



Reconocimiento

www.bdigital.ula.ve

“Nunca es demasiado tarde para ser lo que podría haber sido”.

George Eliot

Reconocimiento

www.bdigital.ula.ve

*A mis padres Jovita Valero y Alejandro Rojo
por su amor, apoyo incondicional, bendiciones, ser fuente de refugio e
inspiración, y sobre todo por estar aún conmigo!*

*A mi esposo Alexander Rangel
por su amor, apoyo y comprensión e impulsarme cuando creía que
culminar no era posible. ¡Mil gracias, Té amo un mundo!*

*Ustedes fueron y siguen siendo el motor de mis ocurrencias.
Son a quienes dedico esta tesis con anhelo y espíritu de superación*

¡Los amo!

Reconocimiento

www.bdigital.ula.ve

Esta página se ha dejado en blanco intencionalmente

Reconocimiento

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi tutor Dr. Ing. Luis Eduardo Mora por su profesionalismo, capacidad de transmitir el conocimiento, apoyo, confianza en mí, paciencia, dedicación y excelentes ratos de conversación en cada corrección, que en tiempo de pandemia no fue nada fácil.

De igual forma quiero agradecer al Postgrado de la Facultad de la Arquitectura de la Universidad de los Andes por creer en mí y haber permitido mi incorporación nuevamente para así culminar un sueño olvidado hace años.

Agradezco al Geógrafo Luis Miguel Quintana por su apoyo e impulso para lograr culminar este trabajo, sin él, el levantamiento de información no hubiera sido posible, recorrer Mérida en bicicleta fue otro nivel.

Agradezco a la Dra. Arq. Ana Luzmila Trujillo quien desde mi inicio en la maestría estuvo pendiente de mí, recordándome lo importante de culminar y que bajo ninguna circunstancia debía abandonar, para atrás ni para tomar impulso. Mil gracias.

Agradezco a todos aquellos que de una u otra manera contribuyeron para la culminación de este sueño.

A todos Dios les bendiga

Alejandra Rojo.

Reconocimiento

www.bdigital.ula.ve

Esta página se ha dejado en blanco intencionalmente

Reconocimiento

La Evolución Tecnológica y la Planificación de Drenajes Urbanos Sostenibles como Herramientas para Mejorar el Metabolismo Urbano de las Ciudades desde la Perspectiva de la Infraestructura Crítica. Caso de Estudio: Área de Valor Tradicional (AVT-1) Municipio Libertador Mérida-Venezuela

Rojo, 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. En el caso de la ciudad de Mérida con gran crecimiento poblacional y con una infraestructura de más de medio siglo, esta se encuentra al límite, y amerita renovarla completamente o limitar el crecimiento de la ciudad. De todas las infraestructuras que conforman la ciudad se evalúa la de los sistemas de drenaje urbano que, aunque pasan desapercibidos, su mal funcionamiento puede ser el causante del colapso de la ciudad en periodos de lluvia, por lo cual esta infraestructura es considerada infraestructura crítica. De allí que esta investigación se centra en introducir al estudio de la ciudad la teoría del metabolismo urbano, permitiendo cuantificar las entradas (consumos) y salidas (desperdicios) que se producen en la ciudad de Mérida en relación a las lluvias, automatizando su cuantificación, mediante el sistema de modelado Storm Water Management Model de Us EPA (SWMM), lo que permite predecir el comportamiento de los sistemas de drenaje urbano en un escenario crítico, identificando el excedente de lluvia, con la finalidad de desarrollar una metodología aplicable a cualquier ciudad e infraestructura que permitirá generar lineamientos que optimicen los actuales sistemas de drenaje urbano introduciendo teorías de sostenibilidad lo que a largo plazo mejorara la calidad del suelo.

En el caso de la ciudad de Mérida, el estudio se limita a un sector del área de servicio del colector 1, sector conocido como AVT que abarca desde la Plaza Chaplin hasta Glorias Patrias. Este sector forma parte de la ciudad fundacional y su infraestructura data de la década de los 40, en la actualidad el sistema de drenaje urbano establecido no funciona de manera óptima 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 ríos.

El modelado en SWMM ha permitido identificar el volumen de lluvia excedente y procurar su disminución evaluando diferentes escenarios, aplicando 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 Crítica, Drenajes Urbanos Sostenibles, Industria 4.0, SWMM

Reconocimiento

www.bdigital.ula.ve

Esta página se ha dejado en blanco intencionalmente

Reconocimiento

Contenido

Introducción.....	1
CAPÍTULO I EL PROBLEMA	3
Planteamiento del Problema	5
Justificación	8
Objetivo General.....	9
Objetivos Específicos	9
CAPITULO II MARCO TEÓRICO	11
Antecedentes.....	13
Bases Teóricas	22
Infraestructura Urbana.....	22
Infraestructura Crítica.....	23
Sistemas Urbanos de Drenajes Sostenibles (SUDS)	26
Metabolismo Urbano	36
Automatización de Procesos-Industrias 4.0	46
Bases Legales	47
CAPITULO III MARCO METODOLOGICO	61
Tipo de Investigación	63
Enfoque de la Investigación	63
Diseño de la Investigación.....	64
Población y Muestra	64
Técnicas e Instrumentos	64
Análisis de datos.....	66
Validez de los instrumentos.....	66
CAPITULO IV LOS NUEVOS PARADIGMAS DE LA INFRAESTRUCTURA URBANA.	67
La infraestructura de las ciudades: colapso o evolución	69
Ciudades Inteligentes.....	70
Dimensiones de las Ciudades Inteligentes.....	70
Niveles de Ciudad Inteligente	73
Las Ciudades Inteligentes y los Sistemas de Drenaje Urbano.....	74
Software para modelado	75
Storm Water Management Model. EPA.....	76
CAPITULO V INSTRUMENTO METODOLÓGICO ESCALABLE	77
Como determinar los efectos de los drenajes sobre el área urbana.	79
Caracterización del sector de estudio.	81
Metabolismo de los drenajes urbanos.....	84
Flujo de Entrada al sistema.....	84
Flujo interno en el sector.	89
Flujo de salida de aguas de lluvia.	92
Mejora del sistema de drenaje	95
Implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles.	95
Modelado del sistema de drenaje urbano mediante software.	96

CAPITULO VI EL AREA DE VALOR TRADICIONAL DE MÉRIDA Y SU INFRAESTRUCTURA URBANA	99
La ciudad de Mérida	101
El Área de Valor Tradicional de Mérida (AVT-1)	102
Mérida y su Infraestructura de Servicios Públicos.	103
Situación Actual del Sistema de Aguas Servidas de la ciudad de Mérida	105
Red de alcantarillado sanitario.	105
Caracterización del sector de estudio	106
Colector Casco Central.	106
Red de recolección de aguas de lluvia.	115
Características de subcuencas asociadas a sumideros.	118
Contaminación de aguas residuales y de lluvia.	121
Área de servicio del Colector Casco Central.	123
Población del sector de estudio.	124
Uso de suelo.	127
Distribución de área de servicio del colector según el tipo de superficie.	129
Puntos a evaluar del colector Casco Central.	131
El Metabolismo de la Ciudad de Mérida desde la Perspectiva de la Infraestructura Urbana Crítica.	131
Infraestructura crítica - drenajes urbanos en la ciudad de Mérida.	131
Flujo de entrada al sistema.	133
Flujo interno en el sector.	144
Flujo de salida de aguas de lluvia.	151
Conclusión del análisis de metabolismo del sistema de drenaje urbano del AVT.	156
Mejora del sistema de drenaje urbano del AVT-1 de Mérida.	157
Modelado	157
Información pluviométrica	161
Infiltración y Escorrentía	163
Tipos de drenajes urbanos sostenible utilizados para el modelado	166
Criterios de implementación de SUDS en el modelo.	166
Implementación de SUDS en el modelo.	168
Módulo de drenaje asociado a la aplicación de SUDS	176
Incidencia de los SUDS sobre el Colector Casco Central sector AVT	177
CAPITULO VII Drenaje Urbano Sostenible para el AVT de Mérida	179
Aproximación a un plan de Drenajes Urbanos Sostenibles para el Área de Valor Tradicional de la ciudad de Mérida	181
Estructura del Plan de drenaje	182
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	187
ANEXOS	189
Anexo 1 Características del colector principal 1940-1990-2020-2030	191
Anexo 2 Ubicación de los sumideros en el sector AVT	194
Anexo 3 Ubicación de las subcuencas asociadas a sumideros AVT	195
Anexo 4 Ubicación de los puntos de conexión sumideros- colector AVT	200
Anexo 5 Registro Pluviométrico Estación Aeropuerto Mérida 1973-2018. Fuente Internacional	201
Anexo 6 Registro Pluviométrico Estación Aeropuerto Mérida 1995-2005.-Fuente Nacional.	202

Anexo 7 Datos para la realización de Hietogramas de lluvia para retorno de 10 y 25 años. Mérida.....	203
Anexo 8 Datos característicos de cada subcuenca para modelado	204
Anexo 9 Numero de curva.....	205
Anexo 10 Coeficiente de manning	206
Anexo 11 Datos de SUDS utilizados en el modelo	207
Anexo 12 Modelo numérico	211
REFERENCIAS	212

www.bdigital.ula.ve

Contenido de Tablas

Tabla 1 Definiciones de IC por los Países y Organizaciones Internacionales (OI).....	24
Tabla 2 Amenazas a las infraestructuras críticas.....	25
Tabla 3 Indicadores de la calidad del medio ambiente urbano.....	40
Tabla 4 Zonificación de uso de suelo	83
Tabla 5 Tipo de superficie	83
Tabla 6 Tipo de sistema de drenaje	85
Tabla 7 Caudal de diseño colector aguas negras	85
Tabla 8 Factor K	86
Tabla 9 Coeficiente de escorrentía por zona	88
Tabla 10 Coeficiente de escorrentía por uso	88
Tabla 11 Evidencia fotográfica del estado de los sumideros de Casco Central	117
Tabla 12 Características de servicio de cada sumidero en el sector AVT.....	119
Tabla 13 Características de servicio de cada sumidero en el sector AVT parte 2.....	120
Tabla 14 Comportamiento de la materia solida en la tubería según la velocidad	122
Tabla 15 Área aportada por cada sector al Colector 1.....	124
Tabla 16 Áreas del colector 1 por parroquia	125
Tabla 17 Población sector de estudio	125
Tabla 18 Población asociada a colector Casco Central	127
Tabla 19 Gasto medio agua potable inicio AVT	134
Tabla 20 Gasto medio agua potable final colector.....	134
Tabla 21 Superficie comercial asociada al colector Casco Central (ha)	135
Tabla 22 Superficie institucional asociada al colector Casco Central (ha)	135
Tabla 23 Caudal de aguas residuales provenientes del acueducto. Inicio AVT.....	136
Tabla 24 Caudal de aguas residuales provenientes del acueducto. Final colector	136
Tabla 25 Longitud del colector y sus derivaciones (Km).....	137
Tabla 26 Aguas producto de infiltración (l/d)	137
Tabla 27 Aguas producto de infiltración (l/s).....	137
Tabla 28 Caudal de diseño y caudal demandado de aguas negras	137
Tabla 29 Coeficiente de escorrentía (C) por distribución de superficie	138
Tabla 30 Coeficiente de escorrentía por distribución de uso de suelo	139
Tabla 31 Caudal aguas de lluvia sector de estudio.....	141
Tabla 32 Resumen caudal de diseño y demandado en sector de estudio	141
Tabla 33 Caudal aguas de lluvia sector AVT	142
Tabla 34 Caudal de subcuenca asociado sumidero en el sector AVT	143
Tabla 35 Tiempo de Concentración.....	144
Tabla 36 Características de los tramos inicial y final del colector de estudio.....	144
Tabla 37 Capacidad de la tubería del colector tramo inicial AVT	145
Tabla 38 Capacidad de la tubería del colector. tramo final	145
Tabla 39 Caudal por sumideros existentes	147
Tabla 40 Caudal de vía ancho mojado 1,5m	149
Tabla 41 Caudal de vía ancho seco 0m (ancho mojado=ancho de vía).....	150
Tabla 42 Capacidad de recolección de aguas de lluvia disponible	152
Tabla 43 Capacidad de transporte de ALL disponible por diseño	154

Tabla 44 Capacidad de transporte de aguas de lluvia por tubería	155
Tabla 45 Caudal agua de lluvia sector AVT aplicando SUDS.....	176

www.bdigital.ula.ve

Contenido de Imágenes

Imagen 1 Hidrograma de afectación urbana.....	27
Imagen 2 Cubiertas verdes	31
Imagen 3 Superficies permeables	31
Imagen 4 Franjas filtrantes	32
Imagen 5 Zanjas de infiltración	32
Imagen 6 Drenes Filtrantes.....	32
Imagen 7 Cunetas verdes.....	33
Imagen 8 Depósito de infiltración	33
Imagen 9 Depósitos detención en superficie	33
Imagen 10 Depósitos detención enterrados	34
Imagen 11 Estanque de retención	34
Imagen 12 Humedales	34
Imagen 13 Metabolismo social.....	38
Imagen 14 Metabolismo urbano del ciclo urbano del agua.....	42
Imagen 15 Metabolismo urbano del ciclo urbano de agua pluviales	44
Imagen 16 Las dimensiones de la ciudad inteligente	72
Imagen 17 Diagrama metodológico para el estudio de Sistemas de drenaje Urbano.....	80
Imagen 18 Metabolismo de los Drenajes urbanos.....	84
Imagen 19 Extensión de la ciudad de Mérida según poligonal Urbana	101
Imagen 20 Límite del AVT-1 según el Plan de Ordenación Urbanística.....	102
Imagen 21 Desarrollo de la ciudad de Mérida.....	103
Imagen 22 Sistema de alcantarillado sanitario de la ciudad de Mérida.....	106
Imagen 23 Colector Casco Central (1-1A).....	108
Imagen 24 Niveles de susceptibilidad desde la perspectiva hidrogeomorfológica	111
Imagen 25 Instalación de cloacas en la Calle Independencia y Plaza Bolívar. Mérida. Año 1926	113
Imagen 26 Empotramiento de cloacas en Mérida 1929.	114
Imagen 27 Sumideros Asociados a Colector Casco Central (1-1A)	115
Imagen 28 Área tributaria de cada sumidero existente en AVT.....	118
Imagen 29 Sectores que conforman el área de servicio del colector 1 Casco Central	123
Imagen 30 Parroquias que conforman el colector 1 Casco Central.....	124
Imagen 31 Uso de suelo asociado al área de servicio del colector Casco Central	128
Imagen 32 Puntos a evaluar del colector Casco Central	131
Imagen 33 Av Las Américas Mérida-Venezuela	132
Imagen 34 Relación de interceptación en sumideros de ventana (Cuneta = 0,30 m).....	146
Imagen 35 Zonas inundables en AVT	153
Imagen 36 Capacidad transportada de AN del Colector AVT-1 (1940-1990-2020-2030)	159
Imagen 37 Sub cuencas y sumideros del AVT-1	160
Imagen 38 Infiltración momento pico 25 minutos	164
Imagen 39 Escorrentía momento pico 30 minutos	165
Imagen 40 Porcentaje de implementación de los SUDS sobre el AVT	168
Imagen 41 Escenarios de trabajo para un plan maestro.....	182
Imagen 42 estructura de un plan de drenajes.....	182
Imagen 43 Imagen objetivo de SUDS sobre el AVT	184

Contenido de Gráficos

Gráfico 1 Grados de la inteligencia urbana	73
Gráfico 2 Población por Parroquia	126
Gráfico 3 Población asociada al colector Casco Central	127
Gráfico 4 Uso de suelo por categoría	129
Gráfico 5 Área de servicio según tipo de superficie.....	130
Gráfico 6 Curva de Intensidad Duración y Frecuencia los Andes	140
Gráfico 7 Capacidad de recolección	153
Gráfico 8 Caudal del colector AVT1	158
Gráfico 9 Curvas IDF de Mérida actualizadas	162
Gráfico 10 Hietogramas para 10 y 25 años duración 45 minutos. Mérida	163
Gráfico 11 Escorrentía superficial subcuena aguas arriba Plaza Chaplin. DU vs SUDS.	169
Gráfico 12 Escorrentía superficial subcuencas plazas. DU vs SUDS.	170
Gráfico 13 Escorrentía superficial subcuena Cementerio el Espejo. DU vs SUDS	171
Gráfico 14 Escorrentía superficial subcuencas Estadios. DU vs SUDS.....	172
Gráfico 15 Escorrentía superficial subcuena tipo por desconexión de techos 10%. DU vs SUDS.....	173
Gráfico 16 Escorrentía superficial subcuena tipo por desconexión de techos 50%. DU vs SUDS.....	174
Gráfico 17 Escorrentía pico por subcuena. DU vs SUDS	175
Gráfico 18 Escorrentía superficial total AVT. DU vs SUDS	176
Gráfico 19 Caudal colector sector AVT tramo inicial DU vs SUDS	177
Gráfico 20 Caudal colector sector AVT tramo inicial DU vs SUDS	177

www.bdigital.ula.ve

Esta página se ha dejado en blanco intencionalmente

Introducción

Los drenajes urbanos son una respuesta al impacto ambiental causado por el proceso de urbanización, sin embargo, son un problema a largo plazo, ya que canalizan gran parte del agua de escorrentía, pero no replican fielmente el ciclo hidrológico, por lo cual, a mayor crecimiento, el impacto causado puede ocasionar el colapso de la ciudad, es por ello que considerando los principios de desarrollo sostenible se plantea la premisa de la utilización de sistemas de drenaje urbano sostenible, como herramienta para mejorar las condiciones actuales de la red, garantizando su funcionamiento a futuro.

Como el estudio de los sistemas de drenaje es muy amplio, esta investigación pretende sistematizarlo mediante la creación de un instrumento metodológico escalable que considere la dimensión sostenible, lo que permitirá demostrar que la inclusión de este módulo trae impactos positivos al sistema, generando las herramientas necesarias para la toma de decisiones en la elaboración de un plan de drenaje urbano.

Lo descrito anteriormente, se desarrolla detalladamente en el presente trabajo, el cual se encuentra estructurado en 7 capítulos.

En el capítulo I se presenta el problema, el cual, hace referencia al crecimiento descontrolado de las ciudades, sobre una infraestructura que no se actualiza al mismo ritmo que la ciudad crece, por lo cual se presume que el colapso de las ciudades es eminente en un futuro si no se toman medidas pertinentes para prolongar la vida útil de la infraestructura existente.

En el capítulo II se hace referencia a los conceptos fundamentales sobre los cuales se desarrolla esta investigación y que se relacionan directamente con la implementación de una infraestructura de drenajes sostenibles en las ciudades, para ello se deja ver que si la infraestructura de drenajes falla, se corre riesgo de colapso en la ciudad, por lo cual, estas son consideradas infraestructuras críticas, de igual manera es necesario conocer su funcionamiento siendo el metabolismo

urbano, la herramienta utilizada para tal fin, aunado a las nuevas tendencias para el procesamiento de información que incluye la industria 4.0.

En el capítulo III se explica la metodología aplicada a la presente investigación orientando el procesamiento de información.

En el capítulo IV se fundamentan los nuevos paradigmas para el desarrollo de las ciudades entendiendo que, si no se cambia de paradigma, las ciudades van directo al colapso y ese cambio implica la automatización de procesos para el procesamiento rápido de información de forma síncrona o asíncrona.

En el capítulo V se desarrolla el corazón de la investigación y se conjuga la conceptualización de los capítulos anteriores para generar un método escalable, que permite sistematizar el estudio de los drenajes urbanos convencionales, mediante la teoría del metabolismo urbano para la posterior aplicación de medidas de drenajes urbanos sostenibles que permitirán la mejora significativa en el funcionamiento de esta infraestructura, para alargar la vida útil de la misma.

En el capítulo VI se pone en práctica, sobre un sector específico, el método escalable planteado en el capítulo anterior. El sector de estudio se corresponde con el Área de Valor Tradicional de la ciudad de Mérida, el cual se selecciona por ser la base de la ciudad fundacional y albergarse allí la infraestructura más antigua de la ciudad, asegurando que, para el presente, la misma ya presenta fallas y con pocas probabilidades de cambio por la inversión que implicaría y las características particulares del sector, por lo cual encontrar métodos alternativos para mejorar su funcionamiento resulta idóneo.

En el capítulo VII en función de los resultados obtenidos en el capítulo anterior se generan los lineamientos macros para orientar la elaboración de un plan especial de drenajes urbanos sostenibles para el Área de Valor Tradicional de la ciudad de Mérida.

Se concluye esta investigación, expresando las conclusiones y recomendaciones correspondientes.



www.bdigital.ula.ve

CAPÍTULO I EL PROBLEMA

ARQ. MARÍA ALEJANDRA ROJO DE R.

3

Reconocimiento

www.bdigital.ula.ve

Esta página se ha dejado en blanco intencionalmente

Planteamiento del Problema

La ciudad es una sumatoria de diversos hechos y actividades, actualmente es un complejo metabolismo donde se conjugan infraestructuras y servicios que permiten su correcto funcionamiento.

Las infraestructuras urbanas son la base material y el soporte físico de la ciudad, porque permiten el aprovechamiento del suelo urbano, a través de diversos usos, explotando sus posibilidades constructivas, así como, el funcionamiento de las edificaciones. Dicho de otra manera, permiten el funcionamiento de la ciudad, la satisfacción de las necesidades básicas de la población e intercambio y distribución de recursos entre sus habitantes, por ese motivo también se les conoce como infraestructuras críticas, ya que de fallar en algún momento pueden hacer colapsar la ciudad.

Históricamente la infraestructura y el desarrollo de la ciudad se encuentran relacionados y dependen uno del otro, la presencia de infraestructura determina las posibilidades de crecimiento de la ciudad, paralelamente la dinámica de la ciudad determina la demanda de infraestructura y esto va a depender de las características de cada urbe, tanto de su tamaño como de su tipología.

Considerando el tamaño de la ciudad, se puede observar que las grandes urbes tienen un tipo de infraestructura distinto de las pequeñas. Por ejemplo: una ciudad pequeña no demanda un sistema de transporte masivo, ya que la presencia de este depende de grandes flujos de personas que evidentemente esta ciudad no va a tener.

Por otra parte, si se consideran las características funcionales de la ciudad, estas se relacionan con la posibilidad de que una ciudad pueda desarrollar plenamente sus capacidades, potenciar su cooperación y fortalecer su protagonismo, por ejemplo, una ciudad portuaria debería tener una infraestructura acorde a ese rol: bodegas, silos, hoteles, vías, comunicaciones (puertos). etc.

Se puede observar con lo descrito anteriormente que la presencia de infraestructura no es solo una demanda histórica de las ciudades, sino que depende del lugar en que se encuentre y la función que tenga o quiera proyectar la misma,

CAPITULO I EL PROBLEMA.

lo que se traduce en dos grandes vertientes que condicionan el desarrollo de la ciudad oferta y demanda de infraestructura.

El desarrollo de las ciudades no es infinito como lo ha demostrado la historia, las ciudades desaparecen tal es el caso de los primeros asentamientos egipcios y griegos, se reubican o simplemente disminuyen su capacidad de crecimiento motivado a que su desarrollo de infraestructura no da más, pero sin embargo la población en estas ciudades sigue creciendo lo que trae problemas mayores a largo plazo. Es por ello que en la actualidad se está hablando de la sostenibilidad en todos los ámbitos para garantizar el desarrollo de futuras generaciones lo que implica garantizar una ciudad sana, por lo cual, si su infraestructura está al límite, se debe encontrar la manera de alargar su vida útil, logrando identificar en tiempo real oferta y demanda del servicio y mitigando los excesos a través de principios de sostenibilidad.

En los últimos años se han creado acuerdos internacionales que ratifican estas obligaciones. Tanto la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, (2018), como la Nueva Agenda Urbana Hábitat III (2016), reconocen la obligación de proteger a las personas y su calidad de vida mediante estándares de infraestructuras ambientalmente sostenibles (Bresciani, 2019), que mejoren y recuperen ecosistemas, reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero mediante cambios en las formas de transporte urbano, localización y diseño de edificaciones y obras de infraestructuras, que hagan más resilientes a nuestras ciudades y mitiguen la generación de riesgos de desastres sobre la población.

Para lograr esto, se ha cambiado la percepción de la ciudad y en la actualidad hablar de ciudad con principios de sostenibilidad implica ver a la misma como un metabolismo urbano, idea que, como explica (Paz, 2019), se traduce en un cambio de paradigma al momento de considerar el desarrollo de las ciudades, ya que lo que se busca es, según (Wolman, 1965), “*visualizar a las ciudades como seres vivos que crecen se desarrollan y en algún momento, pueden perecer*”.

El metabolismo, en ciudades sanas, debe funcionar de forma cíclica, en el cual el final de la vida útil de un producto, da inicio a uno nuevo, un metabolismo

urbano sano, promueve el desarrollo de ciudades mejor integradas en su territorio, más atractivas, más verdes más hermosas, más integradoras, más competitivas, y humanistas, como nos pide la carta de Copenhague presentada en la cumbre de Rio (Rio +20 Conferencia de las Naciones Unidas sobre desarrollo sostenible, 2012)

En ese complejo metabolismo juega un papel importante la infraestructura urbana, que operativamente para (Carrion, 2013), son las redes básicas de conducción y distribución, como vialidad, agua potable, alcantarillado sanitario, agua tratada, saneamiento, agua pluvial, energía eléctrica, gas y oleoductos, telecomunicaciones, así como la eliminación de basura y desechos urbanos sólidos, lo que ha tomado relevancia, debido al tema de riesgos antropogénicos.

La ciudad de Mérida, es fundada sobre una meseta que por su configuración y pendiente permitía inicialmente el desarrollo de infraestructura elemental, acueductos y cloacas, principios básicos para garantizar la habitabilidad de cualquier espacio, posteriormente la vialidad. Con el tiempo la ciudad ha crecido desde el punto de vista tanto demográfico como espacial, este último motivado al desarrollo de la infra estructura vial de la década de los 50`, que fue a la par acompañada de la infraestructura sanitaria que es la vigente en este momento.

A pesar de que la infraestructura no se ha actualizado desde los 50`, la ciudad no ha dejado de crecer, lo que ha traído como consecuencias déficit en servicios y desmejoras en la calidad de vida de los habitantes, mayor superficie urbanizada y tratada artificialmente, por lo cual la escorrentía ha aumentado y generado mayor problema en los sistemas de drenaje de la ciudad que en la mayoría de los casos se presentan como sistemas unitarios sin la capacidad suficiente para absorber tal caudal intermitente de aguas pluviales, pudiendo en un futuro generarse inundaciones en el área urbana de la ciudad por el colapso de los sistemas de drenaje urbano.

Todo lo descrito anteriormente lleva a plantear la siguiente interrogante:

¿De qué manera los nuevos paradigmas de la infraestructura urbana, aplicados a la infraestructura critica de la ciudad pueden mejorar el metabolismo urbano del Área de Valor Tradicional (AVT-1) del Municipio Libertador de la ciudad de Mérida al año 2030?

Justificación

El tema surge motivado a mi interés en el área de la infraestructura urbana, debido a que tengo varios años trabajando en el área de instalaciones a nivel de vivienda y hablar de infraestructura implica extrapolar el funcionamiento de las instalaciones en una vivienda a la escala urbana.

En la actualidad el crecimiento de las ciudades en América Latina ha obedecido a los procesos de urbanización que se han dado producto de la búsqueda de mejorar la calidad de vida de las personas, realizándose migraciones sin mayor control, esto ha traído como consecuencia que las ciudades inicien un proceso de obsolescencia porque en la mayoría de los casos, estas no están en capacidad de infraestructura urbana para albergar tal demanda, generándose disminución de la calidad de vida de la población, por lo cual en casos extremos resulta mejor el retorno a su lugar de origen.

