

Planificación de drenajes urbanos sostenibles como herramientas para mejorar el metabolismo de la ciudad de Mérida-Venezuela.

Sustainable urban drainage planning as tools to improve the metabolism of the city of Mérida-Venezuela.

Rojó, María ^{1*}; Mora, Luis ²

¹Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

²Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

*malejandrarojo@gmail.com

Resumen

El desarrollo de las ciudades está limitado por el espacio físico y la capacidad de su infraestructura. La ciudad de Mérida ha tenido gran crecimiento poblacional, su infraestructura tiene más de medio siglo y se encuentra al límite de capacidad, ameritando renovarla completamente o restringir el crecimiento de la ciudad. De todas las infraestructuras, se evalúa la de los sistemas de drenaje urbano, entendiendo que su mal funcionamiento puede ser el causante del colapso de la ciudad en periodos de lluvia. Esta investigación introduce al estudio de la ciudad la teoría del metabolismo urbano en relación a las lluvias, automatizando su cuantificación, mediante el sistema de modelado Storm Water Management Model de Us EPA (SWMM), con la finalidad de desarrollar una metodología aplicable a cualquier ciudad e infraestructura.

El estudio se limita a un sector del área de servicio del colector 1-AVT, que abarca desde la Plaza Chaplin hasta Glorias Patrias, cuyo sistema de drenaje urbano no funciona eficientemente ya que más del 90% de la lluvia generada no es canalizada correctamente, por lo cual en periodos de lluvia las vías del sector se convierten en canales.

El modelado en SWMM ha permitido identificar el volumen de lluvia excedente y procurar su disminución evaluando diferentes escenarios, con criterios de drenajes urbanos sostenibles, lo que permite generar lineamientos de planificación a largo plazo para garantizar aumentar la vida útil de la actual infraestructura de drenajes del sector de estudio.

Palabras clave: Metabolismo Urbano, Infraestructura Urbana, Infraestructura Critica, Drenajes Urbanos Sostenibles, Industria 4.0, SWMM.

Abstract

The development of cities is limited by the physical space and the capacity of its infrastructure. The city of Mérida has had great population growth, its infrastructure is more than half a century old and is at its capacity limit, deserving a complete renovation or restricting the growth of the city. Of all the infrastructures, the urban drainage systems are evaluated, understanding that their malfunction can be the cause of the collapse of the city in periods of rain. This research introduces the theory of urban metabolism in relation to rainfall to the study of the city, automating its quantification, through the US EPA Storm Water Management Model (SWMM) modeling system, in order to develop a methodology applicable to any city. and infrastructure.

The study is limited to a sector of the service area of collector 1-AVT, which covers from Plaza Chaplin to Glorias Patrias, whose urban drainage system does not work efficiently since more than 90% of the rain generated is not channeled correctly. Therefore, in periods of rain, the roads of the sector become canals.

SWMM modeling has made it possible to identify the excess rainfall volume and try to reduce it by evaluating different scenarios, with sustainable urban drainage criteria, which allows generating long-term planning guidelines to guarantee increasing the useful life of the current drainage infrastructure of the study area

Keywords: Urban Metabolism, Urban Infrastructure, Critical Infrastructure, Sustainable Urban Drainage, Industry 4.0, SWMM

1 Introducción

Las ciudades crecen y evolucionan y su desarrollo no es infinito, está limitado a su superficie e infraestructura, ciudades como New York han logrado mantenerse y evolucionar por más de 150 años porque su infraestructura ha evolucionado a pesar de permanecer en el mismo espacio geográfico, permitiendo de esta manera albergar mas personas en una misma superficie, si extrapolamos esta idea a la ciudad de Mérida, la ciudad fundacional conserva la misma trama y su desarrollo ha sido longitudinal y transversal, aumentando la superficie, pero en la zona fundacional se conserva prácticamente la misma infraestructura de inicios de 1900. Considerando que la ciudad ha crecido al noreste y suroeste de la trama fundacional (longitudinalmente) todos los servicios de infraestructura de cloacas y drenajes al noreste, descansan en la infraestructura de la trama fundacional, esta ultima soportando una carga mayor que para la que fue diseñada, ya que para inicios de 1900 era imposible predecir cual seria el crecimiento de la ciudad hacia esa zona. En la actualidad la infraestructura de cloacas y drenajes al noreste del área fundacional es deficiente, colapsando ante cualquier evento pluviométrico de mediana intensidad, lo que trae un problema de sobrecarga sobre la misma infraestructura, pero sobre la trama fundacional.

Lo descrito anteriormente conlleva a plantear el siguiente objetivo general: Determinar de qué manera los nuevos paradigmas de la infraestructura enfocados al drenaje urbano sostenible pueden mejorar el metabolismo del Área de Valor Tradicional (AVT-1) del Municipio Libertador de la ciudad de Mérida al año 2030.

Para lograrlo se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- ✓ Identificar los nuevos paradigmas de la infraestructura urbana y su aplicación en los drenajes.
- ✓ Generar un instrumento metodológico escalable que permita visualizar los efectos del drenaje sobre el área urbana, considerando los nuevos paradigmas de la infraestructura urbana y que permita influenciar el metabolismo de la ciudad.
- ✓ Diagnosticar la Infraestructura Urbana del Área de Valor Tradicional (AVT-1) del Municipio Libertador de la ciudad de Mérida.
- ✓ Estudiar cómo es el metabolismo de la ciudad de Mérida desde la perspectiva de la Infraestructura Urbana Crítica.
- ✓ Aplicar el instrumento sobre Área de Valor Tradicional (AVT-1) del Municipio Libertador de la ciudad de Mérida, que permitirá definir las acciones

necesarias para mejorar la infraestructura de aguas servidas y pluviales al 2030.

2 Marco teórico

Lograr desarrollar todos esos objetivos, implica tener una fundamentación teórica para lo cual nos apoyamos sobre las siguientes conceptualizaciones:

2.1 Infraestructura urbana

Se define como *“La red de instalaciones y obras de uso público que hacen posible la convivencia, el desarrollo individual y colectivo y la actividad económica de una sociedad”* Corrales 2008.

Para poder estudiarlas se categorizan de la siguiente manera

- A. Instalaciones asociadas a la prestación de los servicios públicos por redes.
- B. Obras que hacen posible el tránsito y transporte de personas y mercancías.
- C. Los edificios públicos asociados a la prestación de los servicios de educación, salud, deporte y recreación, justicia.
- D. Las obras asociadas a la conservación y administración del ambiente y los recursos naturales renovables.

Esta investigación se centró en la primera categoría específicamente en la red de servicios públicos de drenajes.

2.2 Infraestructura critica

Son las Instalaciones, sistemas y organizaciones que tienen un significado esencial para el funcionamiento de las sociedades, su falla puede causar perturbaciones significativas en la ciudad, por lo cual debe prestarse principal atención.

Se clasifican en

- A. **La infraestructura básica:** Toda la infraestructura necesaria para el correcto funcionamiento de la ciudad, ejemplo la red de agua.
- B. **La infraestructura socio económica:** Es toda la red que permite el intercambio económico y el desarrollo social, ejemplo la red bancaria.
- C. **La infraestructura cultural.** Es toda la red de información y comunicación, ejemplo la red de noticias.

De fallar algunas de esas infraestructuras se corre el riesgo de colapsar las ciudades, por ello es importante entender que un colapso puede darse de dos maneras: por la presencia de evento natural, el cual puede ser previsto en algunos casos, pero no se puede predecir su magnitud exacta, o por la falla humana, este ultimo caso por error humano o por ataque intencional (terrorismo).

En el caso de esta investigación la infraestructura crítica estudiada corresponde a la básica y las amenazas consideradas son por error humano y eventos naturales de magnitud extrema.

2.3 Sistemas Urbanos de Drenajes Sostenibles (SUDS)

Considerar los sistemas de drenaje urbano sostenible implica identificar primero, que son los sistemas de drenajes urbanos, los cuales son el resultado de la necesidad de canalizar las aguas pluviales, se inician con la canalización de las aguas residuales y posterior encauce de las escorrentías producidas por las lluvias, con el fin de controlar las posibles inundaciones que se podrían generar.

Si bien los sistemas de drenaje se entienden como una solución para la escorrentía superficial en las zonas urbanizadas, en última instancia se convierten en un problema, ya que deben manejar gran cantidad de aguas en la mayoría de los casos sin tener un control de la calidad medio ambiental, lo que termina siendo un servicio prestado deficiente.

