales, mediante modelación de figuras basadas en el programa EPA SWMM.. (Jimenez-Bonilla & Joya-Caviedes, 2015)

Ante este escenario, es necesario y oportuno considerar el accionamiento de nuevas opciones que mitiguen y limiten los problemas relacionados con el manejo y control de los caudales de aguas residuales que ocurren durante la época de lluvias, al mismo tiempo que las lluvias se vuelven viables económica y socialmente. proyectos que permitan el desarrollo de nuevas áreas urbanas. (Jimenez-Bonilla & Joya-Caviedes, 2015)

El alcance se enmarcará específicamente en la selección de un área en Bogotá que represente los efectos de las precipitaciones y las inundaciones superficiales, donde se buscará recomendar una gama de escenarios de optimización con base en la implementación de SUDS, y adoptar un modelo hidráulico del sistema utilizando el nuevo LID. (Desarrollo de bajo impacto) del programa EPA SWMM 5.1. (Jimenez-Bonilla & Joya-Caviedes, 2015)

Para implementar la modelación de las áreas de estudio, se requiere brindar información sobre la red de drenaje a simular, en base a las condiciones y especificaciones del sistema de drenaje. (Jiménez-Bonilla et al., 2015).

Propuesta de soluciones a través de SUDS al problema de las inundaciones inducidas por lluvias en la cuenca de sal gema, en Bogotá. Al mismo tiempo, investigue sobre áreas de precipitación significativa dentro de ellas.(Diaz- Caicedo, 2016)

La simulación se realizará para las subcuencas de la cuenca salina ubicadas entre Carretera Norte y Kali 108, con un área de alrededor de 1460$Km2$, lo que queremos demostrar a través de la simulación es la diferencia en la cantidad de agua en la cuenca. área pesada. Escenarios de lluvia con elementos de construcción existentes versus sistemas estructurales sostenibles como aceras permeables, jardines absorbentes del vecindario y techos verdes.(Diaz- Caicedo, 2016)

El modelado se realiza en SWMM, donde se realiza el montaje del sistema regional de agua y saneamiento que se describe a continuación y la asignación de subcuencas para realizar un análisis de costos.(Diaz- Caicedo, 2016)

Con base en la observación de un módulo de techo verde a gran escala en la Universidad de los Andes, Bogotá, se realizó un análisis de sensibilidad y se realizó la calibración y validación del modelo. Una vez validado, el comportamiento de la vegetación se analizó frente a simulaciones intermitentes de tormentas eléctricas y eléctricas de diferentes tamaños, frecuencia y duración.(Mancipe-Muñoz, Tabares-Catimay, & Gallo-Martinez, 2019)

Se confirmó que SWMM podría representar la dinámica experimental de los techos verdes en las condiciones andinas colombianas cuando esté debidamente calibrado y validado. Por lo tanto, este modelo puede ser un instrumento útil para los análisis regionales de la activación de este tipo de SUDS en ciudades intertropicales, pero para países tropicales como Colombia, donde aumenta la saturación del suelo, los techos verdes pueden no ser efectivos en la reducción de áreas urbanas. (Mancipe-Muñoz, Tabares-Catimay, & Gallo-Martinez, 2019)

Manizales, que tiene un terreno fuerte y pendientes pronunciadas en la mayoría de sus áreas urbanas, impone restricciones a la implementación de sistemas de drenaje urbano sostenibles. Sin embargo, una vez consideradas las características de los tipos de SUDS, se concluye que la precipitación es una de las formas más efectivas de reducir el drenaje pico y alto en este caso, ya que no requiere la característica de regiones representativas. Además de impedir la infiltración del suelo, lo que conlleva la presencia de deslizamientos de tierra en zonas sensibles con pendientes pronunciadas. (Pava-Jimenez, 2020)

Después de evaluar los pros y los contras de las alternativas SUDS consideradas, la aplicación de sedimentos de lluvia y biogeogética en la Cuenca de Palo Grande, se concluyó que esta es una buena técnica de enseñanza para el éxito, que es mejor para caudales de alto volumen y no requiere representación. esta área. Además de interferir con los procesos de infiltración del suelo, provoca deslizamientos de tierra en zonas sensibles de pendientes pronunciadas. Por lo tanto, los barriles de lluvia se identificaron como una alternativa a la recolección de escorrentía durante la lluvia, su liberación o su almacenamiento para su reutilización durante las sequías, permitiendo que el agua de lluvia se almacene en el sitio y se transporte directamente al sistema de alcantarillado. (Pava-Jimenez, 2020)

A través del mundo se ha generado un gran interés por la gran variedad de sistemas de drenaje sostenibles como lo indica (Perales Momparler, 2011) “El empleo de tecnologías SUDS está muy esparcido en el mundo (Australia, EE.UU., Japón, Reino unido, etc). Se han ejecutado muchos propósitos y la experiencia adquirida ha dado lugar a numerosos manuales de diseño, directrices, normativas, códigos y documentos de todo tipo.” esta información ha generado una expansión significativa de este tipo de sistemas como medios reguladores de corrientes generadas por aguas lluvias.