Poder identificar cómo se comporta la infraestructura urbana de una ciudad, generar lineamientos que permitan potenciar sectores específicos de la misma y proyectar claramente la capacidad de la infraestructura en relación a población / tiempo, permitirá tomar acciones que garanticen el correcto funcionamiento de las ciudades y mejorar la calidad de vida de la población, incorporando criterios de sostenibilidad, lo que se convierte en un gran aporte para la planificación de las ciudades a largo plazo.

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.

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.

www.bdigital.ula.ve

Esta página se ha dejado en blanco intencionalmente



CAPITULO II MARCO TEÓRICO

•

www.bdigital.ula.ve

Esta página se ha dejado en blanco intencionalmente

Antecedentes

El marco teórico que fundamenta esta investigación proporcionará una idea más clara sobre el tema a tratar, demostrando que es posible relacionar metabolismo urbano, infraestructura urbana, infraestructura crítica, drenajes urbanos sostenibles y automatización de procesos, esto último, se encuentra reflejado en las nuevas tendencias de la industria 4.0.

a)(Delgado Ramos, 2019) en su trabajo de investigación intitulado Ciudad, Agua y Cambio Climático: una Aproximación desde el Metabolismo Urbano, el investigador busca generar una metodología que permita mejorar el gasto de agua en la ciudad de México tomando como punto de medición el metabolismo urbano, para lo cual el investigador se establece como objetivo valorar el metabolismo urbano en la Ciudad de México y sus impactos socioeconómicos frente al cambio climático, considerando que el consumo de energía y materiales por parte de la humanidad se ha incrementado en relación directa al tipo de relaciones productivas y al estado de sofisticación de los medios de producción. El claro aumento de los patrones metabólicos del ser humano se ha dado además de manera cada vez más intensa, es decir, se han ampliado y acelerado en relación directa con el tamaño de la economía y el ritmo de acumulación de capital, ello sobre todo desde la segunda mitad del siglo XX, momento a partir del cual se disparó como nunca antes el consumo de energía y materiales, En el caso de la ciudad de México el ciclo de agua en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) se ve caracterizado por los consumos propios de la ciudad: residencial, comercial, industrial, agricultura, y en un caudal equivalente a agricultura o comercio se encuentran las fugas, las cuales representan un output muy fuerte que genera un consumo de energía considerable, siendo en este último consumo donde se centra parte de la solución, luego de este análisis el investigador concluye que son necesarios nuevos paradigmas en la gestión del agua, socio-ecológicamente más justos y armónicos en el corto, mediano y largo plazos, demandan todo un conjunto de nuevas tecnologías, prácticas (incluyendo la planeación y regulación) y valores que han de ser desarrollados y puestos en práctica por todos y cada uno de los habitantes en

CAPITULO II MARCO TEÓRICO.

tanto actores sociales, políticos y/o empresariales de tal o cual territorio. El proceso es viable, aunque ciertamente lento debido, tanto al amarre o lock-in que genera la infraestructura existente, como por la persistencia de prácticas e intereses anclados en criterios tradicionales de gestión. En tal tenor la genuina gestión ciudadana, más allá de la participación ciudadana, que defienda de modo permanente la garantía del derecho humano al agua, formalmente reconocido en la Constitución Mexicana, Artículo 4, desde 2012, es y será ciertamente cada vez más importante.

El presente antecedente deja ver claramente como a través del metabolismo urbano, se puede estudiar el desarrollo de una ciudad a futuro tomando como referencia la infraestructura de aguas, planificando su funcionamiento a largo plazo.

b)(Junta Interamericana de Defensa, 2018) en su informe intitulado Estudio Sobre Protección de Infraestructura Crítica en Caso de Desastre Natural, el autor busca definir claramente el alcance de la infraestructura crítica, como su falla puede hacer colapsar una ciudad o una nación y como debe ser su protección desde el punto de vista militar por lo cual se establece el siguiente objetivo: estudiar el empleo de las fuerzas armadas en protección de las infra estructuras críticas en caso de desastre natural, para lo cual realiza las siguientes consideraciones desde el punto de vista de la infraestructura critica destacando ciertos aspectos claves. Primero, que el hemisferio Occidental tiene el segundo lugar en incidentes, fatalidades y pérdidas económicas ocasionadas por desastres naturales. Estos incidentes han tenido impactos de diferente intensidad en la infraestructura crítica que incluye: básica, socioeconómica y sociocultural. El control de la infraestructura crítica recae principalmente en el sector privado. La infraestructura crítica encaja en el mercado global con un carácter transnacional y con diversos actores que forman parte de ese mercado. Una medida para proporcionar resiliencia de la infraestructura crítica en el hemisferio occidental son los seguros y esto se practica principalmente en Norte América y de manera limitada en las sub-regiones de Centro y Sur América. La infraestructura critica continúa creciendo en su complejidad e interdependencia. Esto la hace importante para que los gobiernos nacionales procuren su protección a través de medidas de gobernanza entre los sectores públicos y privados con la

finalidad de garantizar los servicios esenciales a sus ciudadanos. La resiliencia de la infraestructura crítica debe ser prevista en términos de preparación, prevención, protección, respuesta y reconstrucción, con un gran énfasis en la preparación, prevención y reconstrucción. Realizada la investigación, el autor recomienda promover políticas para la implementación de acciones nacionales que construyan o mejoren la Protección y Resiliencia de las Infraestructuras Críticas, en todas las fases (antes, durante y después) del desastre. Elaborar una Directriz Presidencial para la Protección de las Infraestructuras Críticas en el país, que sea base para establecer que debe haber esfuerzos entre los Gobiernos Federal, Estatal y Local y los socios del sector privado, todos dirigidos por un determinado Ministerio/Departamento. Adoptar marcos regulatorios de los sectores referentes a las IC. Elaborar el Plan Nacional de Protección de Infraestructuras Críticas. Realizar la Evaluación de Riesgo con las evaluaciones de Amenaza, de Vulnerabilidades y de Consecuencias de las IC del país.

Disponer de una base de datos de las IC del país, con las respectivas evaluaciones de riesgo e información relevante sobre las IC; todo integrado, protegido y disponible a los interesados.

Este antecedente aunque su objetivo principal está dirigido a sugerir un procedimiento estándar de uso de Fuerzas Armadas para la protección de la infraestructura crítica en los países miembros de OEA en caso de desastres naturales, deja ver claramente la existencia de lineamientos generales para la protección de la infraestructura crítica, que va desde preparación, prevención, protección, respuesta y reconstrucción de la infraestructura considerada esencial para el correcto funcionamiento de la nación, de allí que proviene la coetilla de infraestructura “crítica”, que para efectos de esta investigación, se centrara en el punto de preparación y prevención para evitar fallas de la infraestructura crítica y poder garantizar un correcto funcionamiento de la misma.

CAPITULO II MARCO TEÓRICO.

c)(Testa , Bertoni, & Maffoni, 2016) en su trabajo de investigación intitulado Análisis de los Ciclos de Metabolismo Urbano para una Ciudad Turística Sustentable y Competitiva. El caso de Miramar (Buenos Aires, Argentina), el investigador realiza un estudio de los ciclos del agua desde el punto de vista metabólico para establecer indicadores que permitan generar criterios de eficiencia, se plantea un estudio del consumo de recursos y la producción de residuos con el objetivo de analizar los ciclos del metabolismo urbano en esta ciudad turística y su viabilidad para ser sustentable y competitiva, la estrategia se basó en los ciclos metabólicos del sistema urbano: del aire, del agua, de los residuos y de la energía. Los resultados reflejan que Miramar tiene una falta de eficiencia en garantizar el cierre de los ciclos de la materia. Aunque se evidencian algunos aspectos positivos por la incorporación de criterios de sustentabilidad en la gestión. Las iniciativas políticas para mejorar los ciclos metabólicos no se concretan en la práctica y en el corto plazo se reduce la viabilidad de Miramar de configurarse como un destino sostenible. Sin embargo, la concreción de proyectos en agenda mejoraría la situación a futuro. El metabolismo urbano se constituye en un concepto útil, flexible y reconocido, que ayuda en el entendimiento de las ciudades y su dinámica. Esto se debe a que esta noción permite un abordaje de las perspectivas técnica, ecológica y económica. En términos operativos, los ciclos permiten plantear indicadores respecto de la calidad y el uso de recursos y la generación de desechos, teniendo en cuenta las especificidades de un destino turístico, luego de este análisis el investigador concluye que, la lógica del concepto de metabolismo urbano, parte de considerar a la ciudad como un sistema vivo. La idea del metabolismo urbano se refiere entonces, a los intercambios que tienen lugar entre ellas y su entorno. El enfoque metabólico concibe a la sociedad en íntima relación con la naturaleza a través de los flujos de materia y energía, donde apropiación y excreción constituyen los actos inicial y final del metabolismo entre la sociedad y la naturaleza.

Este antecedente se relaciona con la investigación, debido a que se establecen indicadores para estudiar diversos componentes del metabolismo de la ciudad haciendo énfasis para esta investigación en el componente agua, lo cual

puede tener relación directa para extrapolar la metodología allí utilizada a la presente investigación.

d)(Saumeth de las Salas, 2016) en su trabajo intitulado Metabolismo Urbano del Agua Potable. aproximación al caso de Cartagena de Indias, el investigador genera una teoría donde a través de la identificación de entradas y salidas de consumo de agua y su extrapolación al valor económico del servicio, busca una estrategia de medición que permite de manera clara generar criterios de eficiencia para disminuir costos, de allí que su objetivo principal es caracterizar el metabolismo urbano del agua potable del sector residencial, analizando el caso Cartagena de Indias, Colombia, para lo cual considera que la ciudad es un ecosistema artificial que tiene su propio metabolismo, entendido como la suma total de procesos socioeconómicos de consumo de recursos y generación de residuos que ocurren a través de la apropiación, transformación, circulación, secreción, emisiones y uso de los recursos propios y del entorno. El metabolismo urbano puede ser analizado en su conjunto o sobre un material específico, como el agua, por ejemplo. La metodología utilizada es la estimación econométrica (Identificación de variables, construcción de indicadores, correlaciones entre variables) de un modelo probabilístico de ecuaciones simultáneas en dos etapas (MCO2E) sobre consumo de agua del sector residencial y aguas servidas, utilizando fuentes oficiales de información estadística del año 2004 al 2014. El caso de estudio aplicado muestra el funcionamiento de la metodología, evidenciando que el consumo como INPUT del metabolismo urbano del agua potable, en la ciudad de Cartagena, está afectado de forma directa por los ingresos de los hogares y en forma inversa e inelástica por la precipitación y la variación en las tarifas cobradas. Por su parte, las aguas residuales constituyen el OUTPUT del proceso metabólico urbano del agua potable, en Cartagena, están afectadas en forma directa, principalmente, por el consumo de agua del sector residencial, seguida del consumo en el sector comercio y la densidad poblacional urbana, para el estudio del metabolismo urbano, se apoya en la Primera Ley de la Termodinámica la cual sustenta que la energía captada por los ecosistemas, no se crea, ni se destruye, solo se transforma, de modo que, la energía

CAPITULO II MARCO TEÓRICO.

que entra al ecosistema, sale y lo que no sale se convierte en crecimiento y reproducción que aumenta la capacidad del sistema para captar y retener más energía. Por su parte, la Segunda Ley de la Termodinámica señala que todos los procesos reales son irreversibles, generan un aumento de la entropía y causan una degradación de la energía. En este sentido, la energía no solo fluye de un compartimento con mayor energía hacia el de menor contenido, sino que por el camino se disipa una buena porción, generalmente en forma de calor. Es importante tener en cuenta que, a medida que los ecosistemas aumentan su tamaño y complejidad, desarrollan estructuras disipativas especializadas con la capacidad de captar los recursos y manejarlos de manera más eficiente para reducir las pérdidas de energía. Luego de esto el investigador concluye que tanto los organismos vivos como los ecosistemas, indistintamente de su complejidad, tienen funciones vitales que mantienen a través del intercambio continuo de energía, materia e información con el medio que les rodea. Esto se conoce como metabolismo y se caracteriza por ser un conjunto de procesos constantes que van desde la absorción, transformación, circulación y liberación de productos de desecho. Tal como en los organismos y ecosistemas naturales, las ciudades como ecosistema artificial tienen su propio metabolismo que consta de tres procesos: 1) Entradas o Inputs, 2) Transformación y 3) Salidas (Outputs). El metabolismo urbano puede ser analizado en su conjunto o sobre un material en específico, como el agua, por ejemplo. En este sentido, los cálculos de metabolismo urbano de agua potable permiten identificar relaciones entre este material y componentes del sistema urbano para proporcionar elementos que permitan un mejor aprovechamiento del recurso.

Este antecedente, aunque su enfoque principal está determinado a medir económicamente el metabolismo urbano a través de la infraestructura del agua, es referente para considerar que el consumo de agua puede ser medido y proyectado para que mediante la planificación se pueda mejorar la infraestructura urbana en especial la del agua que es el tema sobre el que se pretende centrar esta investigación.

e)(Barton, 2009) en su trabajo intitulado Revisión de Marcos Conceptuales y Análisis de Enfoques Metodológicos (barreras y viabilidad) para el Desarrollo de una

Infraestructura Urbana Sostenible y Eco-eficiente, el investigador busca demostrar la factibilidad metodológica para desarrollar y promover infraestructuras sostenibles, para lo cual se establece como objetivo demostrar el rol de la infraestructura en las transformaciones de las ciudades-regiones y su capacidad de promover un fortalecimiento del desarrollo sustentable, expone y reflexiona en torno a los principios de la sustentabilidad y metodologías de relevancia que puedan ser un aporte para el desarrollo de una infraestructura urbana más sustentable. Entre las metodologías ya existentes para fomentar este cambio en la conceptualización e implementación de proyectos de infraestructura, se puede identificar el desarrollo sobre la base de la EIA (Evaluación de impacto ambiental). La EIA tiene limitaciones en términos de alcance geográfico y temporal, también en su enfoque principal sobre elementos ecológicos y de calidad ambiental. EAE (evaluación ambiental estratégica) y EIS (evaluación integrada de sostenibilidad) son herramientas que complementan y fortalecen el portafolio de metodologías disponibles para avanzar en una evaluación de infraestructura urbana desde los principios y directrices del desarrollo sustentable, o más bien para fortalecer este proceso para crear más resiliencia y robustez urbana. El autor concluye que la infraestructura urbana es un componente fundamental del desarrollo de ciudades regiones. Entender su rol en este proceso de desarrollo, y en particular cómo se puede generar un desarrollo más sustentable, es clave. Debido a las interacciones que generan los proyectos de infraestructura, su incorporación dentro de agendas de sustentabilidad debe ser más explícita. Este antecedente se relaciona con la investigación porque muestra varias metodologías existentes para estudiar la infraestructura con enfoque de sustentabilidad, para lograr hacerla más eficiente. Lo que permitiría en esta investigación ayudar a establecer una metodología que facilite una planificación sostenible de la infraestructura urbana agua a largo plazo.

f)(Rodriguez Y, 2011) en su trabajo intitulado Revisión Bibliográfica los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles, el investigador genera una revisión bibliográfica de los distintos sistemas de drenaje urbano sostenible (SDUS), evaluando su factibilidad sobre la ciudad así como su aplicación efectiva sobre un

CAPITULO II MARCO TEÓRICO.

proyecto piloto en Bogotá, Colombia, estableciéndose el siguiente objetivo: realizar una revisión bibliográfica de los sistemas de drenaje sostenible SUDS, además de documentar el primer caso piloto de aplicación en el ámbito de Bogotá, proyecto POZ – Norte, para ello considera la necesidad de gestionar las aguas pluviales desde un enfoque diferente al convencional, que combine aspectos ambientales y sociales conduciendo a la aplicación generalizada de sistemas de drenaje sostenible (también conocido como "SUDS"), mejores prácticas de manejo (BMPs), MPC (Mejores Prácticas de Control), BPAs (Buenas Prácticas Ambientales), TEDUS (Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible), LID (Low Impact Development), WSUD (Water Sensitive Urban Design), o Diseño Urbano Sensible al Agua. De cualquier forma, debe ser parte integral de cualquier estrategia de desarrollo de gestión de las aguas superficiales. La filosofía de los SUDS es reproducir de la manera más fiel posible, el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización o actuación humana, luego de desarrollada la investigación, se concluye que Los SUDS tienen que ser coherentes en el sistema integrado ciudad – naturaleza constituyéndose como herramienta importante para los diseñadores en sus planteamientos urbanísticos, con su implementación se da solución a los problemas asociados a la gestión de las aguas pluviales, como la cantidad, previniendo inundaciones, gracias a la laminación del agua de escorrentía controlando el caudal puntal y el tiempo de concentración. Los SUDS no se constituyen como elementos de reemplazo de los sistemas tradicionales de drenaje, la función de los SUDS es de ser complemento, por último las políticas locales, regionales y gubernamentales respecto al planteamiento urbanístico de los SUDS deben ser un marco de referencia.

Este antecedente se relaciona directamente con los principios de sostenibilidad, que se quieren establecer sobre las infraestructuras de aguas, buscando hacerlas lo más eficiente posible, alargando su vida útil en sectores ya consolidados.

Los antecedentes antes descritos permiten dar a conocer la factibilidad de la idea de investigación, en la cual, se pretende demostrar que el desarrollo de una

ciudad puede estar condicionado por su infraestructura, en este caso, infraestructura agua y considerar que se puede reformar o hacer una infraestructura eficiente con criterios de sostenibilidad, que en la década pasada, se conocían con criterios de ecoeficiencia, pero con el pasar de los años se ha profundizado más en el tema hasta compararlo con el metabolismo humano, que en el caso de la ciudad, se conoce como el metabolismo urbano donde debe existir un equilibrio entre lo que entra, se consume y sale de la ciudad, lo cual requiere herramientas de medición y así poder garantizar los recurso y la infraestructura a las generaciones futuras.

www.bdigital.ula.ve

Bases Teóricas

Infraestructura Urbana

Las ciudades surgen como una necesidad de las personas de asentarse permanentemente y lograr mejores condiciones de vida, para lo cual se requiere un espacio geográfico que sea capaz de albergar la demanda de personas, pero ese espacio debe brindar condiciones mínimas de comodidad, de esta necesidad surgen las redes de servicios que buscan permitir la entrada y salida de servicios básicos de la ciudad, por ejemplo, implica permitir que a ese asentamiento llegue agua, se use y salga la que ya no sea útil para el ciudadano, esta red de servicio que se encuentra intrínsecamente presente desde los primeros asentamientos urbanos, se replica para cada uno de los servicios necesarios en la ciudad, como vialidad, energía eléctrica, telecomunicaciones entre otros.

En la ciudad moderna esas redes de servicios pasan desapercibidas por el ciudadano por lo cual reciben el nombre de infraestructura urbana.

Infraestructura, definida por la Real Academia Española (2021) como *“obra subterránea o estructura que sirve de base de sustentación a otra, conjunto de elementos, dotaciones o servicios necesarios para el buen funcionamiento de un país, de una ciudad o de una organización cualquiera”* y urbana porque es relativo a la formación de la ciudad, partiendo de lo descrito anteriormente, Corrales (2008, pág. 232) define la infraestructura urbana 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”*

La infraestructura de un país constituye la base que permite el desarrollo individual y colectivo de sus habitantes, resulta indispensable para el ejercicio de las actividades económicas y es un instrumento insustituible de las políticas dirigidas a disminuir la exclusión social y aumentar el bienestar colectivo.

En la actualidad se puede clasificar la infraestructura en cuatro categorías (Corrales, 2008):

A.Instalaciones asociadas a la prestación de los servicios públicos por redes: electricidad, agua potable y saneamiento, gas y telecomunicaciones.

B.Obras que hacen posible el tránsito y transporte de personas y mercancías: vialidad, transporte urbano masivo, ferrocarriles, puertos y aeropuertos.

C.Los edificios públicos asociados a la prestación de los servicios de educación, salud, deporte y recreación, justicia y todos aquellos requeridos para garantizar la vida social y ciudadana y los que definen y garantizan el ordenamiento social.

D.Las obras asociadas a la conservación y administración del ambiente y los recursos naturales renovables: presas y sistemas de riego, manejo y disposición de desechos sólidos, prevención y control de desastres naturales, entre otros.

La infraestructura urbana hace posible la convivencia, el desarrollo individual y colectivo y la actividad económica de una sociedad, es la existencia de esta infraestructura, su amplitud, calidad, sustentabilidad y acceso, lo que permite la prestación de los servicios públicos que en buena medida definen el bienestar individual y colectivo, el grado de cohesión de la sociedad y el nivel de productividad de su economía.

Debido al alcance e incidencia que tiene el funcionamiento de la infraestructura urbana para la ciudad, es prudente conocer que dentro de la categorización anterior se tienen infraestructuras que si llegasen a fallar por algún motivo podrían causar graves daños al funcionamiento de la ciudad, tales infraestructuras se les conoce como infraestructuras críticas.

Infraestructura Crítica

El concepto de Infraestructura Crítica (IC) puede variar dependiendo del país como se puede observar en la tabla 1:

CAPITULO II MARCO TEÓRICO.

Tabla 1 Definiciones de IC por los Países y Organizaciones Internacionales (OI)

PAÍS/OI	CONCEPTO
Australia	"Infraestructura crítica se define como aquellas instalaciones físicas, cadenas de suministro, tecnología de la información y red de comunicación, que, si destruidas, degradadas o indisponibles por un período prolongado, tendrían un impacto significativo en el bienestar social o económico de la nación o afectarían la capacidad de que Australia condujese la Defensa Nacional y garantizase la Seguridad Nacional" (Gobierno Australiano, 2010).
Alemania	"Infraestructuras críticas son organizaciones e instalaciones de mayor importancia para la comunidad, cuya falla o deficiencia causaría escasez continua de suministros, perturbaciones significativas del orden y otras consecuencias dramáticas" (German FMI, 2009).
Unión Europea	"Infraestructura crítica significa un activo, Sistema o parte del mismo localizado en Estados Miembros que es esencial para la manutención de las funciones vitales, salud, seguridad, confianza, bienestar económico y social de las personas, y la interrupción o destrucción del cual tendría un impacto significativo en el Estado Miembro, como resultado de la falla en la manutención de aquellas funciones" (Art II a/114/EC, 2018).
Estados Unidos	"Infraestructura crítica se define como sistemas y activos, tanto físicos como virtuales, tan vital para los Estados Unidos que la incapacidad o destrucción de tales sistemas o activos tendría un impacto de debilitación en la confianza, seguridad económica nacional, salud pública nacional o seguridad, o cualquier combinación de aquellas cuestiones (Sec 1016 (e) de la Ley USA PATRIOT y Ley de Seguridad Nacional, 2001) (Estados Unidos: Departamento de Seguridad Interior, 2009).
ONU	"Instalaciones críticas: Las estructuras físicas primarias, instalaciones técnicas y sistemas que son social, económica y operativamente esenciales para el funcionamiento de la sociedad o comunidad, tanto en circunstancias de rutina como en circunstancias extremas de emergencias. Comentario: instalaciones críticas son elementos de la infraestructura que apoyan servicios esenciales en la sociedad. Incluyen tales cosas como sistemas de transporte, aéreo y puertos marítimos, electricidad, agua y sistemas de comunicación, hospitales y clínicas de salud, y centros de bomberos, policía y servicios de administración pública" (UNISDR Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres, 2009).

Fuente: (Junta Interamericana de Defensa, 2018) (JID)

En cualquiera de las definiciones antes mencionadas se tienen elementos que son comunes: 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.

La infraestructura crítica según JID (2018) se puede clasificar en 3 categorías: Básica, socio económica y socio cultural, siendo la básica la base del funcionamiento de la socioeconómica y esta a su vez la base de la socio cultural.

- La infraestructura básica hace referencia a suministro de energía, transporte, suministro de agua y redes de información y tecnología de la comunicación.

- La infraestructura socio económica se refiere a organismos gubernamentales, servicios de correo, servicios financieros, sistemas de salud, suministro de alimentos, servicio de protección civil y gestión de emergencia.

- La infraestructura cultural corresponde a bienes culturales, medios de comunicación e institutos de investigación

Al considerarse la teoría de la infraestructura critica es necesario entender que la amenaza de la misma puede darse por intervención del hombre o por falla natural como sugiere: el siguiente cuadro

Tabla 2 Amenazas a las infraestructuras criticas

EVENTOS NATURALES	ACCIÓN HUMANA	
	FALLA TÉCNICA ERROR HUMANO	TERRORISMO, CRIMEN, GUERRA
Peligros Hidrometeorológicos	Fallas del sistema	Terrorismo
Peligros Geológicos	Negligencia	Sabotaje
Epidemias y Pandemias	Accidentes o Emergencias	Otras formas de crimen
Eventos Cósmicos	Fallas en la Institución	Guerras / Conflictos

Fuente: (Junta Interamericana de Defensa, 2018) (JID)

Para la presente investigación es de especial interés la infraestructura critica básica, ya que estas desde el punto de vista urbano puede predecirse su funcionamiento considerando teóricamente fallas naturales o acción humana, lo que permitirá crear escenarios que resultaran en la generación de acciones para evitar el colapso de dichas infraestructuras en un futuro.

En el caso de Venezuela, la infraestructura critica está principalmente orientada a la infraestructura básica de telecomunicaciones y la infraestructura cultural puesto que su falla implica grandes inconvenientes para la sociedad actual según la política de gobierno, dejando en un segundo plano las infraestructuras básicas, las cuales de presentar falla podrían dejar en serios inconvenientes el funcionamiento de las ciudades, como ya se evidenció en el 2019 con la falla del sistema energético, en el cual la conjunción de eventos naturales y falla humana

CAPITULO II MARCO TEÓRICO.

crearon un escenario sin precedente para lo cual las ciudades no estaban preparadas.

Sistemas Urbanos de Drenajes Sostenibles (SUDS)

Origen y definición

Las infraestructuras de drenaje 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. Con estos criterios se dio lugar a los sistemas convencionales de drenaje en las zonas urbanizables, basados en sistemas de colectores cuyo objetivo principal es evacuar la escorrentía hacia un medio receptor lo antes posible.

Evacuada el agua del medio urbano, surge el inconveniente del destino de la misma motivado a la dificultad de tratamiento, debido a que no existe ningún control de calidad, ya que estas aguas por efectos de arrastre de sólidos en suspensión, contaminación atmosférica y lavado de techos, están lejos de ser consideradas aguas limpias, convirtiéndose en una fuente de contaminación que aumenta si los índices de urbanización son elevados.

A la par de lo descrito anteriormente, los drenajes urbanos, más que ser una solución máxima al problema de escorrentía en la ciudad, presentan por sí mismo problemas que pueden ser clasificados, como explica Rodríguez (2011), en tres categorías:

✓ **Cantidad de agua:** son los más perceptibles por todos, ya que su incidencia es visible y notable en el momento en el que se producen; por ejemplo, las inundaciones localizadas.

✓ **Calidad medioambiental:** no son detectables a simple vista, y su daño se manifiesta a mediano o largo plazo por la pérdida de calidad medioambiental sufrida en los medios receptores, pudiendo alterar ecosistemas completos.

✓ **Servicio prestado:** se corresponde al servicio dado a la ciudadanía el cual se ve alterado por los dos problemas anteriormente mencionados, y que se manifiestan como un perjuicio en la prestación de servicios; es decir, afección al tráfico, daños materiales, pérdida de comodidad, desnaturalización del entorno, falta de estética entre otros problemas.

El sistema actual de drenaje, el cual es aceptado por cualquier ciudad o medio urbanizado, realmente solo se pueden constituir como solución parcial a los problemas de gestión de aguas de lluvia, es un error considerar que el incremento de sistemas de drenaje convencionales podrá hacer frente al futuro desarrollo urbano. Ya que el constante crecimiento de la ciudad lleva al cambio de espacios verdes por espacios pavimentados, disminuyendo la masa verde de las ciudades, representado esto, una reducción de la infiltración y captación natural de las aguas de lluvia que genera mayores volúmenes de escorrentía incrementando las probabilidades de una inundación como se observa en el siguiente hidrograma de afectación urbana.