En virtud de la problemática que presentan los drenajes urbanos a largo plazo, es que aparece la teoría de los Sistemas Urbanos de Drenajes Sostenibles (SUDS) los cuales son *“diseñados para contribuir a los logros de la construcción con relación a la sostenibilidad, por lo cual lo que buscan los SUDS es reproducir lo más fielmente posible el sistema natural de drenaje de un sitio antes de las actuaciones y desarrollos urbanos.”* CIRIA 2018

Para evaluar la implementación de los SUDS sobre las ciudades, se consideran sus tipologías las cuales están estructuradas en 2 grandes grupos:

SUDS no estructurales: Se corresponde con todas las medidas y normativa que no requieren elementos contruidos para mejorar el funcionamiento de los sistemas de drenajes, considerando criterios de sostenibilidad; y permitiendo alargar la vida útil de los sistemas de drenajes urbanos de las ciudades.

SUDS estructurales: Son todos los elementos estructurales que al implementarlos sobre las ciudades pueden mejorar el desenvolvimiento de los sistemas de drenajes convencionales de las mismas, tales tipologías estructurales pueden caracterizarse de la siguiente manera:

- ✓ **Cubiertas vegetadas:** Sistemas multicapa con cubierta vegetal que recubren tejados y terrazas de todo tipo.
- ✓ **Superficies Permeables:** Pavimentos que permiten el paso del agua a su través.
- ✓ **Franjas Filtrantes:** Franjas de suelo vegetadas, anchas y con poca pendiente, localizadas entre una superficie dura y el medio receptor de la escorrentía.

- ✓ **Pozos y Zanjas de Infiltración:** Poco profundos (1 a 3 m) rellenos de material drenante. Capaces de absorber totalmente la escorrentía generada por la tormenta de diseño para la que han sido diseñadas
- ✓ **Drenes Filtrantes o Franceses:** Zanjas poco profundas rellenos de material filtrante, con o sin conducto inferior de transporte.
- ✓ **Cunetas Verdes:** Estructuras lineales vegetadas de base ancha ($> 0,5$ m) y talud tendido ($< 3H:1V$) diseñadas para almacenar y transportar superficialmente la escorrentía.
- ✓ **Depósitos de Infiltración:** Depresiones del terreno vegetadas diseñadas para almacenar e infiltrar gradualmente la escorrentía generada en superficies contiguas.
- ✓ **Depósitos de Detención En Superficie:** Depósitos superficiales diseñados para almacenar temporalmente los volúmenes de escorrentía generados aguas arriba, laminando los caudales punta.
- ✓ **Depósitos de Detención Enterrados:** Cuando no se dispone de terrenos en superficie, o las condiciones del entorno no recomiendan una infraestructura a cielo abierto, estos depósitos se construyen en el subsuelo.
- ✓ **Estanques de Retención:** Lagunas artificiales con lámina permanente de agua (de profundidad entre 1,2 y 2 m) con vegetación acuática, tanto emergente como sumergida. Están diseñadas para garantizar largos periodos de retención de la escorrentía (2-3 semanas).
- ✓ **Humedales:** Lagunas artificiales con lámina permanente de agua, pero de menor profundidad y con mayor densidad de vegetación emergente, aportan un gran potencial ecológico, estético, educacional y recreativo.

2.4 Metabolismo urbano

Definir el metabolismo urbano implica conocer primero que es metabolismo, el cual se define como el *“Conjunto de reacciones químicas que efectúan las células de los seres vivos con el fin de sintetizar o degradar sustancias”* DRAE 2021, es decir el cuerpo humano toma energía de los alimentos y el entorno, procesa lo que necesita y desecha lo que no le sirve, extrapolando esta teoría a la ciudad aparece la definición de metabolismo urbano como La suma total de los procesos técnicos y socioeconómicos que ocurren en las ciudades, resultando en crecimiento, producción de energía y eliminación de desechos, para lograrlo se define a la ciudad por componentes: entradas, consumos y salidas basado en la teoría del metabolismo social que *“comienza cuando los seres humanos socialmente agrupados se apropian materiales y energías de la naturaleza (input) y finaliza cuando depositan desechos, emanaciones o residuos en los espacios naturales (output). Pero entre estos dos fenómenos ocurren además procesos en las “entrañas” de la sociedad por medio de los cuales las energías y*

materiales apropiados circulan, se transforman y terminan consumiéndose.” Toledo 2013

El metabolismo urbano se encuentra formado por 4 ciclos:

- A. Ciclo Atmosférico.
- B. Ciclo Hidrológico.
- C. Ciclo de la materia orgánica y los residuos.
- D. Ciclo energético.

Siendo tema tocado en esta investigación el metabolismo del ciclo hidrológico dividido en dos: el del ciclo urbano del agua y el ciclo urbano de aguas de lluvia

Considerando los componentes del metabolismo urbano y superponiéndolos en el ciclo urbano del agua se tiene lo siguiente:

En el caso del agua potable la entrada se realiza en la captación del recurso agua, la transformación y apropiación del recurso se da mediante la potabilización, almacenamiento distribución y consumo del agua y la salida se da mediante la recolección por el sistema de alcantarillado, depuración, reutilización (de existir) y retorno al cauce.

En el caso del agua de lluvia, la entrada se da al aparecer el evento pluviométrico, no se tiene ninguna transformación o apropiación del recurso y la salida se da mediante el sistema de recolección de aguas de lluvia; y de existir su importante tratamiento

Como se puede observar, mientras el agua potable cumple el ciclo completo del metabolismo urbano en el caso de las aguas de lluvia no, y esto se debe principalmente a que el agua de lluvia no tiene ningún uso en la ciudad.

Es importante recordar que el metabolismo urbano puede ser de ciclo cerrado, se repite de inicio al fin el proceso (siendo susceptible a la introducción de conceptos de economía circular) o abierto, es decir que termina un proceso para dar inicio a uno nuevo

2.5 Automatización de procesos

En la actualidad la automatización de procesos es fundamental para el procesamiento de información de manera eficiente; y es aquí donde se hace referencia al internet de las cosas o la industria 4.0, que se basa en los llamados sistemas ciber físicos, en los cuales los procesos de producción (sean físicos o biológicos) son controlados o monitoreados por algoritmos integrados a Internet.

3 Nuevo paradigma: Las ciudades inteligentes

Las ciudades no son eternas, ellas tienden a crecer hasta donde su espacio físico y su infraestructura se lo permite. Por lo cual luego de llegar a su límite aparece la obsolescencia, en la actualidad, el espacio físico mundial

ya está delimitado, por lo que crear nuevas ciudades es un proceso prácticamente imposible, es allí donde aparecen los nuevos paradigmas para reinterpretar el funcionamiento de las ciudades, entendiendo que si vida útil depende de los elementos antes descritos y que van de la mano, por lo que en la actualidad lo que queda es alargar la vida útil de los mismos, para garantizar el espacio y funcionamiento correcto a generaciones futuras. Entender que la infraestructura debe ser analizada para alargar su vida útil, ya que construir una nueva desde cero para una ciudad es imposible ante todo pronóstico. Es en este punto donde aparecen las ciudades inteligentes que se definen como “*la visión holística de una ciudad que aplica las TIC [Tecnologías de la Información y Comunicación] para la mejora de la calidad de vida y la accesibilidad de sus habitantes y asegura un desarrollo sostenible económico, social y ambiental en mejora permanente*” Plan Nacional de Ciudades Inteligentes de España 2022.

Las ciudades inteligentes no aparecen de la nada, las mismas se construyen, este proceso inicia con la digitalización de la información para su posterior análisis en pro de mejorar el funcionamiento de la ciudad en todos los ámbitos.

3.1 Las ciudades inteligentes y los sistemas de drenaje urbano.

Uno de los principales retos de las grandes urbes es gestionar de manera conveniente el agua de lluvia.

Con el paso del tiempo se ha comprendido que, dicha actividad, debe realizarse de manera sostenible y racional, considerando no sólo la cantidad de precipitación, sino también su calidad o contaminación y la utilidad que pueda obtenerse tras su adecuada gestión. Es por ello que el paradigma de la ciudad inteligente juega un papel importante sobre la red de drenaje urbano, porque es necesario cuantificar la lluvia producida, recolectada y desechada, para poder tomar las acciones adecuadas que permitan mejorar el ciclo del agua de lluvia en la ciudad, meta que es posible lograr mediante la utilización de tecnología, donde se tienen los sistemas de modelado mediante software que permiten la sistematización de la información para tratar la complejidad de la red de drenaje.