En América Latina, Buenos Aires es un claro ejemplo de esto, donde desde 2012, según ecotelhado, “el 10 de diciembre del mismo año se aprobó la Ley No. 4428 sobre techos verdes y terrazas, mediante la cual a través de un crédito fiscal busco incentivar la instalación de cubiertas y terrazas verdes (cubiertas de paisaje) en la ciudad ".

Mediante esta medida buenos aires logro disminuir la cantidad de áreas afectadas por escorrentías como indica (UNESCO, 2019) “Argentina es un país altamente afectado por eventos climáticos extremos que provocan inundaciones tanto en áreas urbanas como rurales, por lo que existe la necesidad de implementar políticas, desarrollar infraestructura y fortalecer la investigación. Comprender y afrontar mejor estos fenómenos.”.

Al igual que en Buenos Aires, es común que el crecimiento de las ciudades aumente la permeabilidad del suelo, ya que lluvias de cierta intensidad provocan que cada vez más áreas se vean afectadas por inundaciones. La respuesta tradicional es que el desarrollo de infraestructura a menudo requiere una gran inversión que no siempre está disponible. Los SUDS son una opcion de bajo impacto al medio ambiente que reduce la escorrentía al reducir las áreas impermeables. Existen varias alternativas a las soluciones SUDS, que a menudo tienden a imitar los requisitos básicos del desarrollo urbano, como la infiltración, la estratificación en la fuente o el desarrollo o la reutilización de espacios verdes. "(UNESCO, 2019)

Desde esta perspectiva, es imposible ignorar a uno de los iniciadores en llevar a efecto este tipo de sistema ya que (CONAMA, 2018) Señaló que Estados Unidos aprobó la primera legislación en esta área en 1972, que está cada vez más preocupada por las empresas militares privadas. Hay muchas formas de definir este otro método de gestión del drenaje urbano: LID, WSUD o SuDS. De todos modos, todos van de la mano de las nuevas tendencias en infraestructura verde.

En la zona de Madrid, y en particular en la nueva sede de BBVA, con una superficie de 12.400 m², existen zonas permeables en casi toda la planta: tierra vegetal en los jardines, caminos de grava y adoquines permeados en los accesos. El principal paso de peatones de la empresa. Oficina BBVA. (CONAMA, 2018)

En Paraguay, por su parte, existen dos espacios verdes implementados en 2016, incluido el SUDS: un huerto de 2050 m² y un huerto urbano de 2900 m². El propósito de los dos planes es aumentar la retención e infiltración en la fuente y solo los eventos extremos deben dirigirse al sistema de alcantarillado de la ciudad. Además, destacan en su labor educativa, ya que cuentan con carteles informativos que describen el sistema de drenaje y los tipos de SUDS utilizados. (CONAMA, 2018)

6 BIBLIOGRAFÍA

1. Gómez M, Sánchez H, Dolz J, López R, Nania L, Cabrera E, Espert V, García-Serra J, Malgrat P, Puertas J ((Gomez, y otros, 2004)2004) *Curso de Hidrología Urbana*. 5ª ed. Universidad Politécnica de Catalunya, España. 389 pp. Obtenido de https://www.buenastareas.com/
2. Butler D, Davies JW (2000) Urban Drainage. Spon. Londres RU. 489 pp. Obtenido de https://www.buenastareas.com/
3. EPA (1999) Preliminary Data Summary of Urban Store Water Best Management Practices. Office of Water, United States Environmental Protection Agency. Washington DC, EEUU. EPA-821-R-99-012. 210 pp. Obtenido de https://www.buenastareas.com/
4. Fernández B, Rivera P, Montt JP (2003) Uso de Pavimentos Permeables. BIT, Revista Técnica de Construcción 33: 54-56. Obtenido de https://www.buenastareas.com/
5. Jiménez BR (1999) Contaminación por escorrentía urbana. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos; Colección SEINOR No. 22. Madrid, España. 495 pp. Obtenido de https://www.buenastareas.com/
6. Abellán García, Ana (2016), web en español sobre el estudio de las técnicas y tecnologías que componen los sistemas urbanos de drenaje sostenible. Obtenido de http://sudsostenible.com/