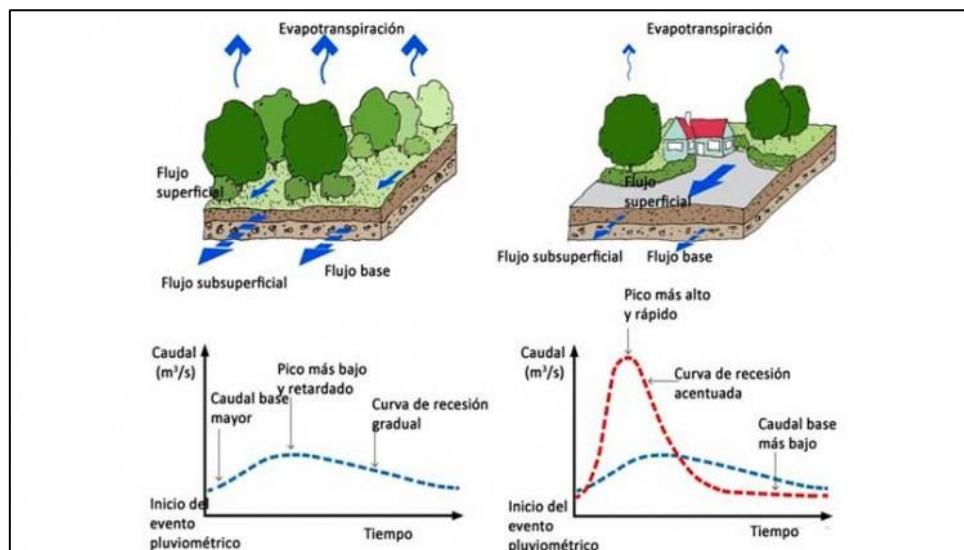


Imagen 1 Hidrograma de afectación urbana

Fuente: <https://www.iagua.es/blogs/ana-abellan/impactos-urbanizacion-ciclo-agua>

Se puede observar que la cantidad de agua a gestionar después de la urbanización e impermeabilización es considerable en comparación a la condición

CAPITULO II MARCO TEÓRICO.

previa, sin urbanizar. Cuanto mayor es la superficie impermeabilizada, menor es la cantidad de agua de lluvia que se puede infiltrar y mayor es el volumen de escorrentía generado que produce un caudal pico muy elevado en un momento dado. Este hecho hace que los colectores de pluviales se diseñen para poder albergar este caudal pico, que en muchos casos es impredecible lo que trae consigo un coste económico mayor, que se pudo haber evitado de iniciar el proceso de infiltración en etapas tempranas.

Como una solución en el marco de la sostenibilidad surgen los sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS) definidos por CIRIA¹ (2018) como sistemas de drenaje 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.

Esta nueva visión de sistemas de drenaje incluye criterios de sostenibilidad que buscan dar respuesta a los problemas de los drenajes urbanos convencionales ya mencionados anteriormente, utilizando técnicas que permitan controlar la cantidad de agua superficial (reducción de las tasas de flujo fuera de sitio), mejorar la calidad de la misma y darles valor agregado a las comodidades de desarrollo.

El enfoque SUDS es particularmente valioso en las zonas urbanas donde el desarrollo de alta densidad y las superficies impermeables pueden causar inundaciones, ya sea directamente o en conjunto y donde las condiciones de crecimiento de la ciudad no permiten nuevas ampliaciones de los sistemas convencionales de drenaje.

¹ CIRIA is the Construction Industry Research and Information Association, (Asociación de Investigación e Información de la Industria de la Construcción)

Objetivos de los SUDS

La misión de los SUDS (Rodríguez Y, 2011) es *“captar, filtrar, retener, transportar, almacenar e infiltrar al terreno el agua, de forma que ésta no sufra ningún deterioro e incluso permita la eliminación, de forma natural, de al menos parte de la carga contaminante que haya podido adquirir por procesos de escorrentía urbana previa.”*

La alternativa de los SUDS, son más sostenibles que los sistemas convencionales de drenaje ya que mitigan los efectos adversos al medio ambiente, según CIRIA (2018), esto se puede conseguir mediante los siguientes objetivos:

- Reducir las tasas de escorrentía, reduciendo los riesgos de inundaciones aguas abajo.
- Reducción de volúmenes y frecuencias de la escorrentía adicional, que tienden a incrementarse como resultado de la urbanización, la cual puede agravar el riesgo a las inundaciones.
- Recarga de las aguas subterráneas, minimizando el impacto en los acuíferos y ríos que reciben estas captaciones.
- Reducir los agentes contaminantes en las aguas pluviales, para así proteger la calidad de los cuerpos de agua que reciben estas captaciones.
- Actuar como amortiguadores para eventos accidentales, previniendo la descarga directa y las altas concentraciones de contaminantes que reciben los cuerpos de agua.
- Reducir el volumen de las aguas superficiales, al sistema de alcantarillado.
- Contribuir a la amenidad y estética de áreas desarrolladas.
- Proveer a los habitantes oportunidades de biodiversidad.

El enfoque de SUDS puede ser aplicado en todos los sitios de desarrollo, aunque las limitaciones de cada sitio impliquen una obstrucción en el potencial de la solución. La variedad de opciones permite a los diseñadores y planificadores considerar varios aspectos como el uso local del suelo, ocupación del suelo, gestión de escenarios futuros; haciendo un adecuado equilibrio entre los riesgos asociados a cada opción.

Tipología de SUDS.

Hay varios procesos que se pueden utilizar para la gestión del agua de escorrentía de las zonas urbanizables. Cada opción provee características únicas para el control del agua de lluvia, para controlar las inundaciones, conservación del agua y dar la posibilidad para la recarga de los acuíferos, Aunque no existe un consenso universal para la clasificación de las diferentes tipologías de SUDS, una de las más recurrentes es la que se muestra a continuación (Perales Momparler & Andres-Doménech, s.f).

a)No estructurales

Las medidas no estructurales previenen por una parte la contaminación del agua reduciendo las fuentes potenciales de contaminantes y por otra evitan parcialmente el tránsito de las escorrentías hacia aguas abajo y su contacto con contaminantes.

Entre las medidas no estructurales de mayor difusión cabe citar las siguientes:

- ✓Educación y programas de participación ciudadana.
- ✓Planificar y diseñar minimizando las superficies impermeables para reducir la escorrentía.
- ✓Limpieza frecuente de superficies impermeables para reducir la acumulación de contaminantes.
- ✓Controlar la aplicación de herbicidas y fungicidas en parques y jardines.
- ✓Controlar las zonas en obras para evitar el arrastre de sedimentos.
- ✓Asegurar la existencia de procedimientos de actuación y equipamiento adecuado para tratar episodios de vertidos accidentales rápidamente y con técnicas secas en lugar de limpieza con agua.
- ✓Limitar el riesgo de que la escorrentía entre en contacto con contaminantes.
- ✓Control de las conexiones ilegales al sistema.

b)Estructurales

Se consideran medidas estructurales aquellas que gestionan la escorrentía contaminada mediante actuaciones que contengan en mayor o menor grado algún elemento constructivo o supongan la adopción de criterios urbanísticos.

Las medidas estructurales más utilizadas son las siguientes:

• Cubiertas vegetadas



Imagen 2 Cubiertas verdes

Fuente: <https://acortar.link/hv5sub>

Sistemas multicapa con cubierta vegetal que recubren tejados y terrazas de todo tipo. Están concebidas para interceptar y retener las aguas pluviales, reduciendo el volumen de escorrentía y atenuando el caudal pico. Además, retienen contaminantes, actúan como capa de aislante térmico en el edificio y ayudan a compensar el efecto “isla de calor” que se produce en las ciudades.

• Superficies Permeables

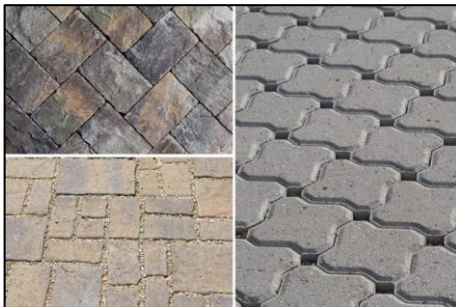


Imagen 3 Superficies permeables

Fuente: <https://acortar.link/EuCG4d>

Pavimentos que permiten el paso del agua a su través, abriendo la posibilidad a que ésta se infiltre en el terreno o bien sea captada y retenida en capas sub-superficiales para su posterior reutilización o evacuación. Existen diversas tipologías, entre ellas: césped o gravas (con o sin refuerzo), bloques impermeables con juntas permeables, bloques y baldosas porosos, pavimentos continuos porosos (asfalto, hormigón, resinas, etc.).

• Franjas Filtrantes

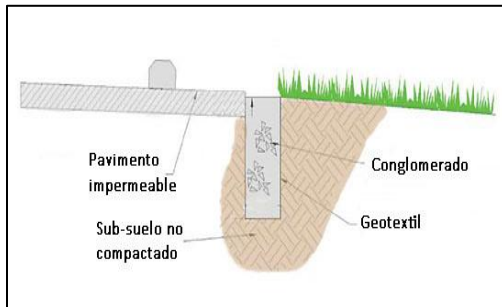


Imagen 4 Franjas filtrantes

Fuente: <https://acortar.link/3odZRE>

Franjas de suelo vegetadas, anchas y con poca pendiente, localizadas entre una superficie dura y el medio receptor de la escorrentía (curso de agua o sistema de captación, tratamiento, y/o evacuación o infiltración). Propician la sedimentación de las partículas y contaminantes arrastrados por el agua, así como la infiltración y disminución de la escorrentía.

• Pozos y Zanjas de Infiltración



Imagen 5 Zanjas de infiltración

Fuente: <https://acortar.link/NP93KC>

Pozos y zanjas poco profundos (1 a 3 m) rellenos de material drenante (granular o sintético), a los que vierte escorrentía de superficies impermeables contiguas. Se conciben como estructuras de infiltración capaces de absorber totalmente la escorrentía generada por la tormenta de diseño para la que han sido diseñadas.

• Drenes Filtrantes o Franceses

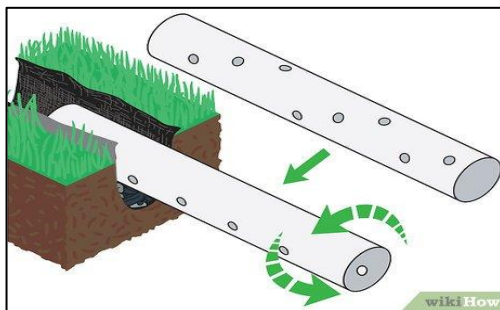


Imagen 6 Drenes Filtrantes

Fuente: <https://acortar.link/dfWqvC>

Zanjas poco profundas rellenas de material filtrante (granular o sintético), con o sin conducto inferior de transporte, concebidas para captar y filtrar la escorrentía de superficies impermeables contiguas con el fin de transportarlas hacia aguas abajo. Además, pueden permitir la infiltración y la laminación de los volúmenes de escorrentía.

• Cunetas Verdes

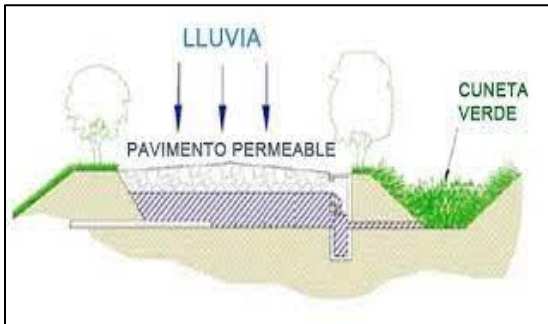


Imagen 7 Cunetas verdes

Fuente: <https://acortar.link/UQnwow>

Estructuras lineales vegetadas de base ancha ($> 0,5 \text{ m}$) y talud tendido ($< 1\text{V}:3\text{H}$) diseñadas para almacenar y transportar superficialmente la escorrentía. Deben generar bajas velocidades ($< 1\text{-}2 \text{ m/s}$) que permitan la sedimentación de las partículas para una eliminación eficaz de contaminantes. Adicionalmente pueden permitir la infiltración a capas inferiores.

• Depósitos de Infiltración

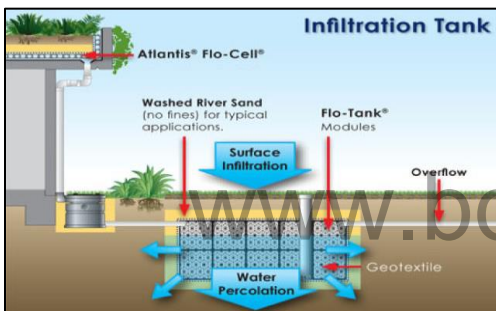


Imagen 8 Depósito de infiltración

Fuente: <https://acortar.link/JCNdOU>

Depresiones del terreno vegetadas diseñadas para almacenar e infiltrar gradualmente la escorrentía generada en superficies contiguas. Se promueve así la transformación de un flujo superficial en subterráneo, consiguiendo adicionalmente la eliminación de contaminantes mediante filtración, adsorción y transformaciones biológicas de la superficie.

• Depósitos de Detención En Superficie

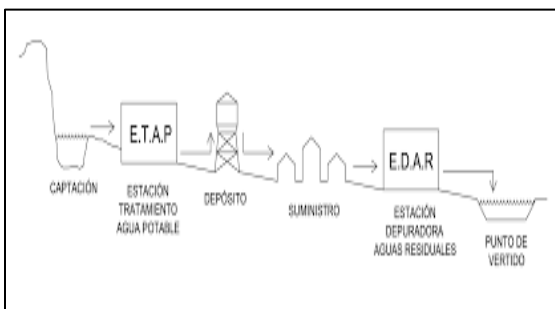


Imagen 9 Depósitos detención en superficie

Fuente: <https://acortar.link/9WIsQr>

Depósitos superficiales diseñados para almacenar temporalmente los volúmenes de escorrentía generados aguas arriba, laminando los caudales punta. Favorecen la sedimentación y con ello la reducción de la contaminación. Pueden emplazarse en “zonas muertas” o ser compaginados con otros usos, como los recreacionales, en parques e instalaciones deportivas.

• Depósitos de Detención Enterrados

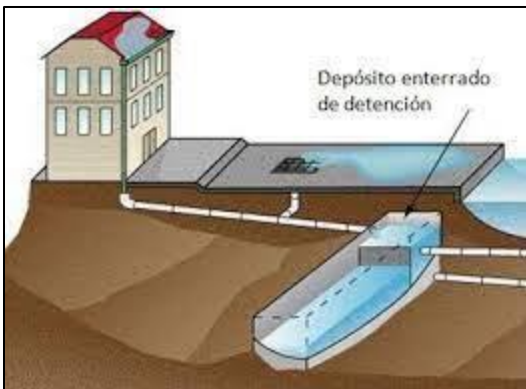


Imagen 10 Depósitos detención enterrados

Fuente: <https://acortar.link/GHDIMr>

Cuando no se dispone de terrenos en superficie, o en los casos en que las condiciones del entorno no recomiendan una infraestructura a cielo abierto, estos depósitos se construyen en el subsuelo. Se fabrican con materiales diversos, siendo los de hormigón armado y los de materiales plásticos los más habituales.

• Estanques de Retención



Imagen 11 Estanque de retención

Fuente: <https://acortar.link/itkhXJ>

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), promoviendo la sedimentación y la absorción de nutrientes por parte de la vegetación. Contienen un volumen de almacenamiento adicional para la laminación de los caudales punta.

• Humedales

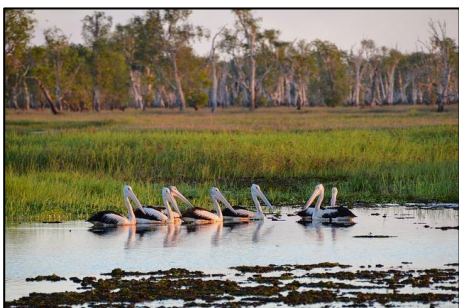


Imagen 12 Humedales

Fuente: <https://acortar.link/73VIB2>

Similares a los anteriores, pero de menor profundidad y con mayor densidad de vegetación emergente, aportan un gran potencial ecológico, estético, educativo y recreativo.

Grado de implantación

El diseño de drenajes es de vieja data, y la legislación existente se limitaba a obligar su construcción en masa para evitar problemas de inundaciones en la ciudad como lo deja ver la legislación estadounidense sobre dicha materia, sin embargo, en la década de los 70 aparecen los primeros indicios sobre contaminación difusa de las aguas pluviales, lo que derivó en actuaciones específicas para resolver el problema, que van desde la concientización hasta crear medidas para mitigar este proceso, para lo cual varios estados y gobiernos adoptaron un gran número de leyes, normativas y ordenanzas para fomentarlos u obligar su utilización. Un proceso similar es el que se produjo en Australia a finales de la década de los 90, contando en la actualidad con normativa, legislación y manuales de diseño propios (Perales Momparler & Andres-Doménech, s.f).

En el presente, en Europa la gestión de las escorrentías urbanas se ha centrado en el control de las inundaciones, y no ha sido hasta hace aproximadamente una década cuando se ha empezado a tomar conciencia del problema de la contaminación difusa. A partir de ese momento, comienzan a adoptarse criterios combinados de cantidad y calidad, intentando maximizar la integración paisajística y el valor social y ambiental de las actuaciones, este modelo es tomado en Europa a través de los SUDS extendiéndose principalmente en los países del centro y norte de Europa, con la particularidad para cada región.

En el caso de Latinoamérica los SUDS son principalmente teóricos, limitados a componentes no estructurales y específicamente en Venezuela se puede decir que los SUDS aun no son un punto importante en el desarrollo de la ciudad.

Para concluir es importante tener presente que, aunque el uso de SUDS parece evidente para zonas de nuevo desarrollo, no deben descartarse en zonas ya consolidadas, como ejemplo cabe citar las actuaciones que se están dando en la ciudad de Nijmegen (Holanda), que se centran en la idea de desconectar los caudales de las áreas de tejados y superficies pavimentadas de la red de colectores, utilizando en su lugar soluciones tipo SUDS para gestionar estas escorrentías.

Metabolismo Urbano

Definición

Caracterizar el metabolismo urbano implica entender inicialmente lo que es metabolismo, definido por la Real Academia Española (2021) como el “*Conjunto de reacciones químicas que efectúan las células de los seres vivos con el fin de sintetizar o degradar sustancias*”. Todo ser humano requiere de energía para realizar cualquier tipo de actividad en su vida, y esta es proporcionada por los procesos químicos que realizan las células del cuerpo cuando este recibe alimentos, dichos procesos se encargan de descomponer y/o transformar los alimentos con la finalidad de convertirlos en productos útiles para el funcionamiento del cuerpo y lo que no, desecharlo y convertirlo en nuevos productos de otro metabolismo, por lo cual se puede considerar este proceso un ciclo cerrado, donde todos se benefician, ya que el fin de un producto, implica el inicio de un nuevo ciclo.

El funcionamiento de la ciudad es similar a lo descrito anteriormente, requiere de insumos proporcionados por el entorno, los cuales son transformados en diversos productos para el desarrollo y crecimiento de la urbe, para posteriormente desechar los restos, con la diferencia que no existe garantía que estos restos sean utilizados nuevamente para otros productos, por lo que esto sería considerado un ciclo abierto.

El símil ciudad, sistema natural y organismo, explica Díaz Álvarez (2014) es concebido como la “*Conceptualización Ecológica de las Ciudades*”, en la cual los centros urbanos se piensan y analizan como seres vivientes que crecen, logran desarrollo y que, en algún momento, pueden morir.

La idea de considerar a la ciudad como un sistema vivo no es nueva, como explica Higuera (2009), desde 1938 han sido numerosos los autores que han hablado del ecosistema de la ciudad, pero se le da realmente importancia es desde 1973 dentro del programa Man and Biosphere de la UNESCO, que lanzó un proyecto de estudio, referido al tema de la ciudad como ecosistema artificial. En la actualidad estas definiciones han evolucionado y aunque el principio sigue siendo

el mismo, el término más aceptado es el de metabolismo urbano, ya que no solo se considera el proceso natural del entorno sino que aparece la ciudad como un medio urbanizado y una serie de seres vivos, con sus interacciones y relaciones, donde el ser humano es parte principal del mismo, desarrollando la actividad interna urbana y un funcionamiento a base de intercambios de materia, energía e información, por lo cual, las ciudades constituyen organizaciones muy complejas, sin precedente con ninguna otra estructura existente y sus conexiones se extienden sobre todo el planeta influyendo en espacios lejanos gracias a la tecnología y a las nuevas redes de infraestructuras, que son las que garantizan el transporte de los recursos necesarios para el funcionamiento de la ciudad y la salida de los desechos de la misma.

El metabolismo urbano puede definirse según Díaz (2014) 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”*

Es este proceso el que permite analizar la relación entre el uso de recursos y la actividad económica de su sociedad dentro y fuera de sus fronteras, aunque la idea de metabolismo urbano es rechazada por muchos autores por su corte organicista, la verdad es que en la actualidad su estudio se considera en los proyectos de ciudades de futuro como una dimensión sine qua non de la sostenibilidad urbana, *“con la cual la ciudad se reinserta en la naturaleza y la naturaleza en la ciudad”* Regolini y Junyent 2009, citado por Díaz Álvarez (2014).

El metabolismo urbano resulta la herramienta perfecta para proyectar el crecimiento de la ciudad porque lo que se busca es medir entradas, consumos y salidas, y obtener valores óptimos que permitan generar lineamientos para garantizar la vida útil de la ciudad a generaciones futuras.

Componentes

Poder estudiar la ciudad desde el metabolismo urbano implica reconocer los componentes del mismo, para lo cual se parte de la teoría del metabolismo social aplicada a lo urbano.

CAPITULO II MARCO TEÓRICO.

Para Toledo (2013) “El metabolismo social 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.”

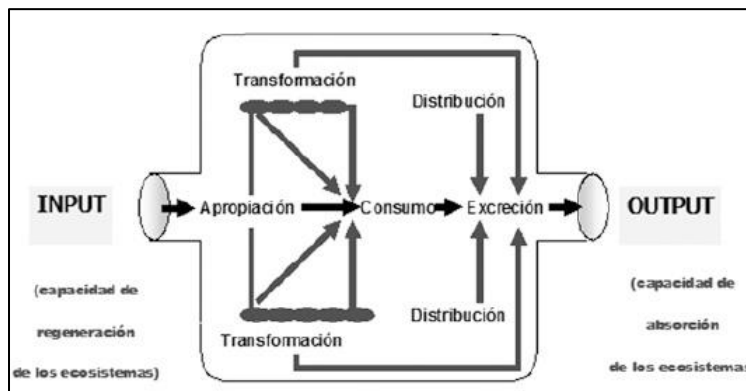


Imagen 13 Metabolismo social

Fuente: (Toledo, 2013)

Como se puede observar en la imagen 13, en general el metabolismo social reconoce tres tipos de flujos: los flujos de entrada, los flujos interiores y los flujos de salida.

Lo cual según Toledo (2013) se puede ver reflejado en cinco procesos que son fácilmente identificables agrupados en tres flujos:

Flujo de entrada: la apropiación (A).

Flujo interior: la transformación (T), la circulación (C) y el consumo (Co)

Flujo de salida: la excreción (E).

A continuación, la explicación de cada proceso:

- **La apropiación (A):** mediante esta, la sociedad se nutre de todos aquellos materiales, energías, agua y servicios que los seres humanos y sus artefactos requieren para mantenerse y reproducirse.
- **La transformación (T):** implica todos aquellos cambios producidos sobre los productos extraídos de la naturaleza, los cuales ya no son consumidos en su forma original.

- **La circulación (C):** aparece en el momento en el que las unidades de apropiación dejan de consumir todo lo que producen y de producir todo lo que consumen. Con lo cual se da inicio al fenómeno del intercambio económico. Los elementos extraídos de la naturaleza comienzan a circular, transformados o no, y en el devenir de la historia se incrementan no sólo los volúmenes de lo que circula, sino las distancias que recorren antes de ser consumidos.
- **El consumo (Co):** incluye a toda la sociedad, independientemente de su posición en la cadena metabólica. Este proceso es el resultado de la relación existente entre las necesidades del ser humano y los satisfactores existentes como resultado de los tres primeros procesos (A+T+C).
- **La excreción (E):** es el último proceso de la cadena metabólica donde la sociedad humana una vez utilizado lo que necesita, desecha el resto arrojando materiales y energía hacia la naturaleza (incluyendo basuras, emanaciones, gases, sustancias y calor). En este último proceso es importante considerar la calidad de los residuos (si son reciclables o no por la naturaleza) y su cantidad (si sobrepasa o no la capacidad natural de reciclaje). Ya que esto permitirá identificar si se tiene un metabolismo lineal o cíclico.

En el caso del metabolismo urbano de una ciudad implica reconocer los ciclos que lo conforman para así identificar los componentes de cada uno. Higuera (2009) explica que el metabolismo urbano de una ciudad puede dividirse principalmente en 4 ciclos: el ciclo atmosférico, el ciclo hidrológico, el de la materia orgánica y residuos y por último el ciclo energético.

Identificados los ciclos y sus componentes, se generan soluciones a futuro con criterios de sostenibilidad, dichas soluciones por cada ciclo como explica Higuera (2009) están enmarcadas por lo siguiente:

- **En el ciclo atmosférico:** disminuir la contaminación atmosférica, disminuir el efecto de isla térmica.

CAPITULO II MARCO TEÓRICO.

- **En el ciclo hidrológico:** reducir la escorrentía superficial; reserva y reuso del agua de lluvia, reciclado de las aguas grises con uso apropiado; reducción del consumo de agua potable y control del regadío de las zonas verdes.
- **En el ciclo de la materia orgánica y los residuos:** el reciclado y la separación de los residuos y el reciclado del residuo orgánico para su tratamiento y gestión (compostaje, biogás).
- **En el ciclo energético:** el objetivo es el uso de energías renovables y no contaminantes para todas las actividades urbanas.

Generar criterios para cada una de las soluciones, implica evaluar características que en algunos casos se encuentran en el campo de la subjetividad, por lo cual el ecólogo José Manuel Naredo (1999), propone como ejemplo los siguientes indicadores de la calidad de medio ambiente urbano, con referencias a valores ya consensuados internacionalmente desde las Naciones Unidas:

Tabla 3 Indicadores de la calidad del medio ambiente urbano

Calidad del agua	a) Agua potable	* Número de días/año en que la media de agua potable es rebasada
	b) Aguas embalsadas	*Concentración de O ₂ en el agua embalsada en mg por litro *Número de días que el pH es > 9 o < 6 *Principales concentraciones anuales
Calidad del aire	a) A largo plazo	*Excedentes de AQGs: O ₃ , SO ₂ , TSP
	b) Concentraciones a corto plazo: O ₃ , SO ₂ , TSP	
Calidad acústica	Exposición al ruido (hab por período de tiempo)	*Exposición al ruido por encima de 65dB y por encima de 75 dB
Seguridad vial	Víctimas (muertos y heridos) en accidentes de tráfico.	*Nº- de muertos y heridos en accidentes de tráfico por 10.000 habitantes
Calidad de viviendas	Promedio de suelo por pers.	*M ² por persona
Accesibilidad de espacios verdes	Proximidad a los espacios verdes urbanos	*% de gente a 15 minutos de distancia (caminando) de los espacios verdes urbanos

Fuente: José M Naredo (1999)

El cuadro anterior permite vislumbrar que es posible la generación de indicadores medibles con valores reconocidos internacionalmente.

Estudiar a la ciudad desde todos los ciclos implica un trabajo complejo por lo que la presente investigación se centrará en el estudio del metabolismo urbano del agua, específicamente de los drenajes.