La sistematización se realiza mediante la digitalización de la información de precipitación, condiciones de vialidad, pendientes, superficies permeables y/o impermeables, presencia de sumideros, y sistemas de colectores unitarios o de lluvia.

Partiendo de la digitalización de la información, se debe definir si se busca un modelado activo o pasivo y de esa manera definir el software a utilizar.

- **Modelo Activo:** consiste en modelar en tiempo real el comportamiento de la red mediante la utilización de

sensores ubicados a lo largo de la misma, que envían información en tiempo real al software, lo que permite tomar acciones inmediatas, esto es lo que se conoce como gemelo digital (real y digital en simultáneo).

- **Modelado pasivo:** se obtiene la información digital, se introduce en el software, el cual se encargará de simular la situación actual, y el o los escenarios extremos propuestos, lo que permitirá tomar acciones a corto mediano y largo plazo.

3.2 Storm Water Management Model. EPA

Esta investigación se centra en la utilización de un software para modelado pasivo: modelo de gestión de aguas pluviales (SWMM) de la EPA, el cual es un modelo dinámico de simulación de enrutamiento de lluvia y escorrentía que se utiliza para la simulación de un solo evento o a largo plazo (continua) de la cantidad y calidad de la escorrentía principalmente en áreas urbanas. El componente de escorrentía de SWMM opera en una colección de áreas de subcuencas que reciben precipitación y generan cargas de escorrentía y contaminantes. La parte de enrutamiento de SWMM transporta esta escorrentía a través de un sistema de tuberías, canales, dispositivos de almacenamiento/tratamiento, bombas y reguladores. SWMM rastrea la cantidad y la calidad de la escorrentía generada dentro de cada subcuenca, y la tasa de flujo, la profundidad del flujo y la calidad del agua en cada tubería y canal durante un período de simulación que consta de varios pasos de tiempo. EPA SWMM es un software de dominio público que se puede copiar y distribuir libremente.

Es importante tener en cuenta que este software permite también modelar el nivel de contaminación en las

aguas de lluvia, lo que se convierte en un plus para canalizar el alcance los objetivos de sostenibilidad en las ciudades.

4 Instrumento Método Escalable

La dinámica actual de las ciudades consiste en lo siguiente: con el pasar de los años continúa el crecimiento poblacional, por lo cual se tiene el aumento de las áreas construidas de la ciudad, pero se continúa con la misma infraestructura de servicios, la cual según estándares internacionales se proyecta para una vida útil de 50 años, finalizado este periodo se deben reevaluar las mismas y realizar las correcciones respectivas, para garantizar su correcto funcionamiento para el futuro. La realidad es que el crecimiento de la ciudad continúa, pero la infraestructura no es actualizada a las nuevas demandas, presentándose en la mayoría de los casos el colapso de la misma.

Es por ello que se plantea este instrumento metodológico que interconecta la teoría del metabolismo urbano con el estudio convencional de los sistemas de drenajes de la ciudad, evaluando su capacidad inicial, presente y futura, introduciendo técnicas de drenaje urbano sostenible, simuladas mediante software de modelado de sistemas de drenaje, lo que permite ver la mejora de la dinámica de estos sistemas de la ciudad, para plantear medidas reales que permitan alargar la vida útil de la red de drenaje. Ver Figura 1

Antes de analizar el sistema de drenaje desde la teoría del metabolismo urbano, es necesario realizar una caracterización del sector de estudio que proporcionará datos comunes para cada una de las fases del metabolismo del sistema analizado.

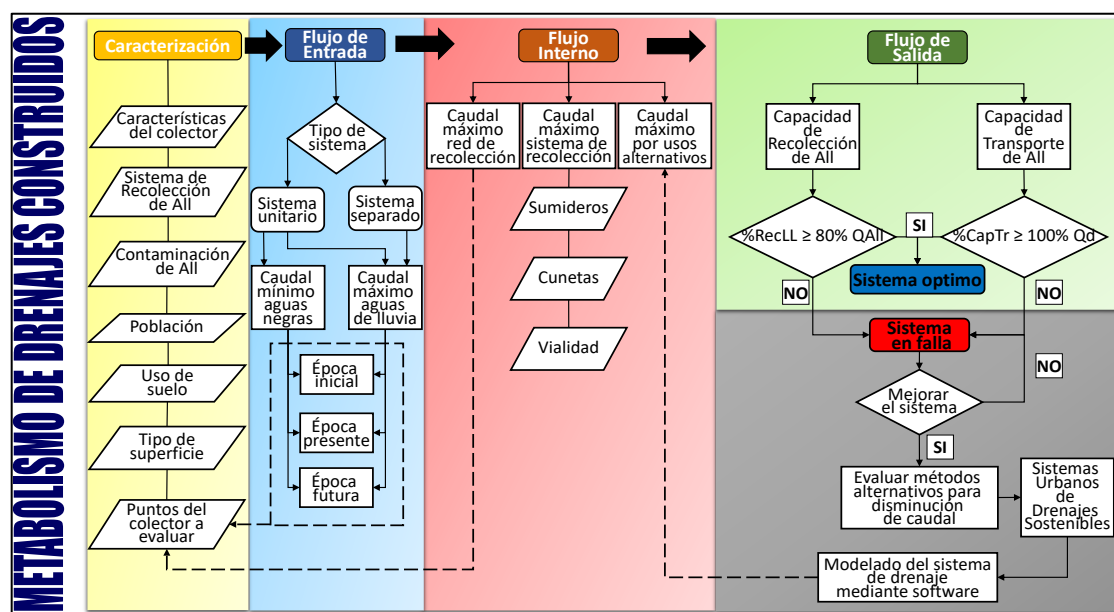


Figura 1: Diagrama metodológico para el estudio de Sistemas de drenaje Urbano

Fuente: Elaboración propia 2022

5 El Área De Valor Tradicional De Mérida y su Infraestructura Urbana

La ciudad de Mérida se asienta sobre la meseta de Tatú y tiene su origen sobre los principios fundacionales de la ciudad colonial, teniendo como estructura base la forma de damero, dónde se ubica la plaza mayor, actualmente plaza Bolívar en el centro y alrededor de esta los servicios como Catedral, Gobernación y otros, necesarios para el correcto funcionamiento de la ciudad, quedando en las cercanías de esta; y sobre la estructura de damero los primeros asentamientos residenciales que a medida que se alejaban de la plaza mayor eran edificaciones residenciales más sencillas.

La estructura de damero, organizaba fácilmente la ciudad y ayudaba a predecir su desarrollo, permitiendo la ubicación futura de los diversos servicios necesarios para el funcionamiento de la ciudad moderna que incluye: vialidad, alumbrado, agua, cloacas, y comunicaciones que, en el caso de la ciudad de Mérida, se fundamenta sobre la trama tradicional planificada que va en sus inicios desde la cruz del humilladero actualmente plaza Chaplin hasta el sector Glorias Patrias, considerándose, según Amaya (1989) en una etapa más reciente desde la Vuelta de Lola hasta Pie del Llano, según se muestra en la Figura 2,

Lo que corresponde de Glorias Patrias hasta Pie del Llano se desarrolla sobre la estructura de damero de la ciudad fundacional, pero de la plaza Chaplin hasta la Vuelta de Lola predomina el desarrollo de la ciudad moderna.



Figura 2: Desarrollo de la ciudad de Mérida
Fuente: Elaboración propia 2022

Cómo el crecimiento de la ciudad se da inicialmente en sentido longitudinal hacia el noreste y hacia el suroeste de la ciudad fundacional, los servicios de infraestructura cómo vialidad no sufren mayor impacto, por tanto se convierten en la continuación de la trama, dibujándose de esta manera el crecimiento de la ciudad, pero cuando se habla de aguas y cloacas la situación es distinta: la ciudad ha crecido, pero su infraestructura de abastecimiento de agua es la misma, lo cual más allá de Glorias Patrias representa para la tubería de la zona norte mayor demanda que atender, sobre una infraestructura sin ningún tipo de ampliación, en el caso de los colectores, sobre el desarrollo

de la ciudad fundacional hay que recargar lo que proviene del noreste que se corresponde desde San Benito – Vuelta de Lola hasta la plaza Chaplin y todo esto incluyendo a la ciudad fundacional, se debe sumar a los servicios de Glorias Patrias hacia abajo, esto último no tiene mayor inconveniente debido a que forma parte del nuevo desarrollo de la ciudad y en su momento se tomó como referencia para el desarrollo de la infraestructura correspondiente.