7. Woods-Ballard, B., Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, C., Bray, R., & Shaffer, P. (2007). *The SUDS manual* (Vol. 697). London: Ciria. Obtenido de https://dokumen.pub/
8. Hulme, M, Jenkins, G J, Lu, X, Turnpenny, J R, Mitchell, T D, Jones, R G, Lowe, J, Murphy, J M, Hassell, D, Boorman, P, Mcdonald, R and HILL, S (2002) Climate Change Scenarios for the United Kingdom: The UKCIP02 Scientific Report Tyndall Centre for Climate Change Research, School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Norwich, UK
9. THE NATURAL STEP (2001) 2020 Vision Series No. 3: Sustainable drainage systems (SuDS) Go to: www.naturalstep.org.uk/summary%20final%20suds%20report.pdf
10. BERRY, C W (2002) "Sustainable urban drainage – UK experience and practical application in New Zealand" In: Proc 44th NZWWA annual conference, Christchurch, September 2002. Go to: www.mwhglobal.co.nz/Files/NZWWA-02-CB.pdf
11. Rossman, L.A., 2009. Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0. EPA/600/R-05/040, National Risk Management Research Laboratory. United States Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio. https://www.researchgate.net/publication/244068240_Storm_Water_Management_Model_User's_Manual
12. Elliotta, A.H., Trowsdale, S.A., 2007. A review of models for low impact urban stormwater drainage. Environmental Modelling and Software 22 (3), 394–405).

13. EPA, 2020, Pagina web que contiene información del programa SWWM, https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm
14. Abellán, A. (21 de mayo de 2018). SuD Sosstenible. Obtenido de http://sudsostenible.com/gifmod-un-nuevo-software-para-la-simulacion-de-infraestructuras-verdes/
15. Cova, W. J. (2016). Sistemas, Modelos, Simulación y un toque de Epistemologia. Argentina: U.T.N.
16. Kofman, H. A. (2021). Modelos y Simulaciones Computacionales en la enseñanza fisica . Santa Fe, República Argentina.
17. Cortes, Nicolas A. G. (2018). MONTAJE EXPERIMENTAL PARA LA EVALUACION DE LA ESCORRENTIA Y LA EVAPOTRANSPIRACION EN TECHOS VERDES. BOGOTA D.C. obtenido de https://es.scribd.com/
18. 1 The Mount Tabor Middle School, Portland, EE.UU; 2 The North Scituate village, Rhode Island, EE.UU; 3 Blanco River watershed, Texas, EE.UU; 4 Montgomery County, Maryland, EE.UU; 5 Scandinavia VTT Technical Research Centre, Finland; 6 Lamb Drove, Cambourne, UK
19. SECRETARIA DE AMBIENTE BOGOTA. (2020, 24 septiembre). *Sistemas urbanos de drenaje sostenible*. Secretaría Distrital de Ambiente. Recuperado 15 de noviembre de 2021, de https://www.ambientebogota.gov.co/es/web/sda/sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible
20. Pavcowavin, 2020. Obtenido de https://pavcowavin.com.co/

21. Jiménez-Bonilla, A. F. & Joya-Caviedes, J. L. (2015). Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) como gestión integral en la regulación y control de aguas lluvias; caso de estudio sector en la ciudad de Bogotá. Trabajo de Grado. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil. Bogotá, Colombia. Obtenido de https://documentop.com/
22. Díaz Caicedo, N. (2016). Diagnóstico cuenca urbana ubicada en la ciudad de Bogotá con problemas de inundación e implementación de sistemas de drenaje urbano como solución de los mismos. Obtenido de https://repository.ucatolica.edu.co/
23. Mancipe Muñoz, N. A., Tabares Catimay, J., & Gallo Martínez, L. M. (2019). Modelación del desempeño hidrológico de techos verdes en ciudades andinas tropicales usando SWMM. Obtenido de http://www.scielo.org.co/
24. Pava Jiménez, A. (2020). Evaluación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible para mitigar los efectos de Inundaciones Pluviales en la cuenca Palo grande, ciudad de Manizales. Obtenido de https://repositorio.unal.edu.co/
25. CONAMA. (2018). AGUA Y CIUDAD, SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE. MADRID. Obtenido de http://www.fundacionconama.org/
26. Helechos S.A.S. (18 de JUNIO de 2014). LEY DE TECHOS VERDES EN BUENOS AIRES (ARGENTINA). Obtenido de http://ecotelhado.com.co/ley-techos-verdes-buenos-aires-argentina/

27. Perales Momparler, S. (2011). Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). España.

28. unesco.org. (2019). SUDS: Sistema de drenaje basados en conceptos naturales. Argentina. Obtenido de https://whc.unesco.org/

29. IDIGER, 2016. Obtenido de https://www.idiger.gov.co/