Metabolismo del agua

El metabolismo urbano puede ser estudiado como un todo o sobre un tema específico de la ciudad, como el agua, en este caso su estudio puede ser dividido en dos, en agua potable como fuente de consumo y el agua de escorrentía, esta última producto de las lluvias.

Es necesario identificar qué elementos se van a considerar para generar variables e indicadores que permitan evaluar la toma de decisiones para garantizar la mejora y permanencia del servicio de agua en todas sus etapas al 2030. Para lograrlo se recomienda la utilización de un método de estimación econométrico (Identificación de variables, construcción de indicadores, correlaciones entre variables) que considere el consumo de aguas blancas y aguas servidas de la ciudad, utilizando fuentes oficiales de información estadística.

Como lo que se pretende es lograr la cuantificación de cada uno de los componentes del metabolismo urbano del agua, se procede al estudio del ciclo urbano del agua desde la temática del metabolismo (Flujos de entrada, flujo interno y flujo de salida) dicho de otra manera lo que permita identificar ¿cuánto necesito?, ¿cuánto uso? y ¿cuánto desecho?

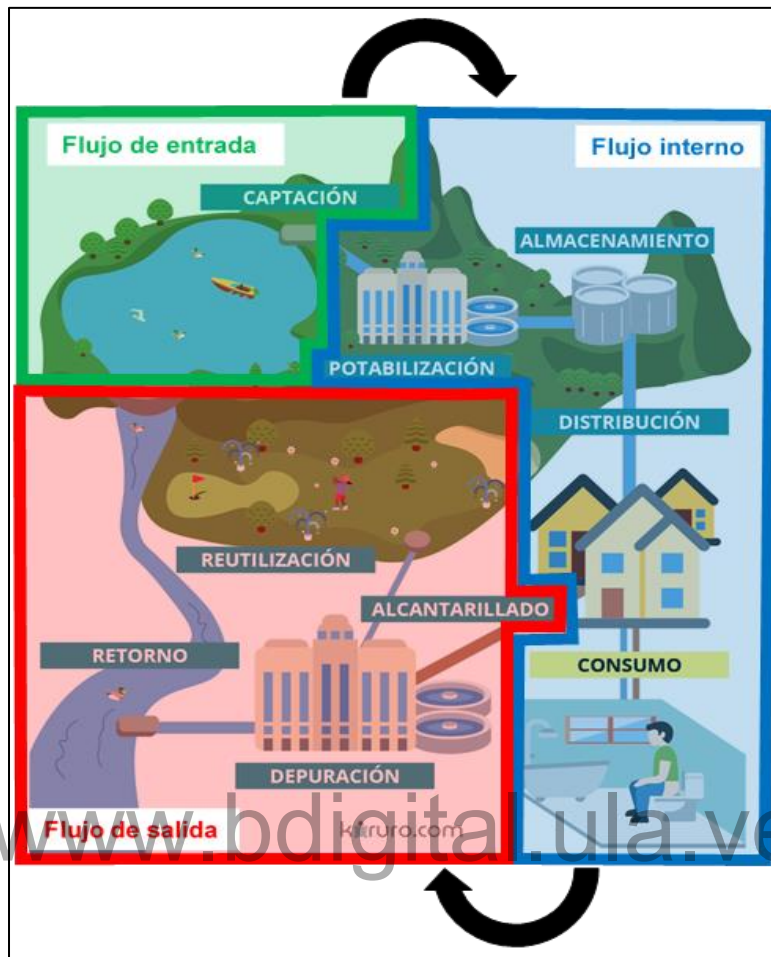


Imagen 14 Metabolismo urbano del ciclo urbano del agua
Fuente: Elaboración propia con imagen base de <https://acortar.link/qGwljW>

En el caso del agua como fuente de consumo, este es un recurso indispensable para la vida, su **flujo metabólico** se describe de la siguiente manera. (ver imagen 14)

Flujo de entrada

Apropiación: se realiza en las fuentes de captación ya sean superficiales o subterráneas (medio ambiente) a través de un dique toma o tanques.

Flujo interno.

Transformación: corresponde al tratamiento (potabilización) del agua, y almacenamiento.

Circulación: corresponde a la distribución y su principal estructura disipadora es el acueducto el cual se encuentra a lo largo y ancho de la ciudad.

Consumo: representado por el ingreso de agua a las diferentes unidades de consumo de la ciudad: residencial, comercial, industrial.

Flujo de salida

Excreción: consiste en el descarte del agua ya no útil para el consumo como resultado de los residuos líquidos procedentes de viviendas, generados principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas y los vertimientos procedentes de instalaciones comerciales, industriales y otros, esto último se realiza mediante otro sistema disipador como es el sistema de cloacas y alcantarillado, que recolecta las aguas ya utilizadas, en menor cantidad que la recolectada para el sistema de acueducto, desde el sitio que se generan hasta el lugar de tratamiento y posterior vertimiento, ya sea dentro la ciudad u otro ecosistema. Estos son flujos que, desde el potencial económico hacia el medio ambiente, se caracterizan por no estar disponibles para biodegradación por saturación de sustancias que no se metabolizan, lo que rompe con el proceso metabólico y genera contaminación.

Mediante una sistematización del proceso del agua a lo largo de la ciudad es posible generar variables e indicadores que permitan cuantificar cada una de esas etapas y así poder generar estrategias que permitan optimizar esos valores y acercarlos a estándares internacionales cuya unidad de medida va relacionada a la cantidad de líquido requerido por persona y por metro cuadrado de superficie en la ciudad.

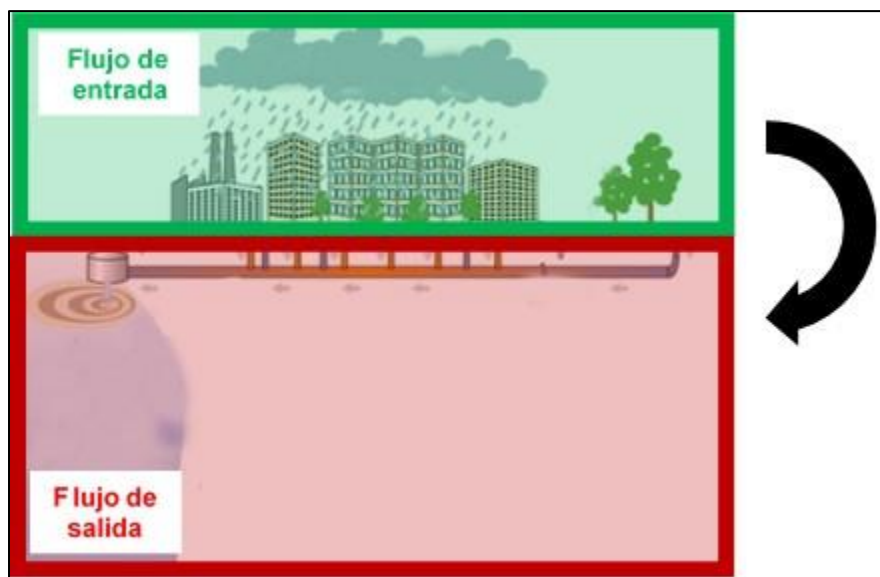


Imagen 15 Metabolismo urbano del ciclo urbano de agua pluviales
Fuente: Elaboración propia 2022

En el caso de aguas pluviales o de escorrentía en las ciudades el metabolismo se desarrolla de la siguiente manera (ver Imagen 15):

Flujo de entrada

Apropiación: ocurre mediante la infiltración de líquido por parte de la superficie sobre la cual discurre el agua de lluvia, el origen está dado por la cantidad de precipitaciones en la zona, a mayor superficie saturada y/o pavimentada mayor será el agua de escorrentía.

Flujo de salida

Excreción: el agua de exceso que no es capaz de absorber la superficie recorre la misma hasta que es canalizada mediante sistema de drenajes que se interconectan entre si ya sea para llegar en la mayoría de los casos a sistemas unitarios (aguas negras-grises y pluviales) o a sistemas de drenaje independientes de aguas pluviales o a nuevas superficies, cuyo destino final es un curso de agua.

Como se puede observar este proceso carece del componente **flujo interno** y la razón es muy simple en la ideología actual no se percibe a las aguas de lluvia como un elemento de utilidad para el funcionamiento de la ciudad, lo cual es un grave error, las aguas de lluvia pueden ser de gran utilidad si son correctamente canalizadas, pueden servir para sistemas de riego, para surtir sistemas que no

requieran agua potable, entre otros usos, además de disminuir la erosión del suelo, lo cual en las ciudades, suele ser un fuerte problema para las zonas pavimentadas.

Estudiar el ciclo del agua de escorrentía desde el metabolismo urbano, permite evaluar la utilidad de este recurso para la ciudad, ya que gran parte del tiempo este recurso pasa desapercibido, y solo es recordado cuando se presentan problemas de drenaje (colapso de sistemas unitarios) o inundaciones en la ciudad.

Una sistematización de este proceso permitirá identificar la cantidad de superficie de absorción (áreas verdes) requerida en la ciudad para lograr niveles óptimos de humedad superficial, adicionalmente permitirá cuantificar la cantidad de agua generada por este medio, y así determinar su mejor uso para la ciudad.

La finalidad de estos procesos, es poder cuantificar cada una de esas etapas para lo cual es importante considerar como explica Saumet (2016) *“la demanda de agua en un ecosistema urbano también depende del grado de urbanización, los sistemas de explotación y distribución, así como las formas de producción agrícola, según los requerimientos de los cultivos, los sistemas de riego, y la producción industrial”*.

www.bdigital.ula.ve

Automatización de Procesos-Industrias 4.0

La industria 4.0 hace referencia a la cuarta revolución industrial que surge en los países desarrollados en la segunda década del siglo XXI como respuesta de política industrial frente a una nueva fase en la revolución de las tecnologías de la información y comunicación.

La industria 4.0 como explica Erbes y otros (2019) *“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.”*

Los sistemas ciber físicos se apoyan en la modelización digital de los procesos de producción y en el intercambio de datos generados en el propio proceso de fabricación. Este intercambio puede darse entre productos y máquinas, entre distintas máquinas o entre diferentes actores de la cadena de producción.

En el contexto que plantea este trabajo, la industria 4.0 o lo que sería la automatización de los procesos, pasa a jugar un papel importante porque permitirá garantizar el manejo de información en tiempo real y predecir comportamientos a futuro, si bien es cierto que la realidad este lejos de permitir la automatización total de la infraestructura es prudente diseñar, cualquier propuesta que pretenda contabilizar valores para medir eficiencia, sobre esta premisa, ya que se pueden estructurar el manejo de datos de manera tal que puedan a futuro ser usados por modelos automatizados, para garantizar una toma de decisiones eficiente proyectadas a futuro.

Bases Legales

Se corresponde al marco legal venezolano e internacional sobre el cual se fundamentará la presente investigación el cual se evalúa considerando el principio de Kelsen para la organización jerárquica de leyes basado en 3 niveles.

- **Nivel fundamental:** hace referencia a la máxima ley del país: La Constitución.
- **Nivel legal:** se corresponde a todas las Leyes Orgánicas, Especiales y Ordinarias.
- **Nivel sub legal:** Reglamentos, Planes y Ordenanzas.

CONSTITUCION DE LA REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

Gaceta Oficial Extraordinaria N° 36.860 de fecha 30 de diciembre de 1.999

Artículo 128. El Estado desarrollará una política de ordenación del territorio atendiendo a las realidades ecológicas, geográficas, poblacionales, sociales, culturales, económicas, políticas, de acuerdo con las premisas del desarrollo sustentable, que incluya la información, consulta y participación ciudadana. Una ley orgánica desarrollará los principios y criterios para este ordenamiento.

Artículo 156 Es de la competencia del Poder Público Nacional:

19. El establecimiento, coordinación y unificación de normas y procedimientos técnicos para obras de ingeniería, de arquitectura y de urbanismo, y la legislación sobre ordenación urbanística.

23. Las políticas nacionales y la legislación en materia naviera, de sanidad, vivienda, seguridad alimentaria, ambiente, aguas, turismo y ordenación del territorio.

Artículo 326. La seguridad de la Nación se fundamenta en la corresponsabilidad entre el Estado y la sociedad civil, para dar cumplimiento a los principios de independencia, democracia, igualdad, paz, libertad, justicia, solidaridad, promoción y conservación ambiental y afirmación de los derechos humanos, así como en la satisfacción progresiva de las necesidades individuales y colectivas de los venezolanos y venezolanas, sobre las bases de un desarrollo sustentable y productivo de plena cobertura para la comunidad nacional. El principio de la corresponsabilidad se ejerce sobre los ámbitos económico, social, político, cultural, geográfico, ambiental y militar.

CAPITULO II MARCO TEÓRICO.

LEY ORGANICA DE PLANIFICACION

Gaceta oficial N° 5.554 de fecha 13 de noviembre del 2001

Artículo 17. Es de competencia del Presidente de la República formular el Plan Nacional de Desarrollo y dirigir su ejecución, previa aprobación de la Asamblea Nacional

PLAN DE LA PATRIA 2019-2025

El Plan de la Patria: "Tercer Plan Socialista de Desarrollo Económico y Social de la Nación de Venezuela" es un plan a mediano plazo para el período 2019-2025, que contiene lineamientos generales para su implementación.

"1.6.3. Impulsar el desarrollo y uso de equipos electrónicos y aplicaciones informáticas, basados en tecnologías libres y estándares abiertos."

"1.8. Adecuar el aparato económico productivo, la infraestructura y los servicios del Estado, incrementando la capacidad de respuesta a las necesidades del pueblo ante posibles estados de excepción en el marco de la defensa integral de la nación."

"2.8. Desarrollar la doctrina de la economía del mantenimiento, como filosofía de Estado en la administración, gestión y cultura institucional, a efectos de maximizar el aprovechamiento de los recursos e impulsar la especialización y generación de un nuevo vector productivo. La economía del mantenimiento debe regir en el Estado como esquema estructural del Plan de la Patria en el tránsito al pos rentismo petrolero."

"5.1.5. Impulsar la generación de energías limpias, aumentando su participación en la matriz energética nacional y promoviendo la soberanía tecnológica."

5.5.4. Desarrollar de manera integral las variables de diseño, construcción y gestión del sistema edificado residencial, asumiendo los criterios funcionales, geohistóricos, ecosocialistas, en una unidad dialéctica de la forma y el contenido para el desarrollo de los propósitos

**LEY ORGÁNICA PARA LA PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE LA ORDENACIÓN
DEL TERRITORIO**

Gaceta Oficial N.º 38.388 de fecha 01 de marzo del 2006

*Artículo 7. La Ordenación del Territorio comprende, entre otros, los objetivos siguientes:
Incentivar la conservación y uso sustentable de los recursos naturales.*

Determinar los espacios sujetos a riesgos asociados a fenómenos naturales (geológicos, sísmológicos, hidrológicos, inestabilidad de laderas, desertización, etc.), tecnológicos o antrópicos (desertificación, contaminación de aire, agua y suelo), así como los mecanismos de prevención idóneos para salvaguardar la vida de la población, disminuir su vulnerabilidad y racionalizar el uso de los recursos destinados a inversión.

Artículo 8. La Planificación y Gestión de la Ordenación del Territorio comprende, entre otros, los objetivos siguientes:

Establecer los criterios prospectivos y los principios que orienten los procesos de urbanización, industrialización y la conformación de sistemas de centros poblados, en armonía con el ambiente y la diversidad biológica.

Incentivar las acciones y regulaciones tendentes al desarrollo de los centros poblados, a través de la planificación, gestión y conservación de la calidad de vida.

Artículo 15. La planificación de la ordenación del territorio responderá a un sistema integrado de planes nacionales, regionales y locales, de los cuales forman parte: Planes Nacionales: El Plan Nacional de Ordenación del Territorio. Los Planes Sectoriales de Ordenación del Territorio. Los Planes de Ordenación del Territorio de las Áreas Naturales Protegidas y de Uso Especial. Los Planes de Ordenación Urbanísticos. Los Planes Particulares. Planes Regionales y Estadales: Los Planes Regionales de Ordenación del Territorio. Los Planes Estadales de Ordenación del Territorio. Planes Municipales: 1. Los Planes Municipales de Ordenación del Territorio. 2. Los Planes de Desarrollo Urbano Local. 3. Los Planes Especiales. Los demás planes que demande el proceso de desarrollo integral del país.

Artículo 106. Los Planes Especiales son el instrumento jurídico de planificación que representa la concreción espacial detallada de las directrices y determinantes del desarrollo

CAPITULO II MARCO TEÓRICO.

municipal, contenidas en el Plan de Ordenación Urbanístico y en los Planes Municipales de Ordenación del Territorio respectivo.

Artículo 107. *Los Planes Especiales tendrán los siguientes objetivos fundamentales: La definición y clasificación detallada del uso del suelo en términos de población, base económica, extensión del área y control del medio ambiente a los efectos de determinar los usos aplicables. La organización física y espacial de las áreas objeto del Plan, detallando las características arquitectónicas y espacios urbanos a través de lineamientos específicos.*

Artículo 108. *Los Planes Especiales son aplicables a: Áreas centrales o centros de ciudades. Zonas de renovación o expansión urbana. Zonas de rehabilitación urbana. Zonas de asentamientos no controlados. Otras áreas del municipio con condiciones específicas.*

Artículo 109. *Los Planes Especiales serán elaborados por el organismo municipal de planificación o, en su defecto, por quien designe el Alcalde o Alcaldesa. La elaboración de los planes especiales se realizará mediante un proceso de coordinación y participación ciudadana e interinstitucional, tanto públicas como privadas, que permita al municipio requerir de todos los organismos competentes informes técnicos y estudios pertinentes al Plan. De los Asentamientos no controlados*

Artículo 115. *La ausencia de planes de ámbito territorial superior no será impedimento para la formulación y ejecución de los demás Planes del Sistema Integrado de Planificación. Una vez que los planes de ámbito territorial Superior entren en vigencia, los planes elaborados previamente deberán revisarse y adaptarse a las previsiones correspondientes.*

LEY DE AGUAS

Gaceta Oficial N.º 38.595 de fecha 02 de enero de 2007

Artículo 3. Gestión integral de las aguas. *La gestión integral de las aguas comprende, entre otras, el conjunto de actividades de índole técnica, científica, económica, financiera, institucional, gerencial, jurídica y operativa, dirigidas a la conservación y aprovechamiento del agua en beneficio colectivo, considerando las aguas en todas sus formas y los ecosistemas naturales asociados, las cuencas hidrográficas que las contienen, los actores e intereses de los usuarios o usuarias, los diferentes niveles territoriales de gobierno y la política ambiental, de ordenación del territorio y de desarrollo socioeconómico del país.*

Artículo 4. Objetivos de la gestión integral de las aguas. *La gestión integral de las aguas tiene como principales objetivos:*

- 1. Garantizar la conservación, con énfasis en la protección, aprovechamiento sustentable y recuperación de las aguas tanto superficiales como subterráneas, a fin de satisfacer las necesidades humanas, ecológicas y la demanda generada por los procesos productivos del país.*
- 2. Prevenir y controlar los posibles efectos negativos de las aguas sobre la población y sus bienes.*

Artículo 14. Medidas para prevención y control. *La prevención y control de los posibles efectos negativos de las aguas sobre la población y sus bienes se efectuará a través de:*

- 1. Los planes de gestión integral de las aguas, así como en los planes de ordenación del territorio y de ordenación urbanística, insertándose los elementos y análisis involucrados en la gestión integral de riesgos, como, proceso social e institucional de carácter permanente, concebidos de manera consciente, concertados y planificados para reducir los riesgos socio - naturales y cronológicos en la sociedad.*
- 2. La construcción, operación y mantenimiento de las obras e instalaciones necesarias.*

Artículo 88. Objetivos. *El Sistema Económico Financiero para lo gestión integral de las aguas tiene como principales objetivos:*

- 1.- Asegurar el adecuado financiamiento de los instrumentos de gestión previstos en esta Ley.*
- 2.- Estimular el uso eficiente de las fuentes de agua para contribuir con la sustentabilidad del recurso.*

LEY ORGÁNICA PARA LA PRESTACIÓN DE LOS SERVICIOS DE AGUA POTABLE Y DE SANEAMIENTO

Gaceta Oficial Extraordinaria N.º 5.568 de fecha 31 de diciembre de 2001

Artículo 10. *Los estados podrán:*

CAPITULO II MARCO TEÓRICO.

c. aportar total o parcialmente los recursos financieros para la construcción de obras o instalaciones de infraestructura hidráulica o sanitaria que estén contempladas en los planes de desarrollo del sector para el estado correspondiente;

Artículo 11. *Corresponde a los municipios y distritos metropolitanos, la prestación y el control de los servicios de agua potable y de saneamiento. En particular, deberán:*

f. reglamentar la prestación de los servicios de agua potable y de saneamiento mediante la respectiva ordenanza, con base en la presente Ley y en las directrices que al efecto establezca la Superintendencia Nacional de los Servicios de Agua Potable y de Saneamiento;

j. aportar total o parcialmente los recursos financieros para la construcción de obras o instalaciones de infraestructura hidráulica o sanitaria que estén contempladas en los planes de desarrollo del sector de carácter local;

k. promover y apoyar programas educativos y de inducción acerca de la necesidad del uso eficiente del agua y del pago oportuno de la tarifa que se establezca para la prestación de los servicios;

l. promover la participación de los suscriptores, a través de las Mesas Técnicas de Agua, en la supervisión, fiscalización y control de la prestación de los servicios objeto de esta Ley.

Artículo 35. *Los procesos asociados a la prestación de los servicios de Agua Potable y de Saneamiento, a las cuales se refiere la presente Ley, son los siguientes: Producción: incluye la captación de agua, ya sea a partir de cursos superficiales, de embalses, de lagos o acuíferos, su subsiguiente potabilización y su conducción hasta las redes de distribución; Distribución de Agua Potable: incluye el suministro de agua potable a través de las redes de distribución, hasta su entrega a las conexiones de los usuarios finales; Recolección de Aguas Servidas: incluye la recolección de las aguas servidas desde los puntos de conexión con los usuarios hasta los puntos de entrega para su tratamiento o disposición final; Disposición de Aguas Servidas: incluye el tratamiento o depuración de las aguas residuales y su posterior conducción hasta los sitios de descarga;*

Artículo 45. *Las Unidades de Gestión de los servicios de Agua Potable y de Saneamiento son agrupaciones de procesos de producción, distribución, recolección o disposición, que por razones estratégicas, técnicas, económicas o de solidaridad regional la*

Superintendencia Nacional de los Servicios de Agua Potable y de Saneamiento haya decidido agrupar para que sean gestionadas integralmente mediante la modalidad que los Distritos metropolitanos o municipios consideren adecuado, garantizando su sustentabilidad y equilibrio económico.

Artículo 50. *Simultáneamente con la adopción del modo de gestión, el municipio o el distrito metropolitano aprobará la Ordenanza que regulará la prestación de los servicios, en la que se establecerán las obligaciones generales de los prestadores de los servicios y los poderes de fiscalización, supervisión y control municipal, con el objeto de asegurar la buena marcha de los servicios, con base en los principios establecidos en esta Ley y con los términos y condiciones previamente establecidos por la Superintendencia Nacional de los Servicios de Agua Potable y de Saneamiento.*

Artículo 64. *Las actividades conexas a los servicios de Agua Potable y de Saneamiento, tales como la comercialización de residuos y subproductos del tratamiento de agua cruda y de efluentes cloacales e industriales y la reutilización del agua servida tratada, son facultativas de los prestadores de los servicios y estarán sujetas a la regulación de la Superintendencia Nacional de los Servicios de Agua Potable y de Saneamiento.*

LEY DE GESTIÓN INTEGRAL DE RIESGOS SOCIONATURALES Y TECNOLÓGICOS

Gaceta Oficial N.º 39.095 de fecha 9 de enero de 2009

Artículo 1 Objeto. *Esta Ley tiene por objeto conformar y regular la gestión integral de riesgos socionaturales y tecnológicos, estableciendo los principios rectores y lineamientos que orientan la política nacional hacia la armónica ejecución de las competencias concurrentes del Poder Público Nacional, Estatal y Municipal en materia de gestión integral de riesgos socionaturales y tecnológicos.*

Artículo 5 Definiciones. *A los efectos de la presente Ley y sus Reglamentos, se entiende por:*

1. Amenaza. *Probabilidad de que un fenómeno se presente con una cierta intensidad, en un sitio específico y dentro de un período de tiempo definido, con potencial de producir efectos adversos sobre las personas, los bienes, los servicios y el ambiente.*

2. Desastres. Alteraciones graves en las personas, los bienes, los servicios y el ambiente, causadas por un suceso natural o generado por la actividad humana, que exceden la capacidad de respuesta de la comunidad afectada.

3. Emergencias. Alteraciones en las personas, bienes, servicios y ambiente causadas por un evento natural o generado por la actividad humana que no excede la capacidad de respuesta de la comunidad afectada.

4. Evento adverso. Manifestación de un fenómeno natural, tecnológico o provocado por el hombre en términos de sus características, magnitud, ubicación y área de influencia.

5. Mitigación. Es toda acción orientada a disminuir el impacto de un evento generador de daños en la población y en la economía.

6. Preparación. Conjunto de medidas y acciones llevadas a efecto para reducir al mínimo la pérdida de vidas humanas y otros daños, organizando oportuna y eficazmente la respuesta y la rehabilitación.

7. Prevención. Conjunto de medidas cuyo objeto es impedir o evitar que eventos naturales o generados por la actividad humana causen daños, emergencias o desastres.

8. Reconstrucción. Proceso de reparación, a mediano y largo plazo, del daño físico, social y económico, a un nivel de desarrollo que asegure su sustentabilidad.

9. Rehabilitación. Reconstrucción a corto plazo de los servicios básicos e inicio de la reparación del daño físico, social y económico como consecuencia de una emergencia o un desastre.

10. Respuesta. Ejecución de las acciones previstas en la etapa de preparación y que, en algunos casos, ya han sido anteceditas por actividades de alistamiento y movilización, motivadas por la declaración de diferentes estados de alerta. Corresponde a la reacción inmediata para la atención oportuna de la población.

11. Riesgo construido. Son aquellas condiciones generadas por el Estado, el sector privado o la sociedad en general que pudieran causar o potenciar desastres de carácter socionatural o tecnológico.

12. Riesgo socionatural. Peligro potencial asociado con la probable ocurrencia de fenómenos físicos cuya existencia, intensidad o recurrencia se relaciona con

procesos de degradación ambiental o de intervención humana en los ecosistemas naturales.

13. Riesgo tecnológico. Peligro potencial generado por la actividad humana relacionado con el acceso o uso de la tecnología, percibidos como eventos controlables por el hombre o que son fruto de su actividad.

14. Vulnerabilidad. Condiciones inadecuadas de seguridad que presentan personas, edificaciones, espacios físicos, entre otros, ante una amenaza potencialmente dañina.

Las Normas Venezolanas COVENIN, las normas de la Organización Internacional para la Normalización (ISO), en vigencia, así como las aprobadas en los tratados, acuerdos, pactos y convenios internacionales suscritos y ratificados por la República Bolivariana de Venezuela son supletorias en cuanto a los términos no definidos en este artículo. Los cambios que estas definiciones puedan tener en el tiempo, que no sean contempladas en los mencionados instrumentos, serán establecidos por Resolución del Consejo Nacional de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos.

Artículo 12 Atribuciones del Consejo Nacional de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos El Consejo Nacional de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos tendrá las siguientes atribuciones:

9. Promover el desarrollo de la normativa requerida para la instrumentación de la política nacional de gestión integral de riesgos socionaturales y tecnológicos.

14. Aprobar la creación de mecanismos e indicadores que evalúen la gestión de riesgos socionaturales y tecnológicos, emergencias y desastres en los distintos niveles del Poder Público Nacional, Estatal y Municipal.