La infraestructura de servicios públicos de la ciudad de Mérida, se ubica principalmente sobre la meseta de Tatú, limitada por los bordes del río Chama y Albarregas, derivando de esta los servicios necesarios para la Otra Banda y el borde del Chama, asentamientos que se iniciaron de manera espontánea y sin ningún tipo de planificación, por lo cual la infraestructura inicial corresponde principalmente a la demanda inmediata y no a proyecciones futuras del crecimiento de estas bandas.

Es importante resaltar que el desarrollo de las infraestructuras de abastecimiento aguas y cloacas de las bandas Albarregas y Chama se ven afectadas justamente por la diferencia de nivel y la presencia de los ríos que separan las bandas de la meseta, lo cual se ve reflejado en los ríos Chama y Albarregas convirtiéndose estos en los receptores de las descargas de los colectores de la ciudad. En el caso de aguas blancas, la toma principal del abastecimiento de agua de la meseta proviene de la cuenca de Mucujún, prestando servicio también a parte de la Otra Banda, lo no cubierto por la toma de Mucujún motivado a la diferencia de nivel, es servido por diques tomas particulares, como el situado sobre el río Albarregas, entre otros

Estudiar la ciudad de Mérida desde la infraestructura es un tema muy amplio, implica identificar cada uno de los servicios necesarios para el correcto funcionamiento de la ciudad de Mérida y evaluar cómo es su desempeño diario, por lo cual esta investigación se centrará en el sistema de drenaje urbano, pero evaluando el sistema de cloacas y alcantarillado, ya que ambos conforman un sistema de alcantarillado unitario, en gran parte de su recorrido.

5.1 Situación Actual del Sistema de Aguas Servidas de la ciudad de Mérida: Red de alcantarillado sanitario.

Según el informe MERBAR (Tahal, 1998) El 80% de la ciudad de Mérida contaba con alcantarillado sanitario, estructurado de la siguiente manera (ver Figura 3): once colectores principales, varios locales y un gran número de colectores independientes que descargan sus aguas directamente a los Ríos Albarregas y Chama, en un número de aproximadamente 42 descargas, que sumadas a las de

los primeros, hacen un total de 48, en su mayoría en el Albarregas, sin ningún tipo de tratamiento previo.

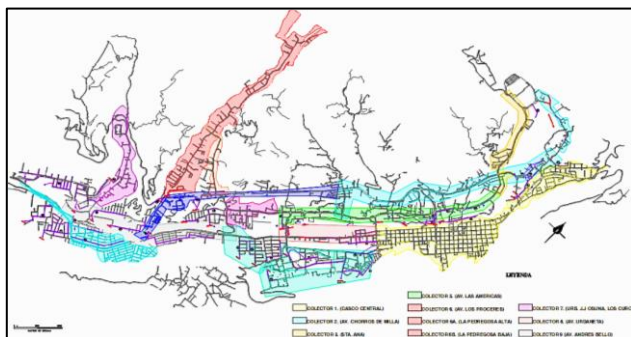


Figura 3: Sistema de alcantarillado sanitario de la ciudad de Mérida
Fuente: Elaboración propia 2022

En correspondencia con lo descrito anteriormente para esta investigación se desarrollará la caracterización sobre el colector Casco Central (1 y 1A) el cual abarca el área de estudio desde la actual Plaza Chaplin hasta el sector Glorias Patrias, y adicionalmente Av. Universidad y Hoyada de Milla, Vuelta de Lola hasta llegar a San Benito vía el Valle.

5.2 Caracterización del sector de estudio: Colector Casco Central.

La construcción del colector se realizó por etapas, entre los años 1945 y 1990, siendo la sección más antigua la correspondiente al centro de la ciudad, muchas de cuyas tuberías se encuentran dañadas. Este colector (ver Figura) recoge el mayor caudal de aguas servidas de la ciudad, cerca del 30 % de la población (Tahal, 1998), comienza en la parte alta del Barrio San Benito, se desvía hacia la Avenida Principal de La Hoyada de Milla, continúa hasta la esquina Nordeste de la Plaza de Milla, desde donde cruza a la izquierda para incorporarse al Casco Central de la ciudad por la Calle 13 (Colón), hasta la esquina Noroeste del Cuartel Rivas Dávila, luego el Colector zigzaguea por Avenidas y Calles, aumentando su diámetro hasta 36" al entrar en la intersección de la Calle 16 (Araure) con la Avenida 7 (Maldonado), donde cambia su sección a un cajón, para discurrir por dicha Calle 16, al final de la cual, cruza hacia la derecha para recorrer la Avenida 8 (Paredes), continuando hasta la Av. Paseo de la Feria.

En la Avenida Paseo La Feria (Domingo Peña), cruza debajo de Edificios del sector hasta una Calle transversal que vuelve a comunicar el colector con la Avenida Paseo La Feria, siguiendo hasta el final del Paseo en su intersección con la Avenida 6 (Rodríguez Suárez). Continúa por la citada Avenida 6, para luego cruzar a la derecha y dirigirse a la Avenida Don Tulio Febres Cordero, para continuar por ésta hasta la intersección con la Avenida Miranda.

En lo que respecta a la intersección antes mencionada, entre la Avenida Don Tulio y la Calle Miranda, se cree que en ese sitio se construyó un sistema de aliviadero (Tahal, 1998), con el objeto de separar las aguas de lluvia de las servidas, enviando las primeras hacia la descarga en el río Albarregas (Urb. El Encanto), y las segundas hacia otro colector que discurre por el tramo alto de la Avenida 16 de Septiembre, y a través de éste, al río Chama, pero no se ha podido comprobar la existencia ni el estado actual de dicho aliviadero.

Después de la citada intersección, el colector se dirige por la Avenida Miranda hasta la Avenida 3 (Urdaneta), donde cruza hacia la izquierda para continuar hasta la Calle 4ª de la Urbanización El Encanto, donde cruza a la derecha y luego a la izquierda, para hacer un último cruce a la derecha e incorporarse al cajón que conduce a un canal de descarga al río Albarregas.

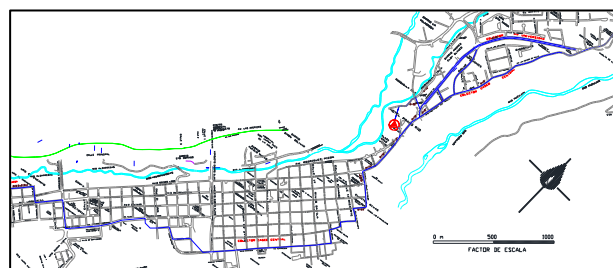


Figura 4: Colector Casco Central (1-1A) En azul oscuro (—)
Fuente: Elaboración propia 2022

5.3 Análisis del Sistema de Drenaje.

Considerando que el sector de estudio tiene alta inestabilidad geomorfológica en el sector de milla cercano al borde de talud, que la antigüedad del colector es de casi 100 años, que la distribución de los sistemas de drenajes es ineficiente, ya que no son suficientes y se encuentran en su mayoría obstruidos, que el crecimiento de la zona norte ha sido mayor al previsto para la década de los 40', que la capacidad de recolección en algunos sectores es deficiente (ver Figura 5)

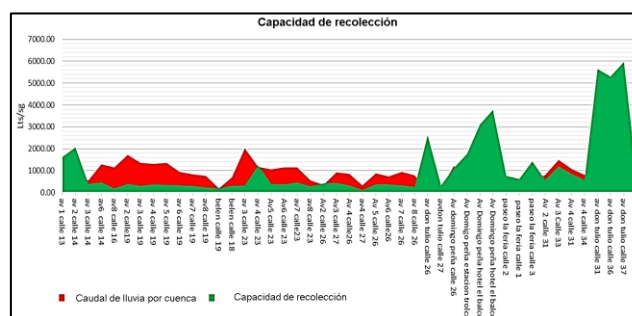


Figura 5: Capacidad de recolección
Fuente: Elaboración propia 2022

Se concluye:

- La capacidad de recolección de aguas de lluvia en el sector de estudio es deficiente, presentando un déficit en sectores específicos de hasta el 500%.
- La capacidad de transporte de aguas servidas es óptima en el sector de estudio.
- La capacidad de transporte de aguas de lluvia es óptima al final del recorrido, pero con inconvenientes marcados al inicio del sector.
- Se recomienda la valoración de métodos alternativos de recolección y transporte de aguas de lluvia con la finalidad de mitigar los efectos negativos causados por las lluvias en el sector de estudio.