Artículo 16 Del Gabinete Municipal de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos En cada municipio funcionará un Gabinete Municipal de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos, adscrito a su respectivo Consejo Local de Planificación Pública, con el objeto de dar cumplimiento a las políticas nacional y estatal en la materia y ejecutar las actividades a ella vinculada, en su ámbito territorial. El Alcalde designará la instancia ejecutora de las decisiones de dicho Gabinete.

Artículo 17 Atribuciones del Gabinete Municipal de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos

CAPITULO II MARCO TEÓRICO.

3. *Proponer directrices para la formulación de los planes y programas especiales municipales, locales, comunales y sectoriales, destinados a consolidar las actividades relacionadas con la gestión de riesgos socionaturales y tecnológicos en el desarrollo regional.*

6. *Garantizar la inclusión de la variable riesgo en los instrumentos de planificación de las políticas de desarrollo municipal y comunal.*

Capítulo III De los Órganos Contralores para la Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos

Artículo 22 Funciones. *Sin menoscabo de lo dispuesto en las leyes respectivas, corresponde a los órganos contralores de la gestión integral de riesgos socionaturales y tecnológicos:*

7. *Proponer al órgano competente la declaratoria de zonas de alto riesgo.*

8. *Declarar viviendas, construcciones y zonas de desarrollo agrícola en condiciones de riesgo.*

9. *Capacitar a la comunidad sobre los sistemas de alerta temprana y acciones de autoprotección.*

10. *Promover la divulgación a las comunidades sobre las normas de construcción adecuadas en zonas de riesgo potencial.*

11. *Cualquier otra que sea requerida para la disminución de los escenarios de riesgos.*

Capítulo IV De los Escenarios de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos

Artículo 24 Escenarios de Riesgo *A los efectos de esta Ley, se consideran escenarios de riesgo aquellos espacios físicos en los que convergen procesos naturales o tecnológicos causales de riesgo y actores sociales que contribuyen a potenciar las condiciones de riesgo existentes.*

Artículo 25 Planes Especiales de Reducción de Riesgos *Los entes u organismos responsables de la generación de escenarios de riesgos de índole socionatural o tecnológico, emprenderán de manera expedita acciones a través de planes especiales para caracterizar y disminuir los niveles de vulnerabilidad en los escenarios de riesgos construidos en los distintos ámbitos territoriales, detectados en los diagnósticos respectivos.*

TÍTULO III REGÍSTRO NACIONAL DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RIESGOS SOCIONATURALES Y TECNOLÓGICOS

Artículo 31 Creación *Se crea el Registro Nacional de Información para la Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos. Estará a cargo del Consejo Nacional de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos, por órgano de su Secretaría Técnica y su funcionamiento se regirá por un Reglamento.*

Artículo 32 Objeto *El Registro Nacional de Información para la Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos tiene por objeto actualizar, recopilar, procesar, registrar y sistematizar la información relacionada con amenazas, vulnerabilidades, riesgos, emergencias y desastres, y apoyar al Estado en su divulgación y socialización. La información contenida en el Registro es de carácter público y de interés nacional y la misma debe ser considerada en la toma de decisiones. El órgano rector de la ciencia y tecnología, apoyará al Consejo Nacional de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos en la implementación del Registro.*

INCORPORACIÓN DE LA PREVENCIÓN DE RIESGOS EN LA EDUCACIÓN, CULTURA Y PARTICIPACIÓN POPULAR

Capítulo I De la Educación y la Cultura

Artículo 35 Educación Formal y no Formal *El Estado, a través de sus instituciones, garantizará la incorporación, desarrollo y supervisión de contenidos vinculados a la gestión integral de riesgos socionaturales y tecnológicos en la educación formal, a través de los diferentes planes, programas, proyectos y actividades del Sistema Educativo Nacional, y en la no formal, a través de los diferentes programas de capacitación y de divulgación.*

TÍTULO V DEL FINANCIAMIENTO

Artículo 45 Presupuesto *Todos los órganos y entes del Estado deben incluir en su previsión presupuestaria recursos para la formulación y ejecución de proyectos y actividades dirigidas a dar cumplimiento a la política nacional de gestión integral de riesgos socionaturales y tecnológicos, de conformidad con lo establecido en la presente Ley.*

Artículo 46 Del Financiamiento de Planes y Proyectos *Todos los planes y proyectos de obras de infraestructura deberán considerar los lineamientos y normativas nacionales, dirigidos a evitar o disminuir los niveles de riesgos, como condición para optar al financiamiento de los mismos por parte de cualquier órgano, ente público o privado.*

PLAN DE ORDENACIÓN URBANÍSTICA DEL ÁREA METROPOLITANA DE MÉRIDA – EJIDO – TABAY

Gaceta Oficial, 1º de febrero de 1999, Nº 5.303 Extraordinario

Artículo 25. “La población del Eje Área Metropolitana de Mérida – Ejido - Tabay. Municipios Libertador, Campo Elías, Santos Marquina del Estado Mérida están servidas por el sistema de drenajes, compuesto por los siguientes elementos:

1.Obras de Drenaje: En cuanto los drenajes, es importante resaltar que las pendientes naturales de las terrazas donde se asienta la ciudad de Mérida facilitan el desplazamiento o escorrentía de las aguas pluviales; no obstante, esta ventaja topográfica, es imprescindible la construcción de obras de conducción de drenaje para evitar inundaciones y estancamientos de las aguas.”

Artículo 27. en el Aparte 2 sobre drenajes, establece la “Elaboración del plan maestro de drenaje del Área Metropolitana de Mérida – Ejido – Tabay.”

www.bdigitalula.ve OBJETIVOS DEL DESARROLLO SOSTENIBLE

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, aprobada en septiembre de 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas, establece una visión transformadora hacia la sostenibilidad económica, social y ambiental de los 193 Estados Miembros que la suscribieron (incluida Venezuela) y será la guía de referencia para el trabajo de la institución en pos de esta visión durante los próximos 15 años.

De los 17 objetivos del desarrollo sostenible se hará referencia a los siguientes.

- 7. Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos.*
- 8. Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos.*
- 9. Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.*
- 11 Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.*

El marco legal venezolano se encuentra cónsono con los lineamientos internacionales de sostenibilidad persiguiendo un fin común, el aprovechamiento del recurso para la población presente sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones.

Se puede observar que se dispone de todo el andamiaje legal para propiciar los lineamientos necesarios para la mejora de los sistemas de drenaje urbanos de las ciudades, e incluir la dimensión sostenible en los mismos, logrando de esta manera mejorar el funcionamiento de los sistemas de drenajes actuales.

www.bdigital.ula.ve

www.bdigital.ula.ve

Esta página se ha dejado en blanco intencionalmente



www.bdigital.ula.ve

CAPITULO III MARCO METODOLOGICO

www.bdigital.ula.ve

Esta página se ha dejado en blanco intencionalmente

Tipo de Investigación

Tomando como referencia el objetivo general se determina el tipo de investigación, el cual será proyectiva, que se define según Hurtado (2000) :

“La investigación proyectiva tiene como objetivo diseñar o crear propuestas dirigidas a resolver determinadas situaciones. Los proyectos de arquitectura e ingeniería, el diseño de maquinarias, la creación de programas de intervención social, el diseño de programas de estudio, los inventos, la elaboración de programas informáticos, entre otros, siempre que estén sustentados en un proceso de investigación, son ejemplos de investigación proyectiva. Este tipo de investigación potencia el desarrollo tecnológico.”

En esta investigación se trabajará la relación de causa efecto, considerando que para diseñar una propuesta que permita modificar la situación es necesario primero explicar por qué y cómo ocurre tal situación; de otra manera la propuesta no resultaría viable.

Enfoque de la Investigación

El paradigma sobre el cual se sustentará esta investigación será socio critico definido según Maldonado (2018, pág. 21)

“El paradigma socio critico es una serie de reglas, procedimientos, creencias y presupuestos que se pueden considerar como modelos de acción para la construcción de conocimiento científico. La investigación socio critica toma la idea que la teoría critica es una ciencia social que no es solamente empírica ni solo interpretativa y su contribución se origina de los estudios comunitarios y de la acción participante.”

Se tomará como referencia el conocimiento holístico sobre el tema partiendo del análisis de los resultados medibles interpretándolos con escenarios, que dependiendo de los mismos se podrá variar el resultado mas no el método de análisis

Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación será evolutivo contemporáneo de fuente mixta de caso ya que se desarrollará considerando: la fuente de donde se obtendrá la información, el periodo de tiempo a consultar para obtener la información y la amplitud y organización de los datos.

Fuente: La investigación se desarrollará partiendo del diseño de fuente mixta, como explica Hurtado (2000), recolectando información tanto documental como de campo.

Periodo de tiempo: La investigación será del tipo evolutivo contemporáneo como explica Hurtado (2000), contemporáneo porque el propósito es obtener información de un evento actual y evolutivo ya que se estudia el evento en su proceso de cambio a lo largo del tiempo.

Amplitud y organización de los datos: La investigación será mediante un diseño de caso, como explica Hurtado (2000), estará centrada en el estudio de varios eventos haciendo énfasis en la unidad de estudio como totalidad.

Población y Muestra

La población de referencia será la del Municipio Libertador del Estado Mérida y la muestra los habitantes del AVT-1.

Técnicas e Instrumentos

En función de los objetivos definidos en la presente investigación y el diseño seleccionado se empleará como técnicas para la recolección de información la observación, definida por Hurtado (2000, pág. 430): *“Consiste en captar directamente lo que está ocurriendo con el evento. El investigador debe ser testigo de la ocurrencia del evento y percibirlo a través de los sentidos. No sirve cuando se trata de eventos que ya ocurrieron.”* y la revisión documental definida por Hurtado (op cit) *“...se utiliza cuando*

las unidades de estudio son documentos. También cuando las fuentes son documentos, es decir, cuando información que se requiere ha sido registrada.”

La presente investigación requiere de la observación de las redes de infraestructura para identificar su ubicación real y funcionamiento básico a escala humana, y de la recolección de datos oficiales como capacidades y vida útil de las infraestructuras lo que permitirá cuantificar a futuro información para la toma de decisiones, por lo cual, los instrumentos a utilizar considerando las técnicas serán los siguientes definidos por Hurtado (2000):

✓Técnica de observación:

- Lista de cotejo: Consiste en un listado de aspectos a evaluar, al lado de los cuales se puede calificar (“O” visto bueno, o por ejemplo, una "X" si la valor no es el esperado) un puntaje, una nota o un concepto.

- Guía de observación: permite al observador situarse de manera sistemática en aquello que realmente es objeto de estudio para la investigación; también es el medio que conduce la recolección y obtención de datos e información de un hecho o fenómeno.

- Registro anecdótico: El registro anecdótico es un tipo de instrumento o metodología para anotar la información observada de forma directa. En el anecdotario se pretende describir de la manera más objetiva posible un conjunto de hechos, situaciones y/o fenómenos ocurridos, de forma sorpresiva durante un período de tiempo determinado.

✓Técnica de revisión documental:

- Matriz de registro: Se utiliza para asentar datos obtenidos a través de la medición con otros instrumentos, datos obtenidos de archivos o registros institucionales.

- Matriz de análisis: se basa en un criterio de análisis con el cual es posible interpretar o criticar el evento de estudio descrito en algún documento.

Análisis de datos

Los análisis de datos se realizarán a partir de la técnica cuantitativa, como explica Hurtado (2000): se basa en datos numéricos y pertenecen al campo de la estadística

Validez de los instrumentos.

La validez de los instrumentos se realizará a través del juicio de expertos como explica Hernández, Fernández y Baptista (2010, pág. 201) hace referencia a la validez como “grado en que un instrumento en verdad mide la variable que se quiere medir”.

www.bdigital.ula.ve



CAPITULO IV LOS NUEVOS PARADIGMAS DE LA INFRAESTRUCTURA URBANA.

www.bdigital.ula.ve

Esta página se ha dejado en blanco intencionalmente

La infraestructura de las ciudades: colapso o evolución

Como se dijo anteriormente, la infraestructura de la ciudad garantiza el desarrollo y funcionamiento de la misma en corto mediano y largo plazo, pero una vez que es construida y entra en funcionamiento se olvida por completo su existencia y solo es recordada cuando falla ya que se asume que es autosuficiente y se convierte en un solo elemento junto con la ciudad.

En la actualidad la visión autosuficiente de la infraestructura ha cambiado, ya que la misma disminuye su eficiencia con el pasar del tiempo; en primer lugar, por el desgaste del material propio del uso de la misma y en segundo lugar por el aumento de la población a la que presta servicio, por lo que se puede concluir que toda infraestructura tiene una vida útil determinada.

Cuando esta vida útil llega a su fin inicia el colapso en el funcionamiento de las ciudades, lo que se ve reflejado en un servicio deficiente.

En el escenario actual considerar el reemplazo total de cualquier infraestructura es prácticamente imposible y controlar el crecimiento poblacional también, por lo que la opción más recomendada termina siendo evaluar la manera de alargar la vida útil de los servicios de infraestructura de la ciudad con la finalidad de garantizar la calidad y prestación de los mismos a las generaciones presentes y futuras.

Lo descrito anteriormente, es lo que se conoce como sostenibilidad y sobre esta premisa se desarrollan los nuevos paradigmas de la infraestructura urbana.

Ciudades Inteligentes

Lograr que la infraestructura urbana sea sostenible implica generar procedimientos que permitan optimizar el aprovechamiento de la misma. Actualmente esos procedimientos se basan en la utilización de la tecnología, con lo que se pretende facilitar la cuantificación de recursos disponibles.

Con esta premisa, encontramos la teoría de las ciudades inteligentes (Smart City) definida por el Plan Nacional de Ciudades Inteligentes de España (EOS Iberica, 2022) 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”*

En este escenario las TIC intervienen en todas las infraestructuras urbanas, desde las redes de transporte hasta las tuberías de agua y servicios, pasando por la infraestructura de energía o la gestión de los residuos urbanos, entre muchas otras dimensiones. Al lograr introducir las TIC en las ciudades, estas últimas pueden gestionarse para la eficiencia y el ahorro de recursos. Por ejemplo, los gobiernos locales pueden usar plataformas digitales especializadas para planificar la infraestructura y los servicios basándose en la demanda real, logrando grandes beneficios para la calidad de vida urbana.

Dimensiones de las Ciudades Inteligentes

El tema de las ciudades inteligentes es muy amplio y asociado casi exclusivamente al uso del internet de las cosas. La mayoría de los autores sobre ciudades inteligentes establecen que se puede hablar de estas si cumplen con el desarrollo de una serie de dimensiones para ser consideradas como tal “inteligentes”, definición muy típica de las ciudades Europeas que están siendo desarrolladas sobre este paradigma, sin embargo en América lograr actualizar la concepción de la ciudad convencional a ciudad inteligente de inmediato desde todas las dimensiones resulta prácticamente imposible.

Por lo cual, la actualización se debe desarrollar sobre un plan macro que establezca etapas para lograr migrar todas las dimensiones en un mediano y largo plazo a la era tecnológica, siendo necesario entender que hablar de ciudades inteligentes implica identificar la dimensión y el grado de tecnología que está integrando o se puede integrar a la ciudad para mejorar su funcionamiento.

Se admite que las ciudades pueden considerarse con miras a las Smart City, si poseen algunas de las siguientes dimensiones explicadas por Fernández (2017):

1. Economía inteligente. La economía debe caracterizarse por el aprovechamiento de soluciones innovadoras y adaptación flexible a las condiciones cambiantes. En este aspecto, el concepto se aplica también a industrias “inteligentes”, vinculadas con TIC, así como parques de negocios y parques tecnológicos.

2. Transporte y comunicación (movilidad inteligente). Gracias al sector TIC, la ciudad es una gigantesca red de conexiones de alta velocidad, que une todos los recursos de la ciudad; se admite que tanto el transporte tradicional como la comunicación digital deben basarse en tecnologías avanzadas, utilizadas para racionalizar el aprovechamiento de la infraestructura existente.

3. Medioambiente inteligente. Una ciudad inteligente optimiza el consumo de energía, recurriendo a fuentes renovables de energía, implementando acciones para reducir emisiones nocivas para el medio natural. Su gestión de recursos se basa en el concepto de desarrollo sostenible. Las actuaciones a favor del medio natural, requieren un elevado nivel de educación y concienciación medioambiental.

4. Personas inteligentes. En una ciudad inteligente hay una sociedad que aprende; los cambios de la ciudad deben ser promovidos por sus habitantes que, contando con el apoyo técnico adecuado, pueden emprender acciones que previenen el consumo excesivo de energía, la contaminación de medio ambiente y contribuir a la mejora de la calidad de vida.

5. Calidad de vida inteligente. Un entorno respetuoso y amigable, con amplio acceso a servicios públicos, infraestructura técnica y social, elevado nivel de seguridad y adecuada oferta cultural y de ocio, así como, el cuidado por el medioambiente y los espacios verdes.

6. Gestión y administración inteligente (gobernanza inteligente). El desarrollo requiere la creación de un adecuado sistema de gestión y administración de la ciudad, implementación de procedimientos que requieran la cooperación de las autoridades y demás usuarios de la ciudad, aprovechando las tecnologías más innovadoras en el funcionamiento de la ciudad. Este aspecto incluye una administración pública inteligente, capacidad de creación de conocimientos y su uso en la práctica.

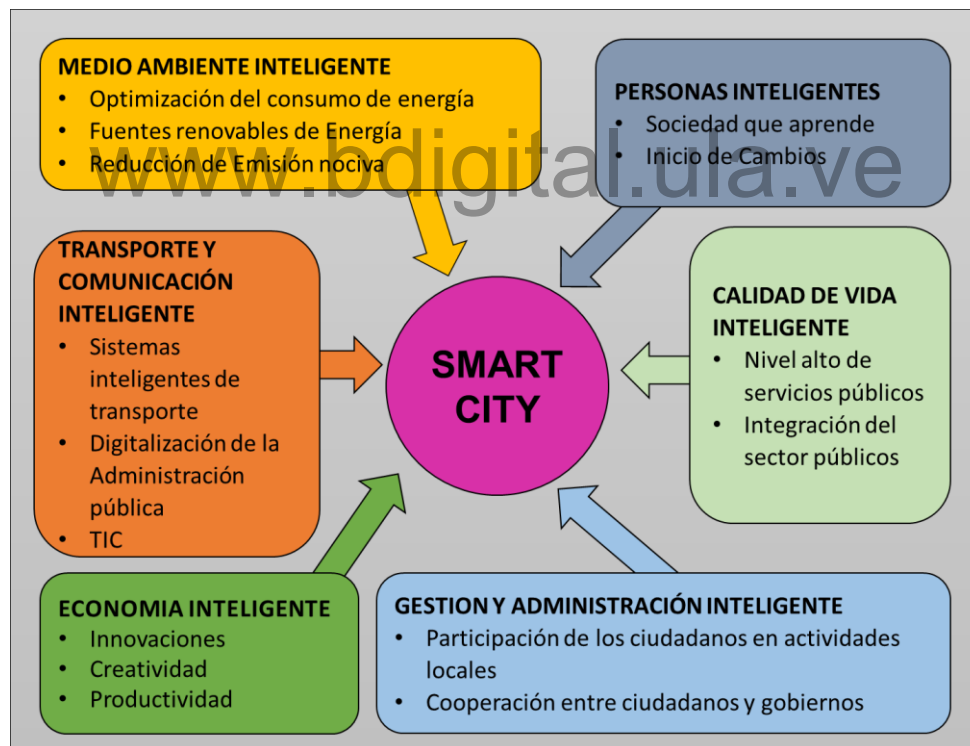


Imagen 16 Las dimensiones de la ciudad inteligente
Fuente Elaboración propia 2022 con información de Sikora Fernández

Niveles de Ciudad Inteligente

El nivel de inteligencia de la ciudad dependerá de las dimensiones que tenga implementadas y el grado de avance tecnológico utilizado para lograrlo, tomando como referencia el concepto inicial de ciudades inteligentes, que involucra las áreas económica, social y ambiental, una ciudad inteligente en máximo desarrollo será aquella que logre el equilibrio entre esas tres áreas, respetando los principios de sostenibilidad.

Como se puede observar en el Gráfico 1 a mayor integración de sistemas urbanos y avance tecnológico, se está en un nivel más alto de la smart city, sugiriendo que para iniciar en el mundo de las ciudades inteligentes se debe intervenir en la dimensión del sistema lo cual afecta directamente al ámbito económico, interviniendo inicialmente las bases de información y comunicación.

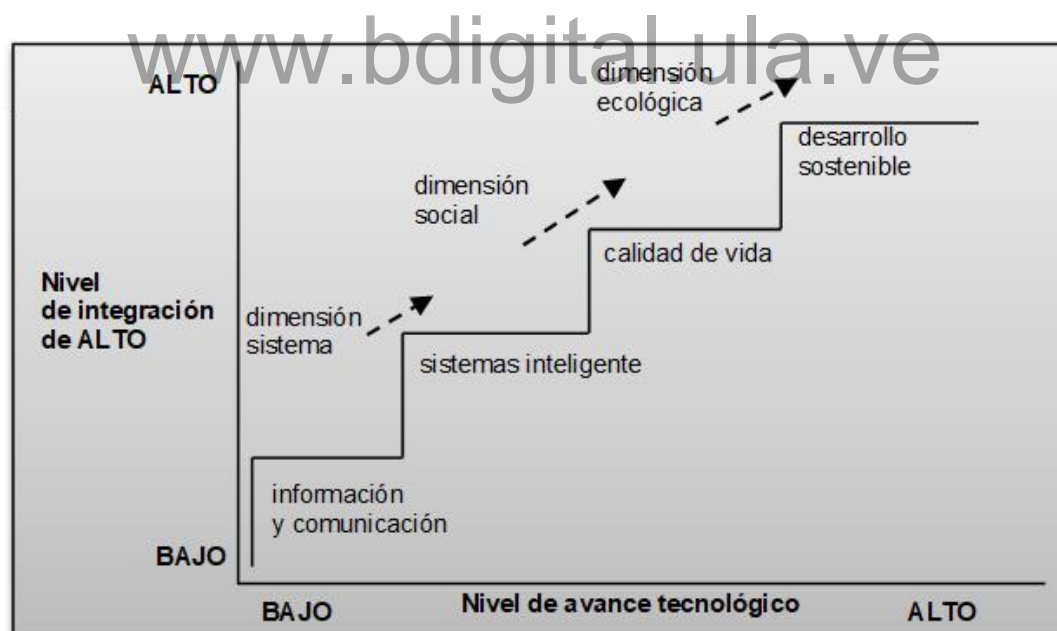


Gráfico 1 Grados de la inteligencia urbana
Fuente: Sikora Fernández 2017

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 las 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.

•**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.

•**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).

Este tipo de modelado es mucho más complejo porque requiere la inversión en tecnología sobre la red física de drenaje, además de mano de obra capacitada, es la meta en las ciudades con miras a las smart city, pero a largo plazo.

En cualquiera de los casos se incluye un módulo fundamental en el software, que es el de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) ya que logrando cuantificar entradas, canalizaciones y desechos de aguas de lluvia de la ciudad, se puede mediante la utilización de los SUDS en el modelado, mejorar los resultados, logrando garantizar una mejor canalización o utilización de este recurso.

Con la utilización del software de modelado y la inclusión en este de los SUDS, mediante la teoría del metabolismo urbano se reemplaza el actual paradigma lineal de tomar-hacer-desechar por uno circular que cierra el ciclo entre la producción del recurso, la transformación, el consumo y el desecho.

En última instancia lo que se pretende mediante la aplicación de este paradigma es evitar el colapso de la infraestructura durante un evento crítico, mejorar el servicio actual de la infraestructura y garantizar su funcionamiento a largo plazo, evitando el reemplazo total de la misma.

Software para modelado

Considerando que el modelado puede ser activo o pasivo, y que los recursos económicos y logísticos que requiere cada uno de ellos son distintos, requiriendo mayor inversión el modelo activo. Esta investigación se apoya sobre un sistema de modelado pasivo que requiere inicialmente hacer un levantamiento de información de campo, obtención de datos pluviométricos y poblacionales oficiales y la utilización de sistemas de información geográfico, con lo cual se tienen los insumos para alimentar el software.

Los softwares para modelado de sistemas de drenajes son de diversas índoles, con licencia pública o privadas y desarrollados con énfasis en módulos específicos, su uso dependerá de la necesidad a satisfacer y los recursos disponibles.

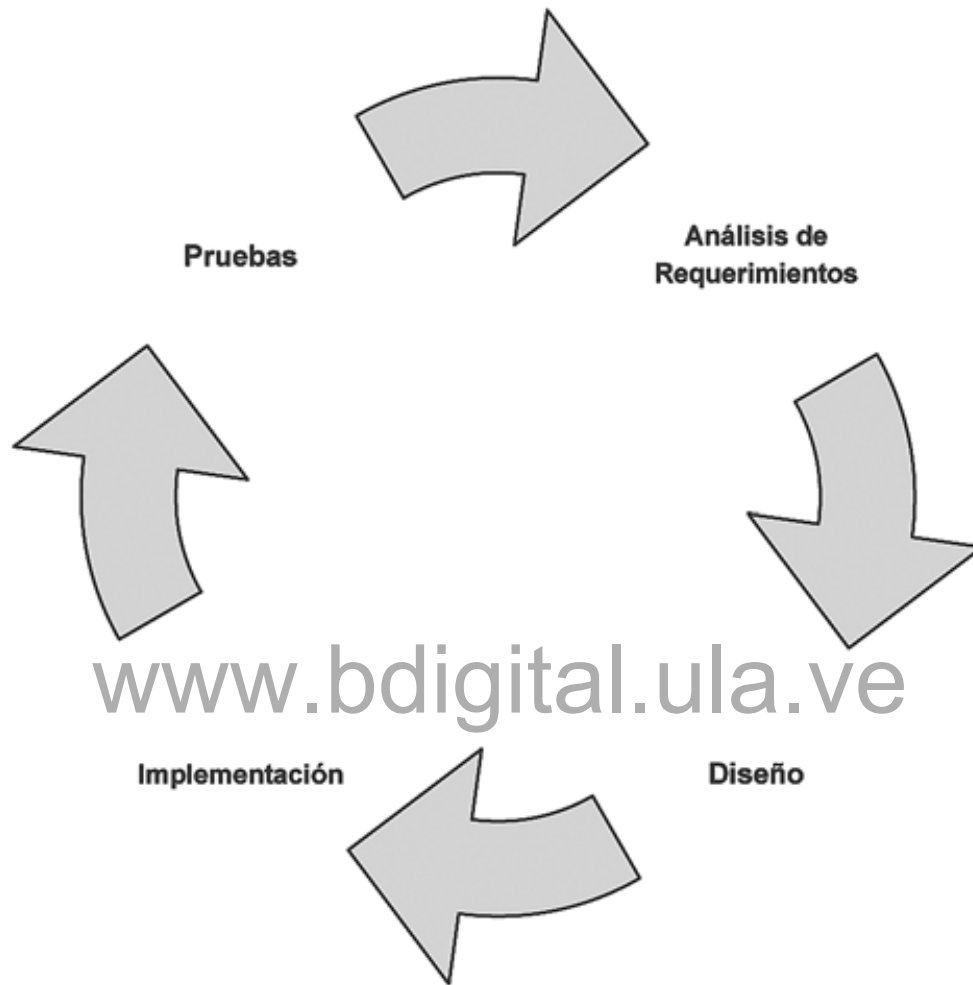
Esta investigación usa para demostrar la teoría planteada, un modelo de gestión de aguas pluviales de software libre con trayectoria reconocida en el mercado americano, de fácil utilización con un ambiente intuitivo y un módulo de SUDS. el mismo se denomina SWMM de la EPA (Storm Water Management Model de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos)

Storm Water Management Model. EPA

La Versión utilizada es la 5.2 que incluye el módulo de SUDS, la descripción del mismo es la siguiente:

El modelo de gestión de aguas pluviales (SWMM) de la EPA 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 lluvias, lo que se convierte en un plus para canalizar el alcance los objetivos de sostenibilidad en las ciudades.