6 Mejora del sistema de drenaje urbano del AVT-1 de Mérida.

La mejora al sistema de drenaje será evaluada mediante la utilización de software para modelado, dicho modelado se dividió en 2 etapas: la primera considera el funcionamiento del colector solo para aguas servidas, y en la segunda se incluyó al colector, las aguas de lluvia con diseño de tormenta para 5 minutos y 10 años y para 5 minutos y 25 años. (este último como valor de referencia a 10 años, considerando las condiciones de cambio climático, que disminuye los tiempos de retorno de eventos extremos)

6.1 Modelado del Colector AVT 1

El modelado de solo el paso de aguas servidas por el colector, muestra que no hay mayor incidencia a lo largo del tiempo (ver Figura 6)

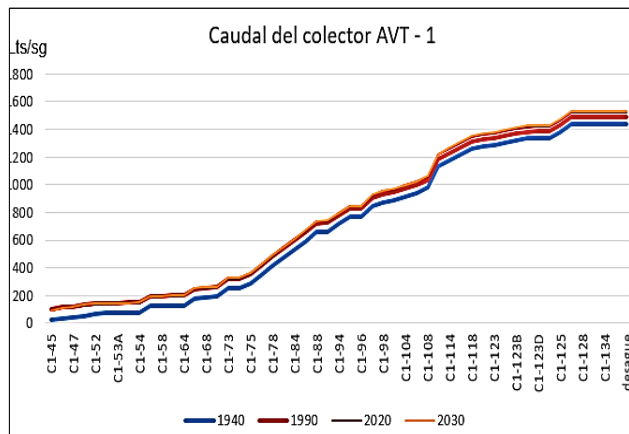


Figura 6: Caudal del colector AVT1
Fuente: Elaboración propia 2022

Cuando se evalúa el colector en su funcionamiento como sistema unitario, utilizando el software SWMM, se puede observar que con eventos específicos hay puntos de posible colapso, en color rojo (ver Figura 7), a los cuales corresponde aplicar criterios de drenaje urbano sostenible para mejorar el funcionamiento del mismo.

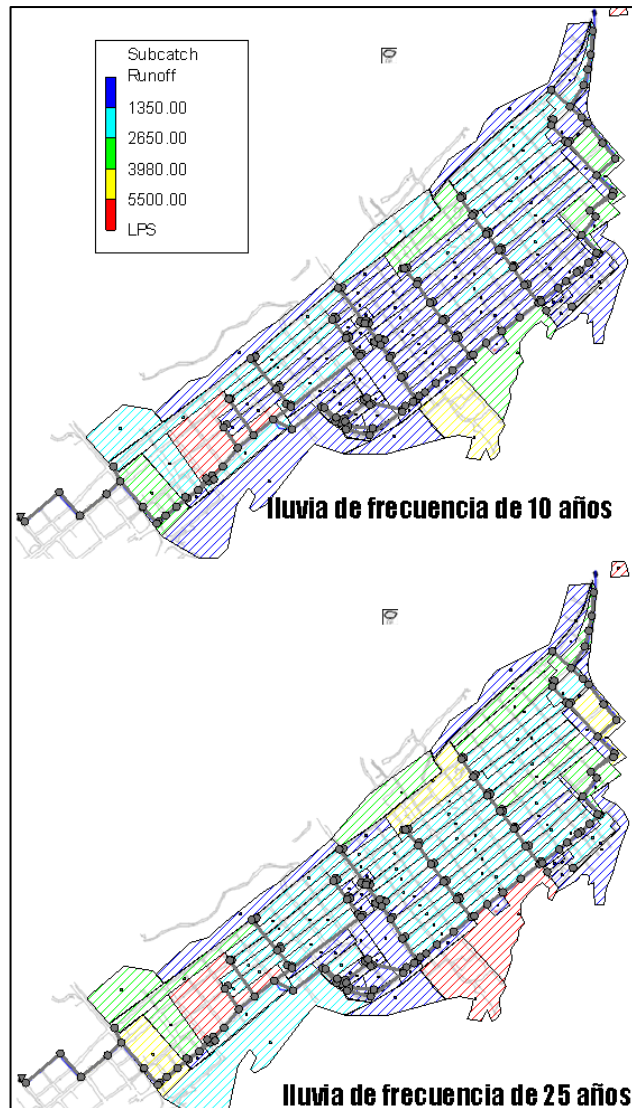


Figura 7: Escorrentía momento pico 30 minutos
Fuente: Elaboración propia 2022

6.2 Criterios de implementación de SUDS en el modelo.

Considerando lo descrito anteriormente, se sectorizó el área de estudio de la siguiente manera (ver Figura 8):

➤ Público:

Lo considerado espacio público, por recaer su cuidado sobre entes oficiales, se considera de fácil intervención ya que las condiciones para lograr la implementación de los SUDS dependerán principalmente del ente encargado del mismo. Por lo cual su intervención puede darse en corto y mediano plazo.

➤ Semi público

Los espacios de carácter semipúblico pueden considerarse con una administración compartida, cuya intervención puede verse afectada por el beneficio que implicaría mantener el espacio en óptimas condiciones de funcionamiento. Su intervención puede lograrse a mediano plazo.

➤ Privado

Las edificaciones de carácter privado, son de propiedad privada y su intervención voluntaria se puede dar mediante campañas de concientización que permitan hacer entender al propietario los beneficios de la implementación de estos sistemas, para ser viable puede ir acompañado por medidas tomadas mediante ordenanza, convirtiéndose en obligatorio cumplimiento una vez se desee hacer algún tipo de modificación a la vivienda, por lo cual la implementación de SUDS en estos espacios se considera progresiva entre un 10% y máximo un 50% de las edificaciones privadas a mediano y largo plazo (30 años).

PÚBLICO	SEMI PÚBLICO	PRIVADO
Plaza Chaplin: Se considera la ubicación de tanques de lluvia Plazas con áreas verdes, Milla, La Columna, Belén, Espejo, Bolívar, el Llano, Glorias Patrias: se sugiere la utilización de jardines de lluvia entre un 50% y 80% del área disponible	Cementerio el Espejo: Utilización de zanjas de infiltración acompañado de pavimentos permeables Canchas Lourdes y Jersey: utilización de celdas de bio retención acompañadas de tanques de lluvia.	Edificaciones privadas: se considera inicialmente la desconexión del 10% de los techos del sistema de aguas de lluvia mediante la implementación de sistemas de depósito interno en las edificaciones. Se considera que dicha desconexión puede llegar a 50% a un largo plazo.

Figura 8: Criterios de implementación de SUDS

Fuente: Elaboración propia 2022

6.3 Implementación de SUDS sobre el Colector Mediante la Utilización de SWMM

Definidos los criterios, se modelaron en el software, los distintos escenarios y se obtuvieron los siguientes resultados:

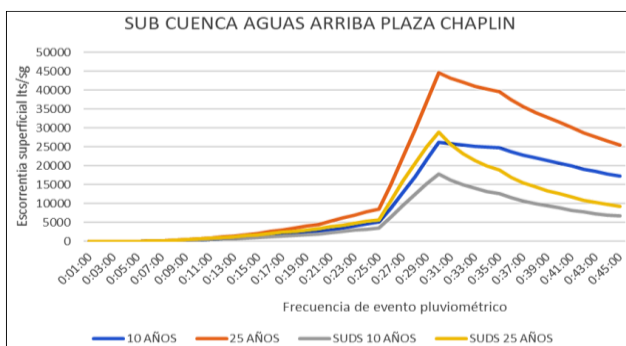


Figura 9: implementación de SUDS 1

Fuente: Elaboración propia 2022

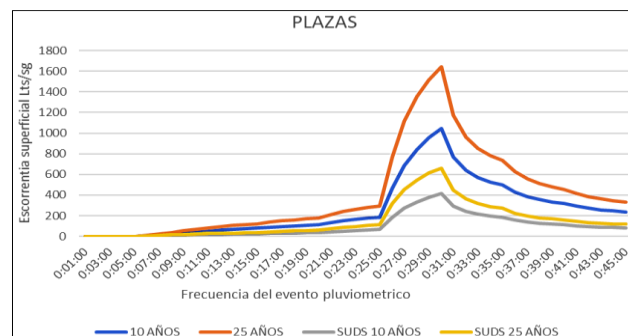


Figura 10: implementación de SUDS 2

Fuente: Elaboración propia 2022

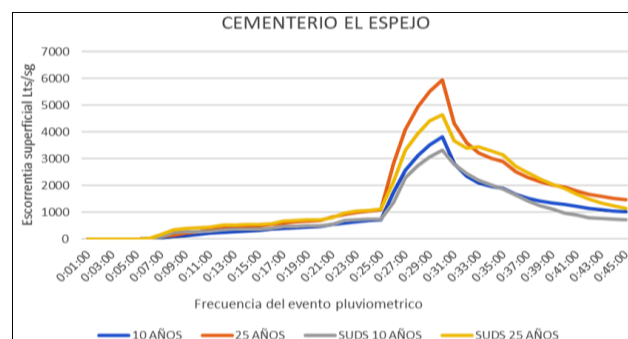


Figura 11: implementación de SUDS 3

Fuente: Elaboración propia 2022

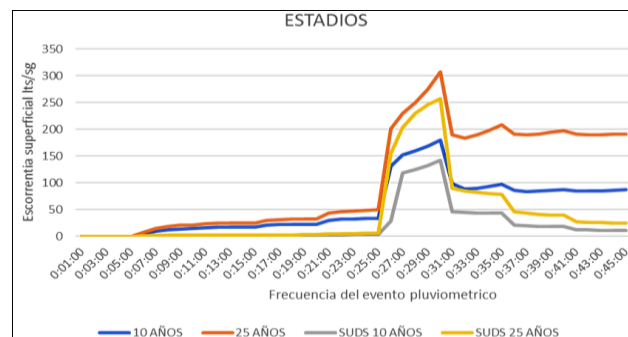


Figura 12: implementación de SUDS 4

Fuente: Elaboración propia 2022

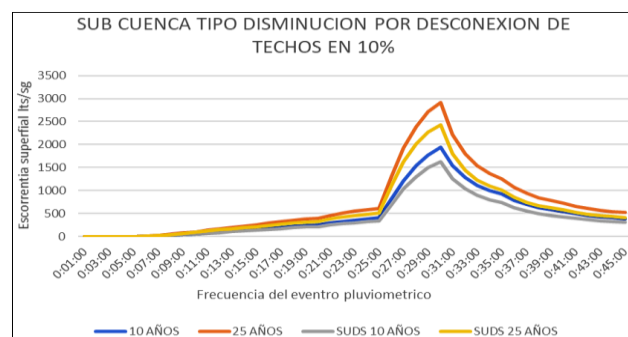


Figura 13: implementación de SUDS 4

Fuente: Elaboración propia 2022

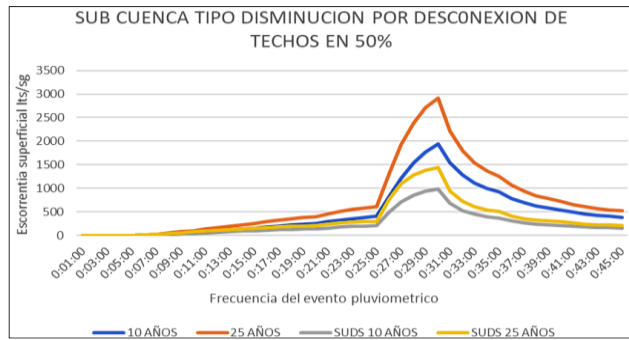


Figura 14: implementación de SUDS 5
Fuente: Elaboración propia 2022

Las figuras 9,10,11,12,13,14, permiten concluir que con la implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible sobre el sector de estudio se puede lograr una disminución de caudal superficial por subcuenca que va desde 16 % al 78%, la variación va a depender del tipo de SUDS implementado.

En la Figura 15, se puede observar el efecto de los SUDS sobre cada una de las cuencas en el momento pico de lluvia. y para cada frecuencia de evento pluviométrico.

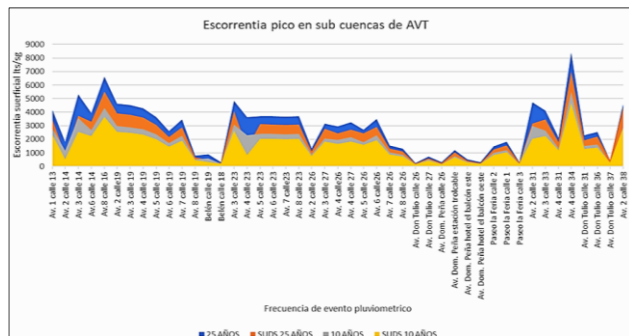


Figura 15: Escorrentía pico por subcuenca. Drenaje Urbano vs SUDS
Fuente: Elaboración propia 2022

6.4 Incidencia de los SUDS sobre el Colector Casco Central sector AVT

Se evalúa la incidencia de la implementación de los SUDS sobre el colector en estudio obteniendo los siguientes resultados:

Tramo inicial colector

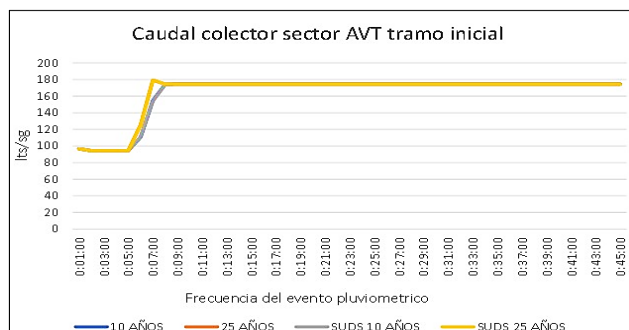


Figura 16: Caudal colector AVT tramo inicial Drenaje Urbano vs SUDS
Fuente: Elaboración propia 2022

Tramo final colector

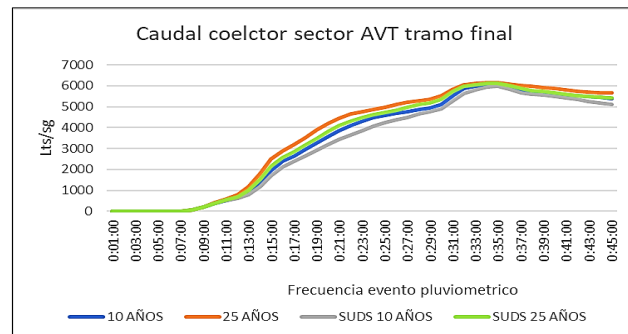


Figura 16: Caudal colector AVT tramo final Drenaje Urbano vs SUDS
Fuente: Elaboración propia 2022

En el caso del colector al inicio del AVT no se nota ninguna variación significativa en el caudal transportado; y al final del colector solo se nota una disminución en el momento pico de 2% con una variación máxima del 16% a lo largo del evento pluviométrico.

Se puede observar que la incidencia del SUDS sobre el colector es insignificante, pero es importante analizar el contexto para generar conclusiones reales.

El diagnóstico inicial arroja que el colector en su punto de inicio de estudio en el AVT, no tiene capacidad para transportar aguas de lluvias en eventos pluviométricos específicos, por lo cual el caudal excedente es transportado por la vía, la cual no tiene capacidad suficiente.

Al final del colector, el diagnóstico indicó que la capacidad de la tubería era óptima para transportar aguas de lluvia en eventos pluviométricos específicos.

Con estos escenarios presentes, al incluir lo SUDS es evidente que en el tramo inicial, antes de lograrse una variación significativa en el caudal de la tubería, se mitiga el excedente que es el caudal superficial, por lo cual en este punto no se ve diferencia de caudal en la tubería, pero si en las subcuencas asociadas al mismo.

Por otra parte, en el tramo final como no se tiene colapso de tubería, sino por el contrario se tiene capacidad para transportar mayor cantidad de aguas de lluvia, los SUDS aplicados sobre cuencas adyacentes muestran resultados sobre el caudal transportado por las tuberías al final del recorrido.