CAPITULO V INSTRUMENTO METODOLÓGICO ESCALABLE

www.bdigital.ula.ve

Esta página se ha dejado en blanco intencionalmente

Como determinar los efectos de los drenajes sobre el área urbana.

La dinámica actual de las ciudades consiste en lo siguiente: con el pasar de los años continua el crecimiento poblacional, por lo cual se tiene el aumento de las áreas construidas de la ciudad, pero se continua 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 continua 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 los sistemas de drenaje, de la ciudad para plantear medidas reales que permitan alargar la vida útil de la red de drenaje de la ciudad. Ver Imagen 17.

Antes de analizar el sistema de drenajes 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 de drenajes.

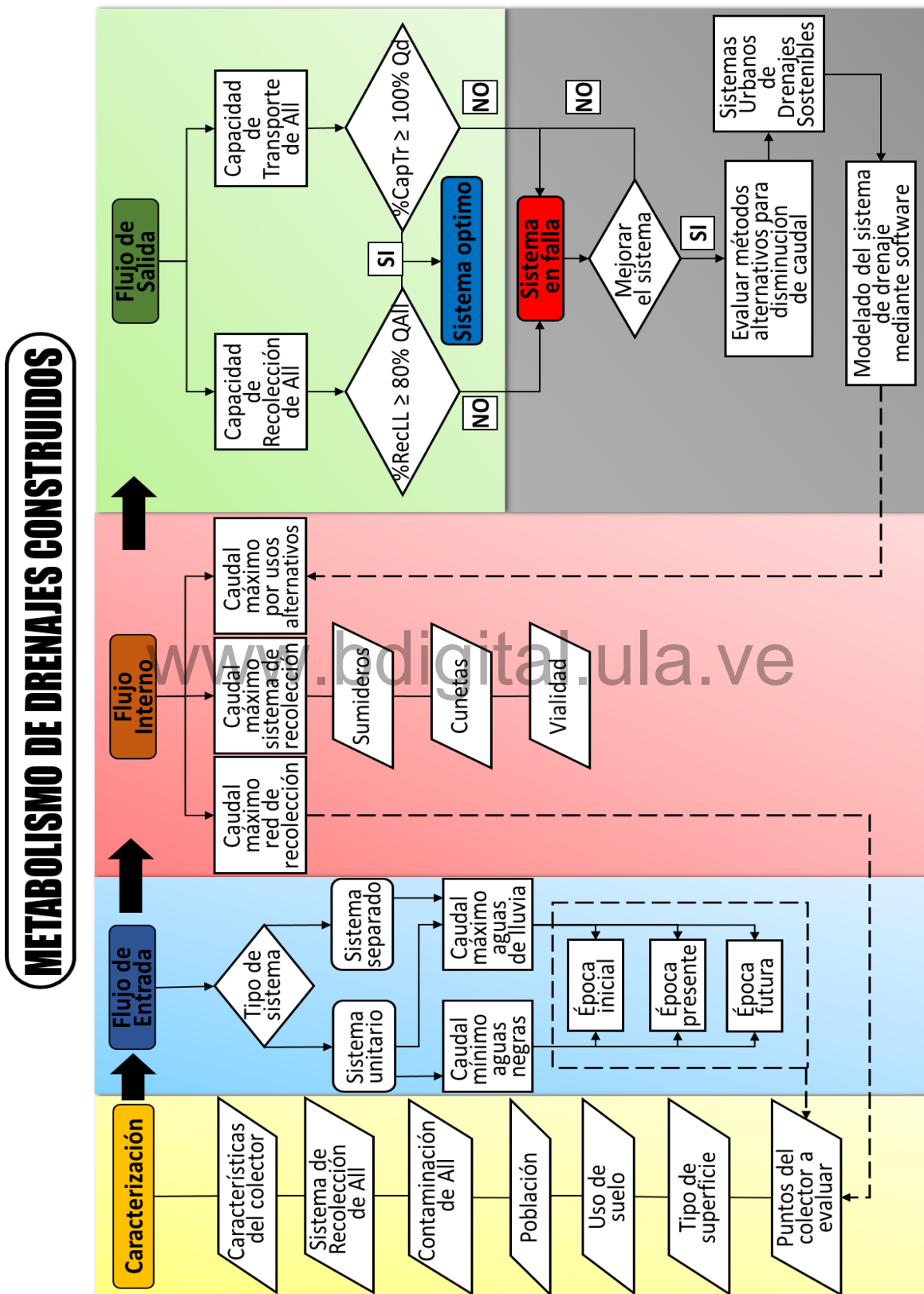


Imagen 17 Diagrama metodológico para el estudio de Sistemas de drenaje Urbano
 Fuente: Elaboración propia 2022

Caracterización del sector de estudio.

Características del Colector.

Tipo de colector²: se debe identificar el tipo de colector que presta servicio al sector de estudio:

Colector unitario: Lleva el caudal combinado de aguas negras y el de aguas de lluvia.

Colector separativo: lleva exclusivamente el caudal generado por aguas de lluvias.

Recorrido del colector: considerando que se va a evaluar el funcionamiento del colector ya existente, es necesario identificar el recorrido que realiza el mismo a lo largo del área de servicio.

Superficie del Colector: Identificar el área asociada al colector de servicio.

Diámetro del colector: como se evalúa un colector ya construido se deben identificar los diámetros de diseño para posteriormente evaluarlo con la demanda actual.

Vida útil del colector: se debe identificar cual fue el periodo de tiempo considerado para el correcto funcionamiento del colector, de desconocer la información exacta se tomará como referencia la recomendación de la norma INOS de 50 años.

Vulnerabilidades del sector asociado al colector: implica reconocer e identificar los riesgos presentes en el sector de estudio que pueden afectar el comportamiento del colector.

² **Las Normas generales para el proyecto de alcantarillado** (G.E. 5.318 de 6 de abril de 1999) en su artículo 2. 2 establece que el sistema a emplear en un sistema de drenaje deberá ser separado al menos que se justifique plenamente la utilización de otro tipo de sistema. Posteriormente en el artículo 6 cuando se define el gasto (caudal) del proyecto, hace referencia al sistema de aguas negras ($Q_{max}=Q_{an}$), sistema unitario ($Q_{min}=Q_{an}$ y $Q_{max}=Q_{ALL}$), y sistema de aguas de lluvia ($Q_{max}=Q_{ALL}$). Dejando claro que sistema separado es el que transporta exclusivamente An o ALL

Años de operatividad de colector: corresponde al tiempo de servicio que tenga el colector.

Sistema de recolección de aguas de lluvia.

Se debe identificar cuáles son los elementos utilizados para canalizar el caudal de aguas de lluvia: Sumideros de ventana, sumideros de rejilla y cunetas al igual que cantidades, área de servicio, dimensiones y condiciones de funcionamiento de los mismos.

Contaminación de aguas de lluvia.

Aunque la presente investigación no estudia los niveles de contaminación del agua es necesario determinar en general como es la calidad de la misma con la finalidad de considerar medidas generales que permitan desarrollar su estudio a futuro.

www.bdigital.ula.ve

Población.

Población inicial de diseño: es necesario realizar un análisis retrospectivo tomando como fecha de partida la construcción del colector, para lo cual se deberán considerar los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadísticas para la fecha respectiva.

Población Presente: Se determina la población a la cual presta servicio el colector en la época presente considerada esta como el tiempo al final del diseño de la vida útil del colector, se deberán considerar los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística.

Población Futura: Se estima un tiempo futuro para el cual se desea garantizar el funcionamiento y mejoramiento del sistema de drenaje y se obtienen las proyecciones del Instituto Nacional de Estadísticas para esa fecha.

Uso de suelo asociado al colector.

Se debe realizar el levantamiento de cada uso asociado al sector de estudio y caracterizar la superficie ocupada por cada uno de esos usos. Se recomienda utilizar la agrupación presentada por la norma INOS. (ver Tabla 4)

Tabla 4 Zonificación de uso de suelo

Zonificación
Comercial en el centro de la localidad
Comercial en otra ubicación
Residencial Unifamiliar
Residencial Multifamiliar separadas
Residencial Multifamiliar agrupadas
Residencias suburbanas
Zona industrial
Parques y cementerios
Parques y juegos

Fuente: Norma INOS 1999

Tipo de superficie asociada al colector.

Se debe agrupar la superficie ocupada por tipo de cobertura como recomienda la norma INOS. (Ver Tabla 5)

Tabla 5 Tipo de superficie

Características de la superficie
Pavimento de concreto
Pavimento de asfalto
Pavimento de ladrillos
Tejados y azoteas
Patios pavimentados
Caminos de grava
Jardines y zonas verdes
Praderas

Fuente: Norma INOS 1999

Puntos a evaluar en el colector.

Considerando que los colectores de drenaje urbano suelen tener largos recorridos, se determina el espacio a evaluar y sobre esa superficie se identifican el inicio y fin del colector para esa área, considerando estos puntos como

demostrativos del comportamiento del colector en el sector. Se debe identificar para cada punto: longitud diámetro y elevación.

Metabolismo de los drenajes urbanos

La Evaluación del sistema de drenaje se desarrollará sobre los puntos elegidos y considerando los tres momentos identificados inicio-presente y futuro, para determinar el comportamiento de la red.

El metabolismo en los sistemas de drenaje urbano implica identificar y cuantificar 3 etapas en el sistema:

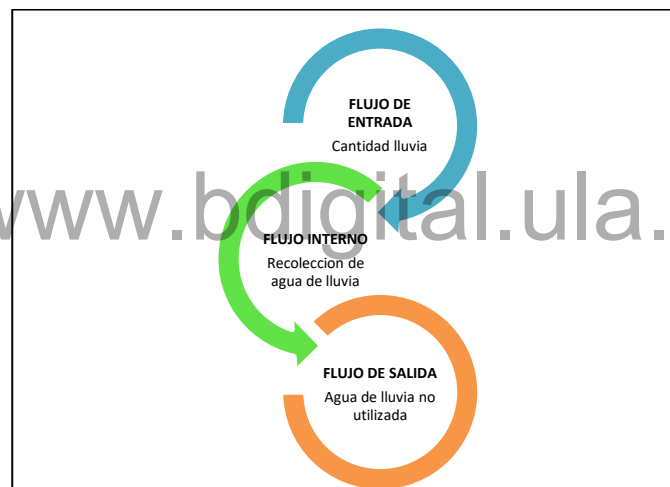


Imagen 18 Metabolismo de los Drenajes urbanos
Fuente: Elaboración propia 2022

Flujo de Entrada al sistema

Consiste en identificar la cantidad de caudal que se genera en el sector de servicio y que teóricamente es el que deberá recolectar el sistema de drenaje. Dependiendo de la naturaleza del mismo, unitario o separativo, el caudal será exclusivo de aguas de lluvia o deberá incluirse el de aguas negras. (ver Tabla 6)

CAPITULO V INSTRUMENTO METODOLÓGICO ESCALABLE

Tabla 6 Tipo de sistema de drenaje

UNITARIO		SEPARATIVO
Caudal mínimo	Caudal máximo	Caudal de aguas de lluvia
Caudal de aguas negras	Caudal de aguas de lluvia	
$Q_{an}=80\% AP+ AI$	$Q_{all}=C*i*A$	$Q_{all}=C*I*A$
l/s	l/s	l/s
Qan: Caudal aguas negras. Ap: Agua Proveniente del acueducto. AI: Agua de infiltración.		Qall: Caudal aguas de lluvia. C: Coeficiente de escorrentía. I: Intensidad. A: Área.

Fuente: Norma INOS 1999

Caudal mínimo de aguas negras

El aporte constante que recibe un colector unitario proviene de las aguas residuales que genera la población, las cuales según la norma INOS suele ser aproximadamente un 80% del gasto promedio diario anual proveniente del acueducto, producto del uso residencial, comercial, industrial e institucional, considerando adicionalmente las aguas de infiltración y la demanda a futuro en 50 años que es el periodo recomendado de diseño para el colector.

Tabla 7 Caudal de diseño colector aguas negras

Aportes		Formula	Unidad	Caudal
Aguas Provenientes del acueducto	Aguas residuales domiciliarias	$Q_{max} A.N.=Q_{med} A.P.*K*R$	l/d	$\Sigma =$ Caudal mínimo
	Aguas residuales industriales	Entre 1,5 y 3 l/s/ha bruta *R	l/s	
	Aguas servidas uso comercial	$A_{com}*\text{dotación comercial} *R$	l/d	
	Aguas servidas uso institucional	$A_{inst}*\text{dotación institucional} *R$	l/d	
Aguas de infiltración		$20000*I/d/km$ de colector	l/d	

Fuente: Norma INOS 1999

1.1.Aguas residuales domiciliarias:

El caudal máximo de aguas residuales domiciliarias se determina considerando el caudal medio de agua potable, el factor de reserva producto del aumento de la población en el periodo de diseño (vida útil) del colector y el coeficiente del gasto de reingreso.

1.1.1.Caudal medio de agua potable: capacidad promedio diario anual del acueducto, producto de la población para el periodo inicial de diseño por el consumo

CAPITULO V

INSTRUMENTO METODOLÓGICO ESCALABLE

de agua de cada habitante que se determina según la norma de acueductos INOS a razón de 500l/d por persona, pudiendo ser inferior este dato si se conoce su referencia técnica.

1.1.2.**Coefficiente K:** Su valor se determina en función de la población futura de la zona y sus valores son:

Tabla 8 Factor K

Población	Valor
Hasta 20.000 habitantes	3,00
de 20.001 a 75.000 habitantes	2,25
de 75.001 a 200.000 habitantes	2,00
de 200.001 a 500.000	1,60
Mayor de 500.000 habitantes	1,50

Fuente: Norma INOS 1999

1.1.3.**Coefficiente R:** es el coeficiente de reingreso se traduce como la cantidad de agua potable que una vez utilizada es ingresada al sistema de aguas negras su valor recomendado según la norma INOS es de 0.8.

Aguas residuales industriales.

Deberá identificarse el tipo de industria, y la cantidad que genera cada una de ellas de no conocerse dicha información se determinará a razón de 1,5 l/s/ha bruta y 3,00 l/s/ha bruta considerando el área industrial y coeficiente del gasto de reingreso.

Aguas servidas uso comercial.

Se determina conociendo la superficie destinada a área comercial multiplicado por la dotación diaria de cada actividad y coeficiente del gasto de reingreso. La dotación diaria se toma como valor único el promedio de la suma de las actividades comerciales, establecidas en la norma sanitaria para proyecto, construcción, reparación reforma y mantenimiento de edificaciones.

Aguas servidas uso institucional.

Se determina conociendo la superficie destinada a área institucional multiplicado por la dotación diaria de cada actividad y coeficiente del gasto de reingreso. La dotación diaria se toma como valor único el promedio de la suma de las actividades institucionales, establecidas en la norma sanitaria para proyecto, construcción, reparación reforma y mantenimiento de edificaciones.

Aguas de infiltración.

Son el resultado de las deficiencias en las conexiones del colector, porosidad en el material de la tubería entre otros, la norma INOS establece que las mismas se calcularan a razón de 20000*l/d/km de colector.

Caudal de aguas de lluvia o caudal máximo.

Si la superficie es menor a 500 ha la norma INOS recomienda determinar el caudal de aguas de lluvia (Q) utilizando el método racional.

$$Q_{all}=C*i*A$$

Q_{all}: Caudal aguas de lluvia

C: Coeficiente de escorrentía

I: Intensidad

A: Área

Unidad: L/s

“El método considera la intensidad de lluvias, para una duración igual al tiempo de concentración, ya que se estima que habrá un incremento de caudal a medida que se incrementa el área, puesto que la disminución en intensidad con el tiempo es compensado con el mayor incremento de área. Cuando toda el área ha contribuido, ésta permanece constante, pero habrá disminución de intensidad a mayor tiempo, y por tanto el gasto disminuiría.” (Arocha, cloacas y drenajes, 1983).

Coeficiente de escorrentía (C).

Tomando como referencia la normas e instructivos para el proyecto de alcantarillados (1999), establecen que el coeficiente de escorrentía (C) será determinado considerando el uso del suelo del sector a estudiar (ver Tabla 9) al igual que la distribución de la superficie (ver Tabla 10) y que dependiendo de las características del proyecto se podrá considerar un coeficiente de escorrentía único, producto del promedio de esas características.

CAPITULO V

INSTRUMENTO METODOLÓGICO ESCALABLE

Tabla 9 Coeficiente de escorrentía por zona

Características de la superficie	Coef de escorrentía
Pavimento de concreto	0.70 a 0.95
Pavimento de asfalto	0.70 a 0.95
Pavimento de ladrillos	0.70 a 0.95
Tejados y azoteas	0.70 a 0.95
Patios pavimentados	0.85
Caminos de grava	0.30
Jardines y zonas verdes	0.30
Praderas	0.20

Fuente: Norma INOS 1999

Tabla 10 Coeficiente de escorrentía por uso

Uso	Coef de escorrentía
Comercial en el centro de la localidad	0.70 a 0.95
Comercial en otra ubicación	0.50 a 0.70
Residencial Unifamiliar	0.30 a 0.50
Residencial Multifamiliar separadas	0.40 a 0.60
Residencial Multifamiliar agrupadas	0.60 a 0.75
Residencias suburbanas	0.25 a 0.40
Zona industrial	0.50 a 0.80
Parques y cementerios	0.10 a 0.25
PARQUES y juegos	0.20 a 0.35

Fuente: Norma INOS 1999

Un coeficiente cercano a 0, indica un nivel alto de absorción de los niveles de agua por parte del suelo y un nivel cercano al 1 indica una superficie prácticamente impermeable.

Intensidad.

Hace referencia a la magnitud de una lluvia expresada en milímetros por hora x ha, para el diseño de colectores la norma INOS recomienda una duración determinada de 5 minutos y una frecuencia específica de 10 años. Para la determinación de la intensidad se recomienda la utilización de las curvas IDF (intensidad-duración y frecuencia) dadas por el ente oficial.

Área.

Superficie en hectáreas a la cual está asociado el colector.

Módulo de Drenaje.

Se define como la cantidad de precipitación por hectárea.

$$Md = Qll/A$$

Md: Modulo de drenaje (l/s * ha)

Qll: Caudal de agua de lluvia (l/s)

A: Área (ha)

Caudal de aguas de lluvia por subcuencas.

Considerando que se evalúa un sistema de drenaje ya existente se debe identificar el área de servicio asociada a cada sumidero al igual que el caudal asociado, cantidad de sumideros, ancho y largo de vía, para determinar el caudal de cada subcuenca

$$Q_{sc} = A_{sc} * Md$$

QSc: Caudal de sub cuenca (l/s)

Asc: Área subcuenca (ha)

Md: Modulo de drenaje (l/s * ha)

Tiempo de concentración.

El tiempo que dura el viaje de una gota de agua desde el punto más remoto de la cuenca hasta el sitio en consideración y se determina mediante la siguiente formula.

$$T_c = 0,0195 \left[\frac{L^3}{H} \right]^{0,385}$$

L: longitud del tramo (m)

H: Diferencia de cota entre los extremos (m)

Flujo interno en el sector.

La segunda fase del metabolismo del drenaje urbano, implica identificar como se distribuye el agua de lluvia en el sector de estudio para cuantificar la cantidad que es utilizada o canalizada en el sector y poder identificar el exceso de agua de lluvia, se evalúan dos opciones: canalización y uso alternativo.

Sistema de Recolección.

Evaluación diámetro de tubería.

Conociendo el diámetro existente en el colector se evalúa la capacidad de transporte del mismo para lo cual se establecen los siguientes criterios:

Si se desconoce la pendiente del colector se asume como pendiente referencial inicial la pendiente topográfica y como pendiente máxima 12% esto permitirá tener un rango estimado del caudal que es capaz de transportar el colector actual en los puntos de estudio.

Para el cálculo del caudal de las tuberías se asumen que las mismas trabajan a un 80% de su capacidad, como canal abierto, es decir, sin presión por lo cual para el cálculo se utilizarán las siguientes formulas:

Para realiza el estimado de caudal:

$$Q = V * A$$

Q=Caudal (l/s) V=Velocidad (m/s) A=Área (m²)

Para determinar la velocidad se usará la ecuación de Manning:

$$V = \frac{R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n}$$

V=Velocidad (m/s)

R= Radio hidráulico (área de sección transversal útil/perímetro húmedo) (m²)

S= Pendiente (Δz / longitud) (m)

N= Coeficiente de Manning definido según el material.

Quedando la fórmula de caudal de la siguiente manera:

$$Q = \frac{R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n} * A$$

Sistema de recolección.

Para el pre dimensionado y evaluación de los sumideros presentes en el sector de estudio se utilizará el método de cálculo propuesto por Arocha (1983).

Caudal de sumideros.

El caudal de sumidero se define como el caudal de interceptación, que es un porcentaje del caudal máximo que debe transportar la vía, para lo cual se considera el ancho mojado, pendiente longitudinal y pendiente transversal.

$$Q_{mv} = 0.00175 * \frac{Z}{n} * S l^{\frac{1}{2}} * Y^{\frac{2}{3}}$$

Qmv: Caudal máximo en vía (l/s)

Z: Inverso pendiente transversal (1/Sx) (m)

Sl: Pendiente longitudinal (m)

Y: Profundidad en cm (depende del ancho mojado)

El porcentaje de interceptación: determinado por los ábacos del INOS, depende del ancho del sumidero y ancho de depresión del mismo, los sumideros normados por el INOS son de ancho 1,5m ,3m, y 4,5m y depresiones de 0,30m, 0,60m y 0,90m.

www.bdigital.ula.ve

Qs: Caudal de Sumidero (l/s)

Qmv: Caudal máximo en vía (l/s)

%Int: Porcentaje de interceptación

Caudal de cunetas y vialidad.

Es el caudal producto del paso del agua por zanjas longitudinales ubicadas a ambos lados de la vía o en su defecto en un solo lado, de no existir, la vialidad puede ser considerada una gran cuneta.

Para su cálculo se considera como canal abierto y su capacidad se determina aplicando la ecuación de caudal considerando la ecuación de Manning

$$Q = \frac{R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n} * A$$

En el caso de la vialidad la norma INOS recomienda un ancho mojado ideal de 1,5 metros, esto garantiza comodidad de circulación para el peatón.

Como caso extremo, la vía en su totalidad puede ser considerada húmeda, máxima canalización disponible para aguas de lluvia, presentando inconvenientes para el peatón e incomodidad para el tráfico vehicular.

Se determina la capacidad de la vialidad para ambos escenarios el ideal y el máximo.

Uso alternativo de las aguas de lluvia.

Implica identificar si en el sector de estudio las aguas de lluvia tienen usos alternativos de ser así se debe identificar el caudal captado por tales usos.

Flujo de salida de aguas de lluvia.

La finalidad del sistema de drenaje es canalizar la mayor parte del caudal de aguas de lluvia, se considera un sistema de drenaje optimo si se canaliza correctamente por lo menos el 80%, o más del agua de lluvia, es decir, tiene un déficit del 20% menos.

Capacidad de recolección de aguas de lluvia.

Conocida la demanda máxima de lluvia y la capacidad de los elementos de captación por cuenca, se determinará de la siguiente manera:

$$\% \text{RecLL} = 100 * \left(1 - \frac{Q_e}{Q_c}\right)$$

%RecLL: % recolección de caudal de lluvia

Qe: Caudal de entrada por sub cuenca (l/s)

Qc: Caudal captado (l/s)

Caudal de entrada: corresponde al caudal de lluvia general del sector de estudio y distribuido por subcuencas.

Caudal captado: corresponde al caudal que es transportado por los elementos de recolección. Es la sumatoria de los caudales canalizados por

sumideros, cunetas, vialidad y elementos alternativos para la recolección de aguas de lluvia.

Conocido el % de captación se puede identificar qué sectores del área de estudio tienen déficit de drenaje.

% de captación <0 déficit de captación.

% de captación >0 tiene capacidad de captación de sobra.

Capacidad de transporte de aguas de lluvia.

Por criterios de diseño.

Conocido la demanda actual (Max. y min.) se compara con el caudal de diseño en la entrada al sistema en los puntos y momentos establecidos en la primera etapa (etapa de entrada) lo que permitirá identificar el caudal que es capaz de soportar la red de drenaje.

www.bdigital.ula.ve

$$\%CtrD = 100 - \frac{Qt * 100}{Qd}$$

%CtrD: % capacidad de transporte diseño disponible

Qt: Caudal demandado época actual (l/s)

Qd: Caudal de diseño (l/s)

Conocido el % de captación por diseño (capacidad de diseño) se puede identificar si el colector en una primera etapa está en capacidad o no.

% de transporte + capacidad de transporte por diseño disponible.

% de transporte - recibe más que el caudal de diseño.

Por capacidad de la tubería.

Conocido el rango de capacidad de la tubería existente (Max. y min.) se compara con el caudal de entrada al sistema en los puntos y momentos establecidos en la primera etapa (etapa de entrada) para la época actual lo que permitirá

identificar el caudal que es capaz de canalizar la red de drenaje.

$$\%CtrT = 100 - \frac{Qd * 100}{Qt}$$

%CtrT: % capacidad de transporte tubería

Qt: Caudal capaz de transportar la tubería (l/s)

Qd: Caudal demandado época actual (l/s)

Conocido el % de captación por transporte (capacidad de tuberías) se puede identificar si el colector está en capacidad o no.

% de transporte + tiene capacidad de transporte disponible.

% de transporte - recibe más que la capacidad de la tubería.

De cumplirse la capacidad de recolección y transporte se tendrá un sistema de drenaje optimo, por el contrario, se tendrá un sistema en falla.

www.bdigital.ula.ve

Mejora del sistema de drenaje

Al tener un sistema considerado en falla es necesario evaluar la mejora del sistema de drenaje la cual puede darse desde el punto de vista de infraestructura dura: modificación de tuberías y mejora de la red, medidas casi imposible de aplicar en cualquier ciudad porque implica la intervención total de la misma, o evaluando infraestructura blanda, que implica generar elementos de captación o mitigación de caudales. Y es allí donde se evalúan métodos alternativos que permitan esta clase de intervención.

Implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles.

En esta etapa del método se busca igualar al máximo las condiciones naturales (no construido) del sector de estudio, para lo cual existen diversas medidas que retrasan y/o disminuyen el caudal que pasa por el sector.

Tales medidas pueden ser no estructurales o estructurales, las medidas no estructurales van dirigidas a métodos preventivos o de concientización, y las estructurales a generar elementos constructivos que permitan la recolección y redistribución de los caudales de lluvia, al igual que el tratamiento posterior de la misma, entre los elementos constructivos se tienen los siguientes³:

- Cubiertas Vegetadas.
- Superficies Permeables.
- Franjas Filtrantes.
- Pozos y Zanjas de Infiltración.
- Drenes Filtrantes o Franceses.
- Cunetas Verdes.
- Depósitos de Infiltración.
- Depósitos de Detención En Superficie.

³ Ver pg. 28 para explicación detallada de cada SUDS

- Depósitos de Detención Enterrados.
- Estanques de Retención.
- Humedales.

La finalidad de la implementación de estos métodos es lograr la disminución del caudal y los niveles de contaminación del agua de lluvia, considerando que tales sistemas se desean implementar sobre superficies ya construidas, se debe cuantificar el impacto de tales medidas sobre el sector de estudio antes de ejecutarlas, por lo cual, la mejor manera de lograrlo será mediante la utilización de software de modelado, que permite simular las condiciones actuales del sector y evaluar cual sería el comportamiento del mismo al implementar cualquiera de las opciones de SUDS.

Modelado del sistema de drenaje urbano mediante software.

Software a utilizar.

En la presente investigación se utilizará el software SWMM versión 5.2 de la EPA, software libre de fácil acceso, con amplia aprobación y reconocida trayectoria en el área de estudios de drenajes urbanos.

Datos del modelo.

Los datos del modelo serán los obtenidos en el paso de caracterización para el sector de estudio.

Información pluviométrica.

Se consideran los datos pluviométricos de estaciones cercanas al sector de estudio con antigüedad ideal por lo menos de 25 años, con lo cual se construyen los hietogramas de diseño para una lluvia de una duración determinada de 5 minutos y una frecuencia específica de 10 años.

Considerando que la información pluviométrica no se encuentra 100% actualizada y que la aparición del cambio climático ha hecho que las condiciones pluviométricas sean impredecibles, por lo cual una lluvia extrema que podía esperarse cada 25 años ahora su periodo de retorno sea menor, se recomienda tomar la condición del hietograma de diseño para un periodo de 10 años, pero con los datos que se generan para 25 años.

Método para determinación de caudal de lluvia.

En el análisis inicial se utiliza el método racional, sin embargo, este método arroja resultados elevados motivado a que solo considera el coeficiente de escorrentía y una magnitud de lluvia constante durante todo el periodo de lluvia. adicionalmente implementar otros métodos en la etapa anterior resulta imposible ya que los cálculos necesarios son muy complejos y se requiere de la utilización de software especializado, considerando lo descrito anteriormente para el modelado se utilizará el método de número de curva el cual *“es un parámetro hidrológico que permite caracterizar el potencial de escorrentía en una cuenca hidrográfica y se determina a partir de algunas características físicas del territorio como el tipo, la densidad y el tratamiento de las coberturas, así como por el grupo hidrológico de suelo”* (Díaz Carvajal & Mercado Fernández, 2017).

Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles.

La finalidad del modelo es identificar el impacto que tendrá la implementación de un SUDS sobre el sector de estudio por lo cual se define el o los SUDS a utilizar y sobre qué sectores se implementaran con la finalidad de simular y evaluar los resultados finales.

Para finalizar, se comparan los resultados obtenidos en el modelo con los resultados de entrada al sistema, y se verifica nuevamente la capacidad de transporte y captación, determinando la incidencia que tiene la utilización de SUDS sobre el sistema de drenaje existente en el sector de estudio

www.bdigital.ula.ve

Esta página se ha dejado en blanco intencionalmente.



CAPITULO VI EL AREA DE VALOR TRADICIONAL DE MÉRIDA Y SU INFRAESTRUCTURA URBANA

www.bdigital.ula.ve

Esta página se ha dejado en blanco intencionalmente

La ciudad de Mérida

La ciudad de Mérida capital del estado Mérida y del Municipio Libertador, se encuentra desarrollada sobre tres franjas, la principal, la meseta de Tatuy ubicada entre los ríos Chama y Albarregas, una vez que las condiciones de desarrollo de esta meseta en relación a la ciudad fundacional llegaron al límite se inicia el desarrollo de la segunda franja al noreste de la meseta, lo que se conoce cómo la otra banda que se encuentra al otro lado del Albarregas y la tercera franja al suroeste de la meseta correspondiente al otro margen del río Chama, contando actualmente la ciudad de Mérida con una extensión de 5940 hectáreas incluidos los ríos Chama y Albarregas, según poligonal urbana del Plan de Ordenación Urbanística del Área Metropolitana de Mérida-Ejido-Tabay (1999).

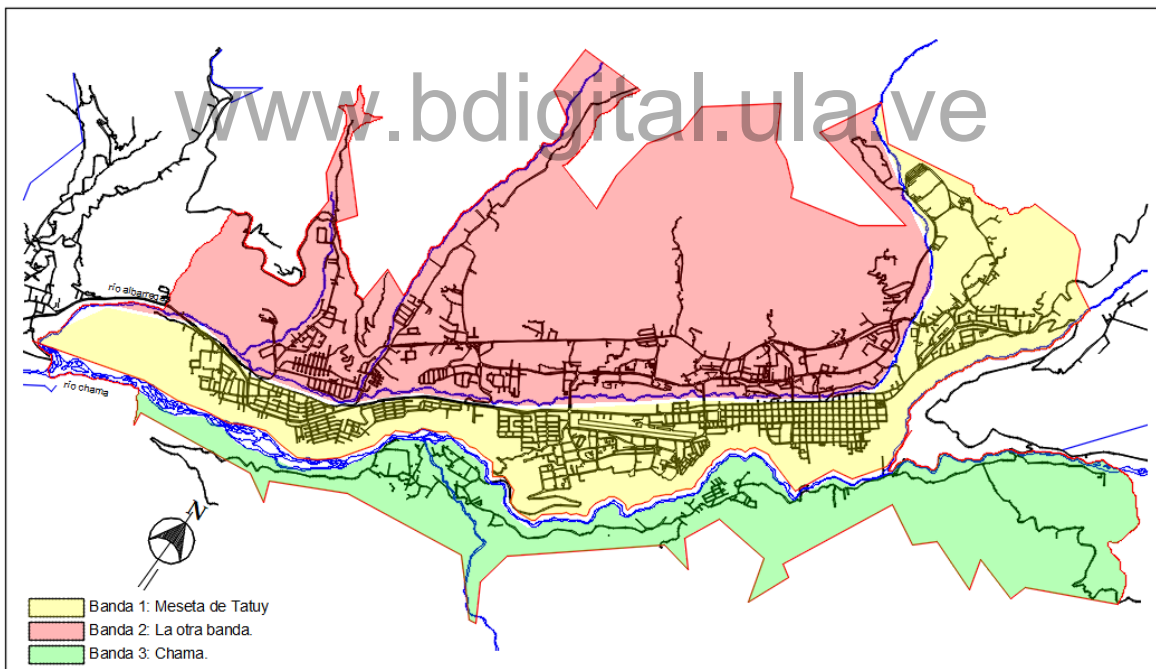


Imagen 19 Extensión de la ciudad de Mérida según poligonal Urbana
Fuente: Elaboración propia con base en el plano del POU 1999

El Área de Valor Tradicional de Mérida (AVT-1)

Según el plan de ordenación urbanística en su artículo 17, AVT-1 es un área de acción especial existente, denominada área de valor tradicional de Mérida:

“Corresponde a los núcleos tradicionales de la ciudad de Mérida y sus áreas adyacentes los cuales conjugan su carácter de área de valor histórico urbano arquitectónico con el centro empleador y sedes de actividades residenciales, comerciales, administrativas, gubernamentales, culturales y religiosas de nivel metropolitano”.

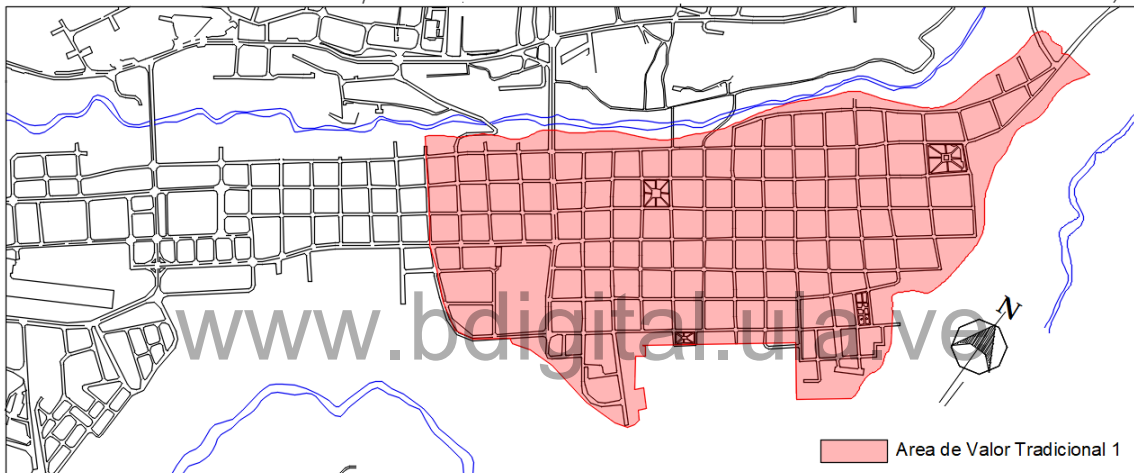


Imagen 20 Límite del AVT-1 según el Plan de Ordenación Urbanística
Fuente Elaboración propia con base en el plano del POU 1999

Para el desarrollo de esta investigación se considera el AVT-1 y su prolongación hasta el sector Glorias Patrias.

Mérida y su Infraestructura de Servicios Públicos.

La ciudad de Mérida se asienta sobre la meseta de Tatuy 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 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.

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.



Imagen 21 Desarrollo de la ciudad de Mérida
Fuente: Elaboración propia con base en el plano del POU 1999

CAPITULO VI

EL AVT DE MÉRIDA Y SU INFRAESTRUCTURA URBANA

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 Tatuy, 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 para sectores específicos de la ciudad.

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.

Situación Actual del Sistema de Aguas Servidas de la ciudad de Mérida

Red de alcantarillado sanitario.

Según el informe MERBAR⁴ (Tahal, 1998) El 80% de la ciudad de Mérida cuenta con alcantarillado sanitario, estructurado de la siguiente manera (ver imagen 22): 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.

⁴ El proyector MERBAR fue una iniciativa para la elaboración del plan Maestro de Agua Potable y Saneamiento para las ciudades de **Mérida** y **Barinas** en el cual uno de sus productos fue la elaboración del proyecto para optimizar el acueducto de la ciudad de Mérida, elaborado en el año 1997 por la empresa Tahal Cosulting Engineers LTD, posteriormente en una segunda etapa en 1998 esta empresa elaboraría el informe diagnóstico para la elaboración de los Planes Maestros de abastecimiento de agua y alcantarillado sanitario al cual se hace referencia en esta investigación

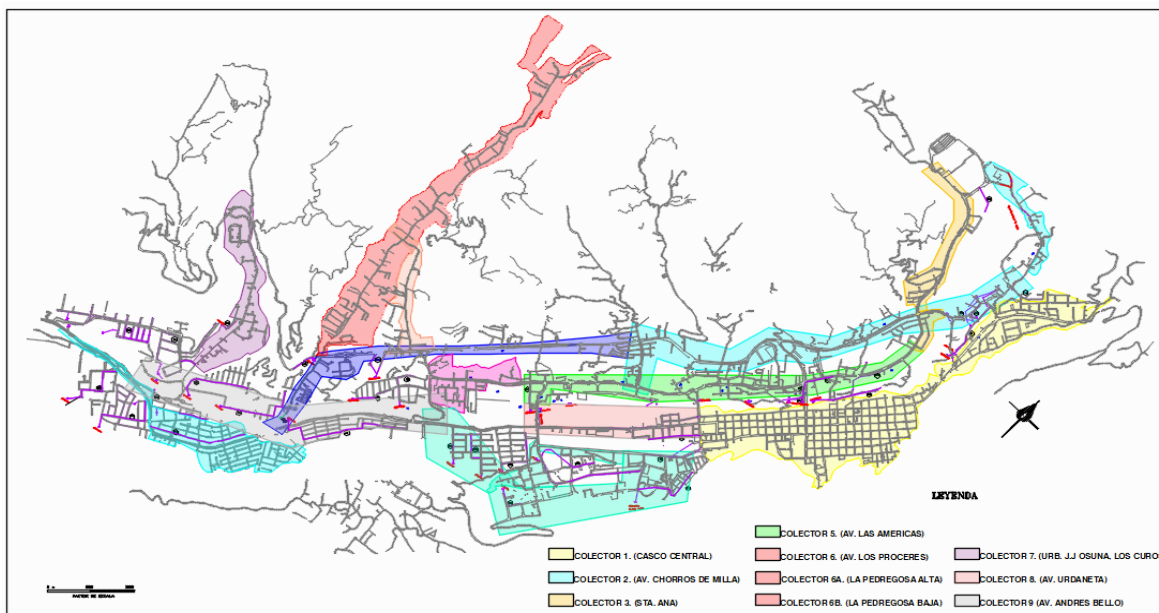


Imagen 22 Sistema de alcantarillado sanitario de la ciudad de Mérida

Fuente: Elaboración propia con información de Hidrológica de la Cordillera Andina y Tahal 1998

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.

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 Imagen 23) 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 pluviales 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 Albaregas.

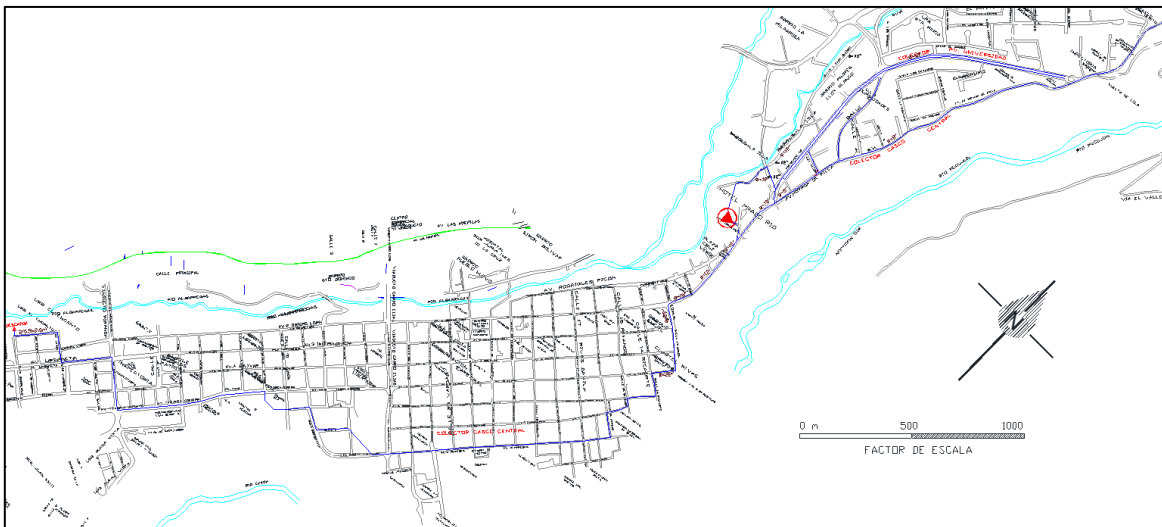


Imagen 23 Colector Casco Central (1-1A)

Fuente: Elaboración propia con información de Hidrológica de la Cordillera Andina y Tahal 1998

Vulnerabilidades del sector asociado al colector.

En la zona de estudio, para la ciudad de Mérida “*el riesgo sísmico es alto, debido por un lado a la amenaza de deslizamiento de taludes, particularmente sobre el borde norte de la meseta de la ciudad y por el otro a la gran cantidad de edificaciones vulnerables*” (Castillo Gandica & Perez Maldonado, 2016), lo que complementa el informe “**zonificación de niveles de susceptibilidad de la ciudad de Mérida desde la perspectiva hidrogeomorfológica**” (CESAP, 2018) el cual obtiene resultados producto del cruce de los siguientes mapas temáticos: rangos de pendientes, unidades litológicas, posiciones geomorfológicas y cobertura vegetal – uso de la tierra, obteniéndose que el área objeto de estudio, tiene varios niveles de susceptibilidad que se describen a continuación:

- Eje urbano Vuelta de Lola - Hoyada de Milla - Milla. Se corresponde con una franja de 2630 metros de longitud, emplazada en el borde del escarpe de aproximadamente 150 m. de desnivel. El sector arranca desde la redoma conocida como la Vuelta de Lola (Pastelitos La Vuelta) con Plaza 5 Águilas Blancas, pasando por la Plaza Charles Chaplin, hasta las Plazas Las Cinco Repúblicas y La Columna, frente a los Cuarteles Justo Briceño y Rivas Dávila, localizados en la intercepción de la avenida 5 Zerpa con calle 13 Colón. A lo

*largo de este recorrido resalta el sector Hoyada de Milla y los pasajes Muñoz, Miraflores y Calderón, los cuales en su parte más cercanos al borde del escarpe muy inclinado de aproximadamente 150 m. de desnivel, se consideran como **zonas inestables y de muy alta susceptibilidad**, ante la ocurrencia de movimientos sísmicos y eventos hidrometeorológicos de magnitud y concentración considerables.*

En este sector del Municipio Libertador, Parroquia Milla, se reconoce la vulnerabilidad de las siguientes edificaciones: Escuela Vicente Dávila, Jardín de Infancia Vicente Dávila, Instalaciones del Ministerio del Poder Popular para el Tránsito y Transporte Terrestre, Estación de Servicios PDV (frente a la Plaza 5 Águilas Blancas) y un conjunto de edificaciones con uso mixto, residencial unifamiliar y multifamiliar, con establecimientos comerciales de tipo auto repuestos, carpinterías, talleres mecánicos, venta de víveres, ferreterías, servicios de salud, un gimnasio, entre otros.

*- Sectores **Milla hasta Belén**, circunscriptos a la parroquia Arias. Se trata de una franja colindante al borde del escarpe erosivo derecho del río Mucujún con confluencia con el río Chama, en una **posición geomorfológica muy desfavorable** ante la ocurrencia de eventos adversos hidrogeomorfológicos y sísmicos. El sector tiene una longitud de 850 metros.*

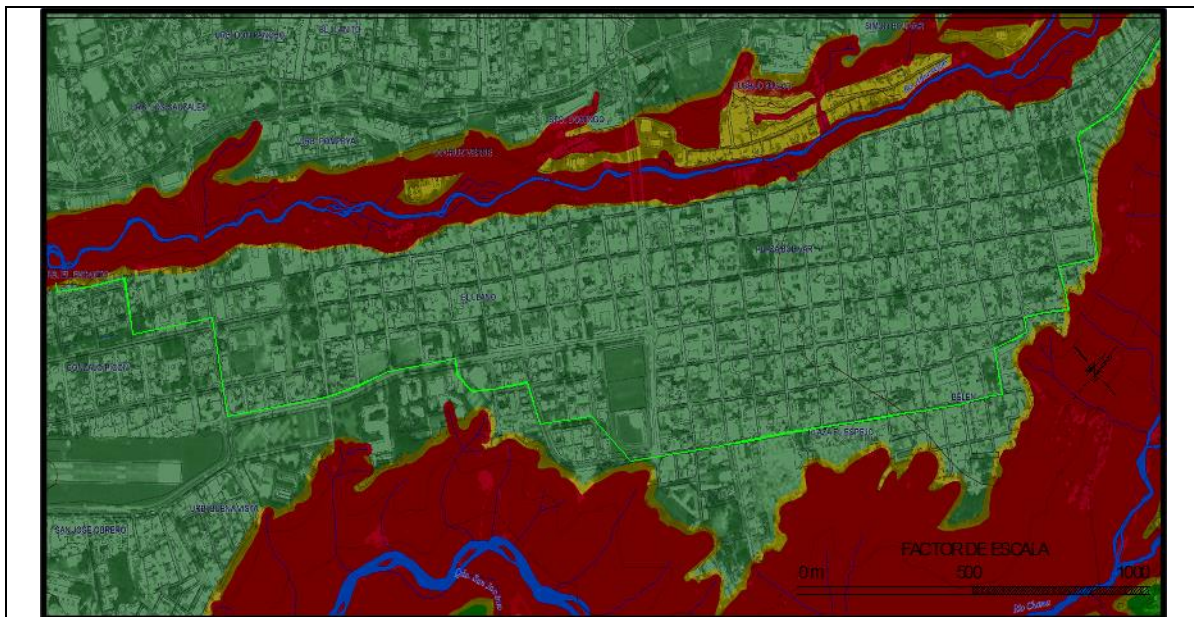
*De estos sectores de la ciudad se reconoce la **muy alta vulnerabilidad del sector conocido como Cuesta de Belén** con escarpes erosivos y cortes artificiales o taludes todos muy inclinados ($> 45^\circ$) y sobre terrenos de origen sedimentario muy inestables en una pared que posee un desnivel de 165 metros y que ya han sido afectadas en varias ocasiones por la activación de movimientos de masa de tipo deslizamientos y derrumbes (desprendimientos - caída de rocas).*

Para su localización geográfica se reconocen de manera específica en este sector, las partes altas de las avenidas: 6 Rodríguez Suarez, 7 Maldonado y 8 Paredes, la parte baja de las calles: 14 Ricaurte, 15 Piñango, 17 Rivas Dávila y los pasajes Sánchez y Quintero en Belén próximos al Parque de Los Poetas.

*- Sector comprendido entre La Lengüeta de Mérida en Belén hasta la Plaza Las Heroínas y Seminario San Buenaventura. Su recorrido surca la Plaza El Espejo, la Iglesia Nuestra Señora del Espejo, algunos servicios turísticos y el Sistema Teleférico de Mérida Mukumbarí. Se identifican como **subsectores críticos las áreas pobladas sin el retiro prudencial al borde del escarpe del río Chama**, el cual, en este tramo de 1800 metros de longitud, alcanza un desnivel promedio de 185 metros y cuyas construcciones de uso predominantemente residencial, no cumplen con un retiro mínimo hacia el vacío, caracterizado por una pared muy inclinada que supera en varias secciones los 80° de verticalidad. Se identifican en campo y sobre el material cartográfico la parte final del pasaje San Cristóbal, la parte más baja próximas al escarpe de las calles: 18 Fernández Peña, 19 Cerrada, 20 Federación, 21 Lazo, 22 Canónigo Uzcátegui, 23 Vargas, 24 Rangel, 25 Ayacucho y 26 Vicente Campo Elías.*

En este tramo que bordea la parte con mayor desnivel entre el casco histórico de la ciudad y el río Chama, Durante el primer semestre del año 2018 en mayor proporción durante los meses de mayo y junio se vieron afectadas 5 viviendas de las 13 que existen en el pasaje San Cristóbal, debido a las fuertes precipitaciones presentaron colapso parcial de varios de sus anexos o espacios. Se incluyen en este análisis las viviendas construidas en el borde y pared del escarpe erosivo del sector reconocido como Cuesta del Teleférico.

- Tramo de 615 metros de longitud comprendido entre el Paseo de Las Ferias en la avenida Domingo Peña hasta el final de la calle 31 Junin. Se considera un sector muy vulnerable ante la ocurrencia de desprendimientos o colapsos de secciones del escarpe erosivo, el cual en este tramo presenta extrema verticalidad, alcanzando en ocasiones 90° de inclinación, una diferencia altitudinal de 195 metros desde el borde hasta el pié del escarpe y cuyos antecedentes recientes de movimientos de masa, lo describen como de muy alta susceptibilidad. Las afectaciones a una instalación hotelera y viviendas construidas sin retiro prudencial al final de la calle 31 Junin, han generado la necesidad de estabilizar secciones del hotel Gran Balcón y el desalojo periódico de 7 viviendas las cuales para la fecha se encuentran habitadas.



Niveles de susceptibilidad	Características generales
Muy Alta	Relieve extremadamente inclinado $> 45^\circ$ ($> 100\%$) fuertes condicionantes para la generación de movimientos de masa. Material suelo en escarpes o taludes, áreas de depositación y contactos entre depósito aluvial y vertientes-escarpes. Baja calidad relativa de las rocas aflorantes. Presencia de movimientos de masa activos. Restricciones asociadas a borde de escarpes muy inclinados e inestables. Usos de la tierra y vegetación que intervienen significativamente en la dinámica de los procesos geomorfológicos y la consiguiente ocurrencia de movimientos de masa. Vertientes y escarpes en zonas de falla. Alto potencial de ocurrencia de movimientos de masa durante eventos hidrometeorológicos intensos y prolongados. Cauces de ríos y quebradas con comportamiento hídrico torrencial. Muy fuertes restricciones para su ocupación.
Moderada	Relieve de pendiente moderadamente inclinada. Comprendidos entre $15 - 30^\circ$ ($27 - 58\%$). Predominio de roca blanda con intercalaciones de roca resistente. Moderados procesos geomorfológicos en ocasiones controlados por la vegetación. Posiciones geomorfológicas intermedias, medianamente retiradas de bordes de escarpes o taludes. Usos de la tierra y vegetación que no intervienen representativamente en la dinámica de los procesos hidromorfológicos. Restricciones considerables para su ocupación que ameritan evaluación geotécnica.
Muy Baja	Relieve plano con gradientes inferiores a 5° ($< 9\%$) pero sobre posiciones geomorfológicas altas o superiores dentro de la terraza de la ciudad de Mérida y sobre secciones sobresalientes de los abanicos aluviales. Zonas bastante retiradas de: los bordes de escarpes o taludes, de las superficies de ruptura y de vertientes con pendiente abrupta, así como distantes a zonas de contacto coluvio aluvial con presencia de movimientos de masa activos. Material sedimentario dentro de la Terraza de la ciudad de Mérida en posiciones geomorfológicas altas y estables. Usos urbanos concentrados. Vegetación arbórea muy abundante, sin intervención y alta condición forrajera y protectora a los agentes meteorológicos desencadenantes. Áreas sin restricciones generales para la ocupación.

Imagen 24 Niveles de susceptibilidad desde la perspectiva hidromorfológica
Fuente (CESAP, 2018)

La caracterización anterior en conjunto con la imagen 24 permite definir que el colector principal está ubicado sobre un área de riesgo moderado a muy alto, tanto por condiciones sísmicas como hidro geomorfológicas, siendo el tramo más crítico el que va aproximadamente desde la altura de la clínica Santa Fé, en la prolongación de la Av. 2, sector Milla, pasando por la calle 13 hasta el Cuartel en la Av. 5 y de allí en adelante zigzagueando hasta la Plaza de Belén.

También se deja claro que en el pasaje San Cristóbal sector Belén, se han presentado problemas con viviendas producto de las lluvias, es importante recordar que la condición topográfica de la meseta hace que las aguas de lluvia de la parte norte de la ciudad lleguen a esa zona y como la captación a lo largo del recorrido es deficiente el volumen de aguas de lluvia presente en este sector es considerable, en conjunto con la condición de borde que se ve sobresaturado por las aguas de infiltración.

Años de operatividad del colector.

Anteriormente se dijo que la construcción del colector principal, el cual es objeto de estudio, se inició en la década de los 40, sin embargo, la construcción de la red de recolección de aguas se inicia mucho antes a mediados de 1920.

Para 1925 aun no existía una red de alcantarillado como lo expresa (Calderón trejo, 2008) :

“Ante el latente peligro sanitario, se reitera la importancia del agua, pues de su calidad depende la salud de la población; en consecuencia, los acueductos, acequias o arroyos de abastecimiento a la población son vigilados con rigor y se obliga a los habitantes terraplenar fosos y depresiones para evitar aguas estancadas. En las poblaciones más grandes como Mérida, en las que por falta de albañales fuera preciso arrojar las inmundicias de las habitaciones a las aguas servidas que atravesaban la población, se permitía hacerlo en las calles menos concurridas entre las 12 de la noche y las 4 de la mañana (Asamblea Legislativa del estado Mérida, 1925, art. 420), situación que delata que, todavía en 1925, la ciudad carecía

de un moderno sistema de cloacas para la canalización de las aguas servidas. En Mérida, todo dueño de casa debía garantizar el aseo de las calles del frente y costado de su casa y solares, con multa entre uno y cien bolívares por desacato.”

Para 1926 se tiene evidencia fotográfica, que demuestra el inicio de la construcción del sistema de cloacas de la ciudad como lo muestra la siguiente imagen:



Imagen 25 Instalación de cloacas en la Calle Independencia y Plaza Bolívar. Mérida. Año 1926
Fuente: <https://pbs.twimg.com/media/C3nyhUnWEAEWJpl.jpg>

Para el año 1929 en otro sector de casco central (presumo av. 4 entre calles 18 y 19 frente al antiguo hospital) se tiene otra evidencia fotográfica: “Entre finales de los 20 e inicios de los 30 del s. XX, en Mérida, el Gral. Dávila, empotró las cloacas en el poblado.” (Instagram: @asieramerida)



Imagen 26 Empotramiento de cloacas en Mérida 1929.