7 Aproximación a un plan de Drenajes Urbanos Sostenibles para el Área de Valor Tradicional de la ciudad de Mérida.

La presente investigación se desarrolló con la finalidad de evaluar el impacto de las nuevas tendencias tecnológicas y sostenibles sobre el funcionamiento de los drenajes urbanos; y su desarrollo se justifica con el Plan de Ordenación Urbanística de Mérida, Ejido y Tabay el cual establece que para estas áreas (Merida-Ejido- Tabay) deberá realizarse un plan maestro de drenaje urbano.

La idea de esta investigación, no es desarrollar un plan maestro, pero si lograr generar herramientas que sirvan para la toma de decisiones en la elaboración del mismo.

Tomando como referencia el manual para el diseño de planes maestros para la mejora de la infraestructura y la gestión del drenaje urbano Argentina (Banco Mundial, 2013), establece que la creación de un plan de drenaje urbano es un producto de un trabajo interdisciplinario donde intervienen diversas áreas del conocimiento.

Lo desarrollado en esta investigación, se inserta en los aspectos hidrológicos e hidráulicos: ya que “planifica las medidas estructurales y no estructurales, en forma integrada con el resto de los componentes, necesarios para mitigar los impactos de las aguas de lluvia en los sectores con riesgo de inundación, controlando el caudal pico de un evento pluvial.”.

Considerando que solo se aborda en esta investigación el inicio de un plan maestro de drenajes para generar criterios, se tiene lo siguiente:

Políticas de Concepción:

- Principios: Los drenajes urbanos son una necesidad eminente ante cualquier proceso de urbanización, sin embargo, su utilización no siempre mejora el problema de escorrentía, por lo cual es necesario

incorporar nuevas herramientas que permitan mitigar tales efectos, pero sin reemplazar los drenajes existentes por lo que se introduce la teoría de los SUDS al proceso de drenajes convencionales, como herramienta para imitar el ciclo natural del agua y así disminuir la escorrentía superficial.

- Estrategias, directrices e instrumentos: se parte de la teoría del metabolismo urbano acompañada de la teoría de los SUDS y la concepción de la utilización de modelos numéricos para realizar una planificación prospectiva, donde se evalúan los hechos antes que sucedan mediante el modelado de escenarios pluviométricos extremos para el AVT de la ciudad de Mérida, lo que permitirá tomar las mejores decisiones a corto, mediano y largo plazo para evitar el colapso futuro.

Desarrollo de propuestas

Se utiliza el modelo numérico (EPA SWMM 5.2) para simular una serie de acciones de SUDS sobre el sector de estudio AVT, en condiciones de lluvia moderada a extrema, obteniendo resultados satisfactorios, por lo cual se propone lo siguiente (Ver Figura 17):



Imagen 17: Imagen Objetivo
Fuente: Elaboración propia 2022

Medidas estructurales

Implementar medidas de drenaje sostenible a corto, mediano y largo plazo.

•**Corto plazo:** se consideran medidas a corto plazo, aquellas que dependen de la administración pública, por lo cual su implementación podrá realizarse en corto tiempo.

□ Intervención de plazas con áreas verdes: sobre las plazas Sucre, la columna, Bolívar, Rangel y Glorias Patrias, se recomienda la utilización de jardines de lluvia.

□ Realizar el adecuado mantenimiento a los sumideros presentes en el AVT

□ Realizar la modificación del tramo que va desde la clínica santa fe, en la prolongación de la av 2, hasta el sector belén en la av 8. Ya que esta zona se considera en alto riesgo hidro geomorfológico.

•**Mediano plazo:** se consideran medidas a mediano plazo, aquellas que dependen de administración mixta (pública y privada) por lo cual su implementación podrá realizarse en un tiempo considerable.

□ Intervención de canchas descubiertas con áreas verdes: sobre las canchas del Complejo Universitario Polideportivo Lourdes y el Complejo Polideportivo Luis Gherzi Govea, se plantea la implementación de celdas de bio-retención y tanques de lluvia

□ Intervención en el cementerio: considerando que este sector es uno de los que muestra mayor nivel freático se plantea la canalización de la misma mediante pavimento permeable hasta zanjas de infiltración en el borde del talud.

•**Largo plazo:**

□ Intervención en edificaciones: el mayor espacio urbanizado del sector de estudio corresponde a edificaciones de carácter público y privado, por lo cual las medidas acá propuestas son las que generan mayor impacto pero su implementación es más complicada, por lo que se requiere de la ayuda de medidas no estructurales como incentivo a los dueños de la edificación, tal medida propuesta hace referencia a la desconexión de los techos del sistema de drenaje, en principio lograr un 10% de las edificaciones considerando un valor optimo 50% .

El éxito de un plan de drenaje, radica no solo en una buena planificación sino el ir también acompañado de un proceso de gestión que garantice la correcta implementación del plan de drenaje, y es allí donde aparecen las medidas no estructurales

Medidas no estructurales

Para el sector de estudio se recomienda lo siguiente:

□ Implementar mediante normativa, el obligatorio cumplimiento del índice drenaje a razón de 200l/s/ha, con la finalidad de lograr la meta a futuro de disminuir el caudal de escorrentía entre el 10% y 50% total, para lograrlo se podrán valer de las medidas estructurales de SUDS propuestas o de cualquier otra que permita lograr el objetivo.

□ Para construcciones existentes, tanto residenciales como comerciales, se pueden aplicar incentivos fiscales (reducción de impuestos) a aquellos que desconecten sus drenajes o añadan cubiertas verdes

□ En nuevos proyectos de vivienda o remodelaciones, edificios públicos o comerciales, puede exigirse normativamente (permisería) que se apliquen criterios de SUDS antes descritos para lograr la meta del módulo de drenaje.

Lo expuesto en este punto, es el inicio para lograr el desarrollo de un plan de drenaje urbano para el AVT del estado Mérida, ya que como se explicó anteriormente se requiere de un equipo multidisciplinario para lograr ejecutar el plan satisfactoriamente. Lo que puede implicar que a lo largo de proceso se deban reevaluar las medidas propuestas, lo cual no presenta ningún inconveniente, ya que el modelado permite justo eso, modificar escenarios y evaluar impactos, ese es el enfoque desarrollado en esta investigación.

8 Conclusiones

- ✓ Las ciudades están en constante evolución crecen a un ritmo acelerado pero su infraestructura no se desarrolla al mismo ritmo, por lo cual la ciudad actual demanda más de lo que es capaz de soportar a nivel de servicios.
- ✓ Adecuarse a las nuevas tendencias del estudio de los sistemas de drenaje sostenible permite cuantificar rápidamente las necesidades presentes y futuras; y de esta manera, mediante la correcta planificación garantizar la utilización de la infraestructura existente para futuras generaciones.
- ✓ El colector Casco central en su tramo desde la clínica santa fe, prolongación de la Av 2, hasta la plaza Belén se encuentra sobre zona de riesgo geomorfológico.
- ✓ La infraestructura de drenajes urbanos de la ciudad de Mérida específicamente del sector de estudio, no se encuentra funcionando correctamente, motivado a que no tiene ni la capacidad suficiente ni el mantenimiento respectivo.
- ✓ El metabolismo de la infraestructura de drenajes de la ciudad de Mérida se caracteriza de la siguiente manera: entrada, caudal producto de la lluvia, sin un uso o transformación eficiente, con un sistema de captación y transporte deficiente, ya que es la vialidad la que presta tal función y sin un caudal con destino final claro.
- ✓ El método escalable aplicado sobre el sector de estudio permite ver de forma sistemática la factibilidad de la implementación de sistemas de drenajes sostenibles; y cuál puede ser su incidencia sobre sectores específicos del AVT.
- ✓ Los nuevos paradigmas de la infraestructura, enfocados al drenaje sostenible, si permiten mejorar el metabolismo del AVT mediante las siguientes acciones:
- ✓ Planificación prospectiva eficiente, optimizando los recursos disponibles.

- ✓ Utilización de modelos numéricos que permiten simular eventos extremos antes de que ocurran, logrando identificar puntos críticos y desarrollar acciones preventivas y no correctivas ante posibles eventos de gran magnitud.

9 Recomendaciones

- ✓ Impulsar el desarrollo de Mérida como *Smart City*, iniciando con la digitalización de información y su proceso en tiempo real. Y generar bases de datos accesibles en la nube.
- ✓ Plantear una ruta alterna para el tramo de colector que se encuentra en riesgo hidro-geomorfológico, que podría consistir en la ampliación e interconexión de tramos específicos de la red de cloacas que también descarga en el colector
- ✓ Generar un plan de mantenimiento adecuado para el sistema convencional de drenaje, que incluya las mejoras necesarias a largo plazo que se puedan realizar considerando las características del sector de estudio.
- ✓ Evaluar las posibilidades de reutilización de aguas de lluvia de manera eficiente.

Referencias

- Amaya, C.A., (1989). Geografía urbana de una ciudad: el caso de Mérida. Mérida-Venezuela: Consejo de publicaciones Universidad de los Andes.
- Arocha, S., (1983). cloacas y drenajes. Caracas Venezuela: Ediciones Vega s.r.l.
- Banco Mundial., (Abril de 2013). Manual para el diseño de planes maestros para la mejora de la la infraestructura y la gestion del drenaje urbano. Gobierno de Argentina y Banco mundial.
- Barton, J., (2009). Revisión de marcos conceptuales y analisis de enfoques metodologicos (barreras y viabilidad) para el desarrollo e una infraestructura urbana sostenible y eco-eficiente. Estados Unidos: CEPAL.
- Bresciani, L.E., (31 de Mayo de 2019). Hacia una infraestructura sostenible. Diario La tercera- Chile, pág. 15.
- Calderón trejo, E., (2008). Orden y ciudad: Mérida 1853-1925. Argos, 25-49.
- Carrion, F., (2013). El ensamble de las infraestructuras urbanas:el desafío para la gestión pública. En J. Erazo Espinosa, Infraestructuras Urbanas en America Latina. Gestion y construccion de obras publicas (págs. 11-31). Quito: Instituto de Altos Estudios Nacionales (IAEN).
- Castillo Gandica, A., Pérez Maldonado, A., (2016). VI Seminario Taller sobre el Espacio Público y Cultura Ciudadana. Escenario de riesgo sísmico para edificaciones y lineas vitales y su impacto en espacios públicos de la ciudad de Mérida, Venezuela. Mérida.
- Cesap, (2018). Zonificación de niveles de susceptibilidad de la ciudad de Mérida desde la perspectiva hidrogeomorfológica. Mérida: Cesap.
- Ciria, (2018). <https://www.susdrain.org/>
- Corrales, M.E., (2008). Infraestructura pública y servicios asociados. Caracas . Venezuela: Universidad Catolica Andres Bello.
- Delgado Ramos, G.C., (2019). Ciudad Agua y cambio climatico: una aproximacion desde el metabolismo urbano. Mexico: Universidad Nacional de Mexico. UNAM.
- Diaz Álvarez, C.J., (2014). Metabolismo urbano: herramienta para la sustentabilidad de las ciudades. (Universidad Central de Colombia, Ed.) Interdisciplina, 2(2), 51-70.
- Diaz Carvajal, A., Mercado Fernández, T., (2017). Determinación del número de curva en la subcuena de Betancí (Córdoba, Colombia) mediante teledetección y SIG. Ingeniería y Desarrollo. Universidad del Norte. Vol. 35 n.º 2: 452-470, 2017, 454.
- EOS Iberica, (25 de julio de 2022). EOS Iberica. <https://eosiberica.es/blog-ciudades-inteligentes/>
- Erbes y otros, (2019). Industria 4.0 oportunidades y desafios para el desarrollo productivo de la provincia de Santa Fé. Santiago, Chile: Comision Ecoomica Para America Latina y el Caribe (CEPAL).
- Estación meteorológica de Mérida, (2022). Resumen climatológico de Mérida, periodo 1995/2005 y año en curso 2022. Mérida: Estación meteorológica de Mérida.
- Fernández, D.S., (2017). Factores de desarrollo de las ciudades inteligentes. Revista Universitaria de Geografía, vol. 26, núm. 1, 135-152.
- Hernandez, R., Fernandez, C., Batista, P., (2010). Metodología de la investigación. Mexico: McGraw-Hill.
- Higueras, E., (2009). La ciudad como ecosistema urbano. En E. Higueras, El reto de la ciudad habitable y sostenible. Editorial DAPP.
- Hurtado de Barrera, J., (2000). Metodologia de la Investigación Holística. Caracas, Venezuela: Servicios y Proyecciones para America Latina.
- Instituto Nacional de Obras Publicas., (6 de abril de 1999). Normas e instructivo para el proyecto de Alcantarillados. Gaceta extraordinaria 5318. Caracas, Distrito Capital, Venezuela: Gaceta Oficial de la República de Venezuela.
- Junta Interamericana de Defensa, (27 de abril de 2018). Estudio sobre proteccion de infraestructura critica en caso de desastre natural . Estados Unidos: Organizacion de Estados Americanos (OEA).
- Maldonado Pinto, J.E., (2018). Metodología de la Investigacion Social. Paradigmas:cuantitativo, socio critico,cualitativo,complementario. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.

- Naciones Unidas, (2012). Rio +20 Conferencia de las Naciones Unidas sobre desarrollo sostenible. (pág. 59). Rio- Brasil: Naciones Unidas.
- Naciones Unidas, (2016). Nueva Agenda Urbana Habitat III. (pág. 59). Quito: Naciones Unidas.
- Naciones Unidas, (2018). La Agenda 2030 y los Objetivo del Desarrollo Sostenible. Una oportunidad para America latina y el Caribe. Santiago: Naciones Unidas.
- Naredo, J.M., (19 de Febrero de 1999). Escuela Tecnica Superior de Arquitectura de Madrid. Recuperado el 05 de mayo de 2021, de <http://www.etsav.upc.es/personals/monclus/cursos2002/naredo.htm>
- Paz, V., (31 de Mayo de 2019). El metabolismo de las ciudades. Diario La tercera - Chile, pág. 15.
- Perales Momparler, S., Andres-Doménech, I; (s.f). Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestion de lluvia.
- Plan de Ordenacion Urbanistica del area metropolitana de Mérida, Ejido y Tabay, (1 de febrero de 1999). Gaceta extraordinaria 5303. Caracas, Distrito Capital, Venezuela: Gaceta oficial de la republica de venezuela.
- Quintero Carrero, L., (2004). Estimacion de los pasivos ambientales mediante la tecnica de obligaciones economicas de los usuarios de los recurso Hidricos Caso: Aguas de lmerida. Merida.
- Real Academia Española, (15 de junio de 2021). Real Academia Española. <https://dle.rae.es/>
- Rodriguez, L.F., (2011). Revisión bibliográfica los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles. Bogota, Colombia: Universidad de los Andes.
- Saumeth de las Salas, L.A., (2016). Metabolismo urbano del agua potable. Aproximacion al caso de Cartajena de indas. Barranquilla, Colombia: Universidad del Norte .
- Tahal, C.E., (1998). Alcantarillado sanitario informe de diagnostico MERBAR. Merida: LTD, Tahal Consulting Enginneers.
- Testa, J., Bertoni, M., Maffoni, J., (2016). Analisis de los ciclos de metabolismo urbano para una ciudad turistica sustentable y competitiva. El caso de Miramar (Buenos Aires, Argentina). Mar de plata, Argentina: Universidad Nacional de Mar de Plata.
- Toledo, V.M., (2013). El metabolismo social: una nueva teoría socioecológica. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_artt ext&pid=S0185-39292013000400004&lng=es&tlng=es.
- Wolman, A., (1965). The metabolism of Cities. Scientific American, 179-190

Recibido: 13 de octubre de 2022

Aceptado: 10 de enero de 2023

Rojo, María: Msc. en Desarrollo Urbano Local- mención Planificación Urbana (ULA 2023). Estudios Superiores en Desarrollo Urbano Local-mención Diseño Urbano (ULA-2016), Docente asistente (FADULA 2008), Arquitecto (ULA 2007). <https://orcid.org/0000-0003-1404-332X>

Mora, Luis: Dr Ciencias Aplicadas ULA. MSc. Recursos Hidráulicos ULA-UCLA. Especialista en Gestion de Eaux ENTPE-France. Profesor Titular en CIDIAT-ULA. Coordinador Postgrado en Gestion ARTA. Coordinador de Investigación CIDIAT-ULA. Correo electrónico: luismora.aps@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-3499-4520>