Fuente: Cortesía de la Familia Montilla. <https://acortar.link/9JUfRm>

La evidencia deja ver que, para el presente año 2022, la antigüedad de la red de recolección de agua (cloacas) es de 96 años y la del colector principal de 82 años. Es importante acotar que la vida útil estimada de este tipo de infraestructura es de 50 años por lo cual ya se encuentra en su estado limite, pero gracias a la calidad y tipo de materiales usados en su momento, la misma ha estado operativa prácticamente el doble del tiempo estimado.

Red de recolección de aguas de lluvia.

La red de recolección de aguas de lluvia se encuentra asociada al sistema de alcantarillado de la ciudad por funcionar en gran parte como sistema unitario. El sector de estudio de la red corresponde al área que cubre el colector Casco Central, en el mismo se encuentran 63 sumideros de ventanas y 20 sumideros de rejilla de los cuales 61 sumideros de ventana y 14 sumideros de rejilla se encuentran ubicados entre el sector Plaza Chaplin y Glorias Patrias, como se puede observar en la Imagen 27.

La distribución del sistema de drenaje en el sector de estudio se da mediante la ubicación de sumideros de ventana alineados transversalmente entre la Av. 2 y Av. 8, separados, longitudinalmente iniciando en la calle 14 y luego al sureste a 500 mts de distancia para ser ubicada otra línea transversal de sumideros en la calle 19, de allí en adelante hacia el sureste cada 350 mts ubicándose en la calle 27 y calle 30, de aquí en adelante los sumideros aparecen de manera escalonada Av. 3 con calle 32 Av. 4 con calle 33 y Av. 5 (Don Tulio) con calle 35.

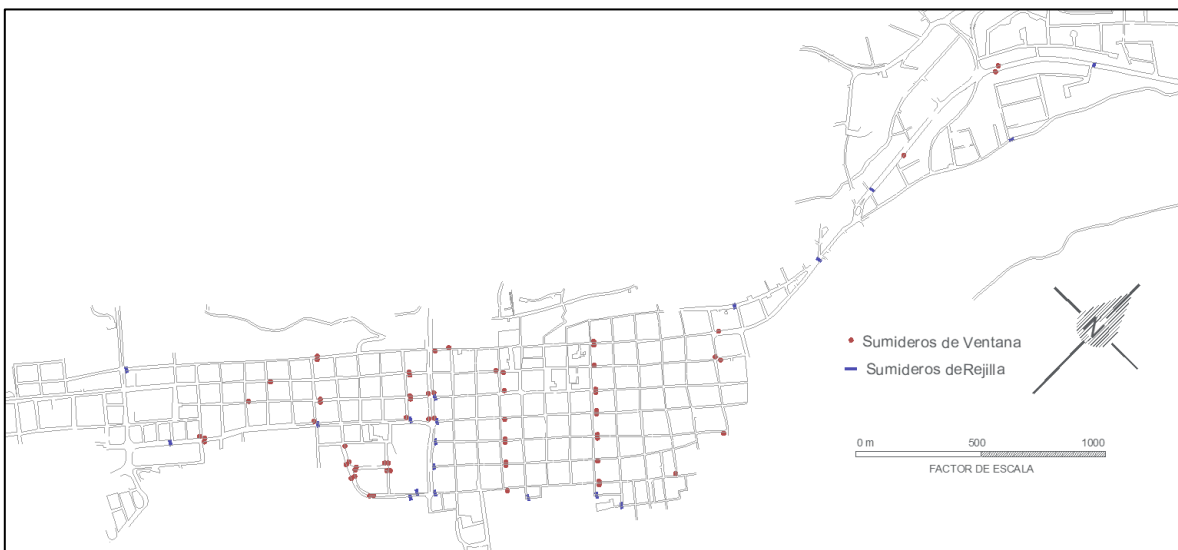


Imagen 27 Sumideros Asociados a Colector Casco Central (1-1A)
Fuente: Elaboración propia diciembre 2021

Posteriormente se tienen particularidades como la de la calle 26 que se amplía producto de la construcción del viaducto apareciendo nuevos elementos de

drenaje, principalmente sumideros de rejillas alineados transversalmente entre la Av. 2 y Av. 8 con excepción de la Av. 3 que no posee sumidero de rejilla, luego el sector paseo de la feria, desarrollo más reciente en el cual se encuentran ubicados sumideros de rejilla y ventana con distancias aproximadas de 100 mts.

El estado actual de los sumideros, (ver Tabla 11), se corresponde con elementos obstruidos por sedimento, a excepción de los ubicados en la Av. 6 entre calle 14 y 15 los cuales se encuentran despejados y se puede oír el pasar del agua por el mismo, en el caso de la Av.1 entre la calle 14 y 20 carece de alguna infraestructura de drenaje por lo cual las aguas que por esta vía discurren van a dar directamente al talud del Albarregas.

www.bdigital.ula.ve

CAPITULO VI

EL AVT DE MÉRIDA Y SU INFRAESTRUCTURA URBANA

Tabla 11 Evidencia fotográfica del estado de los sumideros de Casco Central

		
Av. 6 calle 14	Av. 1 Calle 13	Av. 6 calle 26
		
Paseo de la Feria	Av. 2 Calle 19	Av. 2 Calle 26
		
Viaducto c 26 Av. 4	Av. 4 Calle 27	Av. Don tulio Calle 34
		
Av. Don tulio Calle 32	Av. 4 calle 26	Av. 5 calle 23
		
Viaducto c 26 Av. 4	Av. 3 calle 14	Av.6 calle 23

Fuente: Elaboración propia 2021

Características de subcuencas asociadas a sumideros.

Para determinar la sub cuenca o área tributaria de cada sumidero se parte del trabajo de campo realizado ubicando los sumideros existentes y considerando la condición topográfica del sector de estudio se obtiene una distribución que se puede observar en la Imagen 28, Tabla 12 y Tabla 13.

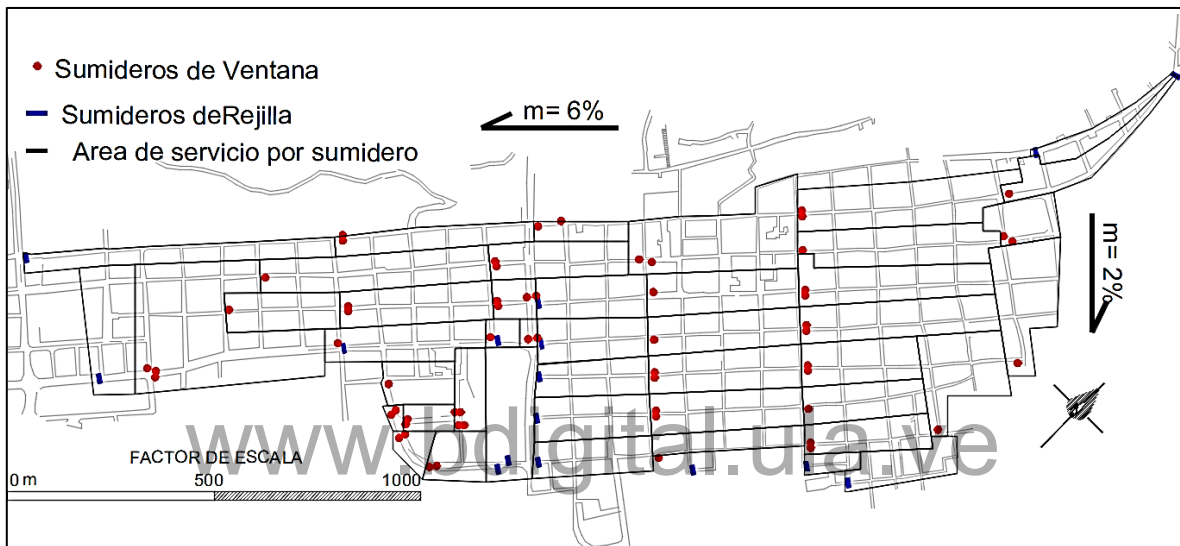


Imagen 28 Área tributaria de cada sumidero existente en AVT
Fuente: Elaboración propia 2022

Se asume la distribución de un caudal uniforme, pendiente longitudinal de 6% y transversal de 2%.

CAPITULO VI EL AVT DE MÉRIDA Y SU INFRAESTRUCTURA URBANA

Tabla 12 Características de servicio de cada sumidero en el sector AVT

#	Ubicación sumidero cantidad	C	Área (ha)	Área lado vía (ha)		Longitud vía (m)	
			Total	Este	Oeste	Ancho	Largo
1	Av. 1 calle 13	1	1,32	0,80	0,00	13,00	394,03
2	Av. 2 calle 14	1	2,27	0,00	1,45	13,99	543,32
3	Av. 3 calle 14	2	1,73	0,10	1,51	9,34	144,94
4	Av.6 calle 14	2	4,01	2,79	0,99	7,08	330,63
5	Av.8 calle 16	1	3,60	2,99	0,43	7,20	247,39
6	Av. 2 calle19	2	5,41	2,05	3,01	6,80	499,25
7	Av. 3 calle 19	1	4,25	1,73	2,18	7,05	492,32
8	Av. 4 calle 19	2	4,12	1,36	2,44	7,03	471,54
9	Av. 5 calle 19	2	4,26	1,35	2,58	6,99	481,92
10	Av. 6 calle 19	2	2,96	0,99	1,76	7,00	286,53
11	Av. 7 calle 19	1	2,61	1,31	1,09	7,00	295,79
12	Av. 8 calle 19	2	2,38	0,72	1,47	6,10	305,93
13	Belén calle 19	1	0,62	0,29	0,24	6,00	137,30
14	Belén calle 18	1	2,17	0,44	1,50	6,00	358,75
15	Av. 3 calle 23	2	6,33	1,33	4,72	7,00	410,29
16	Av. 4 calle 23	1	3,66	1,46	1,77	11,00	367,34
17	Av. 5 calle 23	1	3,36	1,41	1,68	7,30	368,31
18	Av. 6 calle 23	2	3,63	1,58	1,79	7,00	370,45
19	Av. 7 calle23	2	3,60	1,75	1,58	7,30	370,17
20	Av. 8 calle 23	1	1,76	0,00	1,54	6,00	367,40
21	Av. 2 calle 26	2	1,12	0,92	0,00	7,00	228,90
22	Av. 3 calle 27	2	2,88	1,06	1,47	8,50	336,65
23	Av. 4 calle26	3	2,71	1,02	1,44	7,00	267,94
24	Av. 4 calle 27	2	1,01	0,34	0,55	7,00	105,57
25	Av. 5 calle 26	2	2,71	1,21	1,32	7,00	268,13
26	Av. 6 calle26	1	2,34	1,22	0,92	7,00	270,80
27	Av. 7 calle 26	1	2,95	1,51	1,24	7,00	279,54
28	Av. 8 calle 26	1	2,49	1,01	1,24	7,00	289,81
29	Av. Don Tulio calle 26	1	0,29	0,00	0,13	21,00	68,00
30	Av. Don Tulio calle 27	2	0,56	0,00	0,47	10,00	82,00
31	Av. Dom. Peña calle 26	2	3,82	0,36	2,71	21,00	363,81
32	Av. Dom. Peña estación trolcable	2	1,65	0,40	0,99	21,00	146,75
33	Av. Dom. Peña hotel el balcón este	2	0,76	0,23	0,33	21,00	95,40
34	Av. Dom. Peña hotel el balcón oeste	2	0,24	0,07	0,05	21,00	64,90
35	Paseo la Feria calle 2	2	0,81	0,25	0,40	12,00	123,34
36	Paseo la Feria calle 1	1	1,77	0,97	0,55	12,00	178,20
37	Paseo la Feria calle 3	4	1,52	1,10	0,00	17,00	224,13
38	Av. 2 calle 31	2	2,50	2,05	0,00	9,00	482,39
39	Av. 3 calle 33	1	4,71	2,06	2,05	11,00	556,06
40	Av. 4 calle 31	2	3,36	1,41	1,57	10,00	369,26
41	Av. 4 calle 34	1	2,53	1,23	1,06	9,00	277,40
42	Av. Don Tulio calle 31	2	3,28	0,83	1,70	19,00	389,74
43	Av. Don Tulio calle 36	3	10,27	2,44	6,91	19,00	463,03
44	Av. Don Tulio calle 37	1	3,71	0,34	3,17	19,00	106,00
45	Av. 2 calle 38	1	3,29	2,50	0,00	9,20	754,00
Vialidad			8,13				
TOTAL			75	135,48	49,01	64,02	474,88 14035,35

Fuente: Elaboración propia 2022

CAPITULO VI

EL AVT DE MÉRIDA Y SU INFRAESTRUCTURA URBANA

Tabla 13 Características de servicio de cada sumidero en el sector AVT parte 2

#	Ubicación sumidero	Cota (m)		Pendiente (%)	
		Inicio	Fin	Longitudinal	Transversal
1	Av. 1 calle 13	1680.5	1665.9	3.71	2
2	Av. 2 calle 14	1680.5	1658.5	4.05	2
3	Av. 3 calle 14	1654.8	1653	1.24	2
4	Av.6 calle 14	1653	1630	6.96	2
5	Av.8 calle 16	1630	1627	1.21	2
6	Av. 2 calle19	1658.5	1628.5	6.01	2
7	Av. 3 calle 19	1653	1637.5	3.15	2
8	Av. 4 calle 19	1648	1625	4.88	2
9	Av. 5 calle 19	1642	1621	4.36	2
10	Av. 6 calle 19	1630	1619	3.84	2
11	Av. 7 calle 19	1628	1618	3.38	2
12	Av. 8 calle 19	1627	1616	3.60	2
13	Belén calle 19	1620	1615.6	3.20	2
14	Belén calle 18	1627	1602	6.97	2
15	Av. 3 calle 23	1628.5	1612.9	3.80	2
16	Av. 4 calle 23	1625	1606	5.17	2
17	Av. 5 calle 23	1621	1605	4.34	2
18	Av. 6 calle 23	1619	1602	4.59	2
19	Av. 7 calle23	1618	1597	5.67	2
20	Av. 8 calle 23	1616	1592	6.53	2
21	Av. 2 calle 26	1612	1599	5.68	2
22	Av. 3 calle 27	1612	1603.8	2.44	2
23	Av. 4 calle26	1606	1596.5	3.55	2
24	Av. 4 calle 27	1596.5	1596	0.47	2
25	Av. 5 calle 26	1605	1592.8	4.55	2
26	Av. 6 calle26	1602	1588.5	4.99	2
27	Av. 7 calle 26	1597	1587	3.58	2
28	Av. 8 calle 26	1592.6	1585.5	2.45	2
29	Av. Don Tulio calle 26	1596.5	1596	0.74	2
30	Av. Don Tulio calle 27	1596.5	1596	0.61	2
31	Av. Dom. Peña calle 26	1586.4	1585.9	0.14	2
32	Av. Dom. Peña estación trolcable	1586.4	1585.9	0.34	2
33	Av. Dom. Peña hotel el balcón este	1585.9	1584.9	1.05	2
34	Av. Dom. Peña hotel el balcón oeste	1585.9	1584.9	1.54	2
35	Paseo la Feria calle 2	1583	1581.5	1.22	2
36	Paseo la Feria calle 1	1583	1581.5	0.84	2
37	Paseo la Feria calle 3	1583	1581.5	0.67	2
38	Av. 2 calle 31	1599.8	1584	3.28	2
39	Av. 3 calle 33	1603.8	1577.4	4.75	2
40	Av. 4 calle 31	1598	1583	4.06	2
41	Av. 4 calle 34	1583	1574	3.24	2
42	Av. Don Tulio calle 31	1600	1577	5.90	2
43	Av. Don Tulio calle 36	1577	1553	5.18	2
44	Av. Don Tulio calle 37	1553	1546	6.60	2
45	Av. 2 calle 38	1584	1550	4.51	2

Fuente: Elaboración propia 2022

Contaminación de aguas residuales y de lluvia.

Las aguas residuales generadas en la ciudad, son en su mayoría de origen doméstico, oficial y comerciales, las cuales son vertidas directa o indirectamente a los cuerpos receptores, sin ningún tipo de tratamiento. Presentan en general un alto grado de dilución, debido a la incorporación de aguas pluviales, fugas del acueducto y aguas subterráneas.

En el caso de la ciudad Mérida y específicamente en el colector casco central (1 y 1A) que se corresponde a un sistema unitario donde se conjugan aguas negras y aguas de lluvia, es necesario tener presente que la contaminación presentada sobre las aguas que discurren por este sistema será producto de los contaminantes propios de cada sistema en el caso de las aguas negras la contaminación puede considerarse estándar motivado a que su principal origen es doméstico, comercial y oficial, por lo que sus niveles de contaminación, según Arocha (1983), son generados por los residuos de agua producto del lavado de ropa, aseo personal que se traduce principalmente en el uso de jabones, y por otra parte fregaderos de cocinas y las aguas productos del uso sanitario, que contienen materia orgánica en suspensión lo cual en conjunto representa entre 600 y 800 mg/lit de materias solidas como excrementos, jabones, grasas restos de alimentos papeles y trapos.

Se considera aproximadamente que de la cantidad de contaminantes, el 50% está en suspensión y el otro 50% en solución, lo que altera el peso específico del fluido, teniendo incidencia directa en la potencia necesaria de los equipos de bombeo requeridos para plantas de tratamiento (de ser necesarios) y sobre las condiciones de diseño del colector motivado a la velocidad de diseño necesaria para garantizar el arrastre de materia orgánica y evitar la mayor cantidad de sedimento en la tubería, como se puede observar en la siguiente tabla:

CAPITULO VI

EL AVT DE MÉRIDA Y SU INFRAESTRUCTURA URBANA

Tabla 14 Comportamiento de la materia solida en la tubería según la velocidad

Velocidad m/s	Comportamiento de la materia solida en la tubería
0,60 ≥	Arrastre de solidos eficiente
0,43-0,60	Acumula en el fondo materia inorgánica
0,30-0,43	Acumula además de materias inorgánicas, solidos orgánicos que se mueven lentamente en el fondo produciendo sulfuro de hidrógenos
< 0,3	Acumulación de materia orgánica e inorgánica, generando grandes inconvenientes con la producción de sulfuros

Fuente: Elaboración propia con información de (Arocha, Cloacas y drenajes, 1983)

En el caso de las aguas de lluvia de la zona de estudio y aguas arriba, las mismas se dan sobre un área de uso residencial, comercial, oficial y en las cercanías de lo rural. Si bien el agua de lluvia es en teoría pura, al caer se escurre a través de superficies arrastrando contaminantes que pueden ser tóxicos, según Troudi (2021) la Organización Mundial de la Salud (OMS) en estudios previos en zonas semejantes ha comprobado que, *“en algunos techos tanto en zonas urbanas como rurales, se han registrado valores altos en plomo. También se han detectado niveles altos de coliformes, contaminación que puede ser producida por el excremento de animales”*.

Esto se complica al considerar que la atmósfera se contamina de gases o contaminantes naturales y/o producto de la actividad humana, en las zonas urbanas con alto nivel de polución en el aire. A lo que se suma los niveles de químicos, hidrocarburos, basuras y otros contaminantes que tienen las superficies de las ciudades, por lo cual, si se pretende dar un uso a las aguas de lluvia éstas deben someterse a un proceso que permita retirar los sedimentos y grasas antes de usarse, así como de filtrado para eliminar con mayor profundidad los contaminantes.

Las aguas de lluvia al entrar al sistema de recolección de aguas negras diluyen los contaminantes que estas últimas poseen, pero a su vez agregan nuevos contaminantes que deben ser estudiados, si bien el tema a tratar en esta investigación no se corresponde a la contaminación de aguas es importante resaltar que los criterios de diseño que se tomen en la planificación de recolección de aguas de lluvias influyen directamente en un futuro sobre los niveles de contaminación de estos líquidos y el uso que se les pudiera dar.

Para el año 2002, existían un total de 66 descargas residuales a los principales cuerpos de agua de la Ciudad de las cuales 37 se corresponden al río

Albarregas, en un estudio realizado a 19 descargas de esas descargas la Demanda Química de Oxígeno (un indicador utilizado para medir el grado de contaminación) oscilaba entre los 106 y 1311 mg/lts (La norma establece valores máximos de 60 mg/lts). Mientras que la Demanda Biológica de Oxígeno oscilaba en valores de entre 70 a máximos de 505 mg/lts. (La norma establece valores máximos de 350 mg/lts) (Quintero Carrero, 2004).

Área de servicio del Colector Casco Central.

Tomando como referencia el informe de diagnóstico de alcantarillado sanitario de Mérida -Merbar- (Tahal, 1998) se tiene que la ciudad fue dividida en sectores, ver Imagen 29 con la finalidad de determinar el área de servicio correspondiente a cada colector esto motivado que se tienen sectores que pueden ser cubiertos por más de un colector.

En total el área asociada al colector 1⁵ corresponde a 259,56 ha como se puede observar en la Tabla 15.

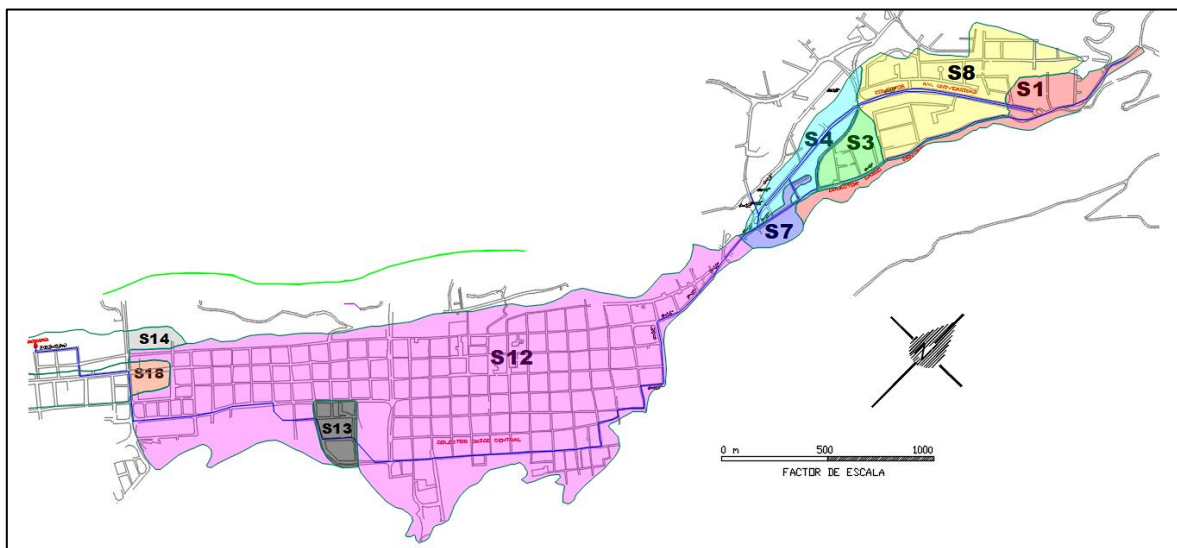


Imagen 29 Sectores que conforman el área de servicio del colector 1 Casco Central
Fuente: Elaboración propia con información de Hidrológica de la Cordillera Andina y Tahal 1998

⁵ Colector 1 hace referencia al colector principal casco central y al colector 1A

CAPITULO VI

EL AVT DE MÉRIDA Y SU INFRAESTRUCTURA URBANA

Tabla 15 Área aportada por cada sector al Colector 1

SECTOR	% APORTADO AL COLECTOR 1	AREA DE CADA SECTOR (Ha)	AREA CORRESPONDIENTE AL COLECTOR 1 (Ha)
S1	100,00%	12,75	12,75
S3	100,00%	5,5	5,5
S4	94,00%	8,75	8,225
S7	100,00%	3,5	3,5
S8	97,70%	31	30,287
S12	100,00%	189	189
S13	100,00%	5	5
S14	7,50%	35	2,625
S18	10,70%	25	2,675
TOTAL, Ha			259,562

Fuente: Tahal 1998

Población del sector de estudio.

El sector de estudio está conformado por parte de las parroquias Milla, Arias, Sagrario y el Llano como se puede observar a continuación.

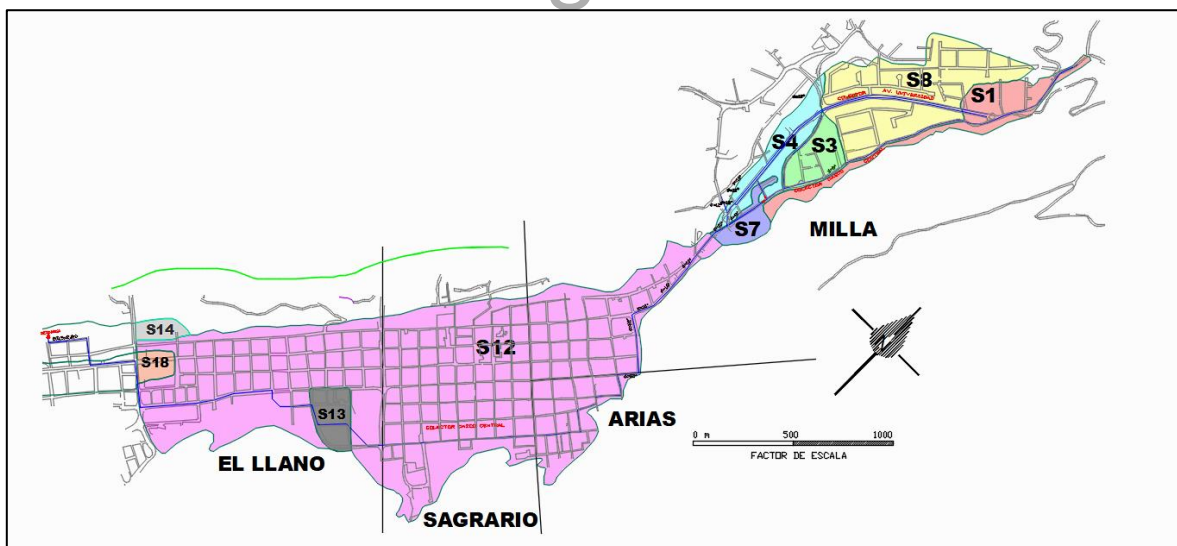


Imagen 30 Parroquias que conforman el colector 1 Casco Central
Fuente: Elaboración propia 2022

CAPITULO VI

EL AVT DE MÉRIDA Y SU INFRAESTRUCTURA URBANA

Tabla 16 Áreas del colector 1 por parroquia

SECTOR	AREA DEL COLECTOR POR PARROQUIA Ha				AREA Ha	Sector AVT
	Milla	Arias	Sagrario	El Llano		
S1	12,75				12,75	
S3	5,5				5,5	
S4	8,225				8,225	
S7	3,5				3,5	
S8	30,287				30,287	
S12	29,3	29,87	66,2	63,63	189	
S13				5	5	
S14				2,625	2,625	
S18				2,675	2,675	
TOTAL	89,562	29,87	66,2	73,93	259,562	

Fuente: Elaboración propia 2022

Considerando los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística y el informe Merbar, (Tahal, 1998) es necesario evaluar la población del sector de estudio desde la década de los 40, momento en el que se da inicio al desarrollo del colector Casco Central, específicamente en el sector 12. Tomando como referencia la caracterización realizada por Tahal en el año 1998.

En primer lugar, se evaluará la población general de cada una de las parroquias desde 1940 al 2030

Tabla 17 Población sector de estudio

Parroquia	Datos Años Censales								Proyecciones INE		
	1941	1950	1961	1971	1981	1990	2001	2011	2020	2025	2030
Milla	6253	8257	11284	20003	20972	21941	21886	19340	11496	12343	13075
Arias	6960	6506	4314	7080	6904	6728	7022	16153	25761	27727	29445
Sagrario	7245	8646	10264	10697	9785	8880	8850	5687	7485	8053	8549
Llano	8719	12043	26122	43675	28090	12522	13026	8231	21161	22940	24535

Fuente: Elaboración propia con datos del INE

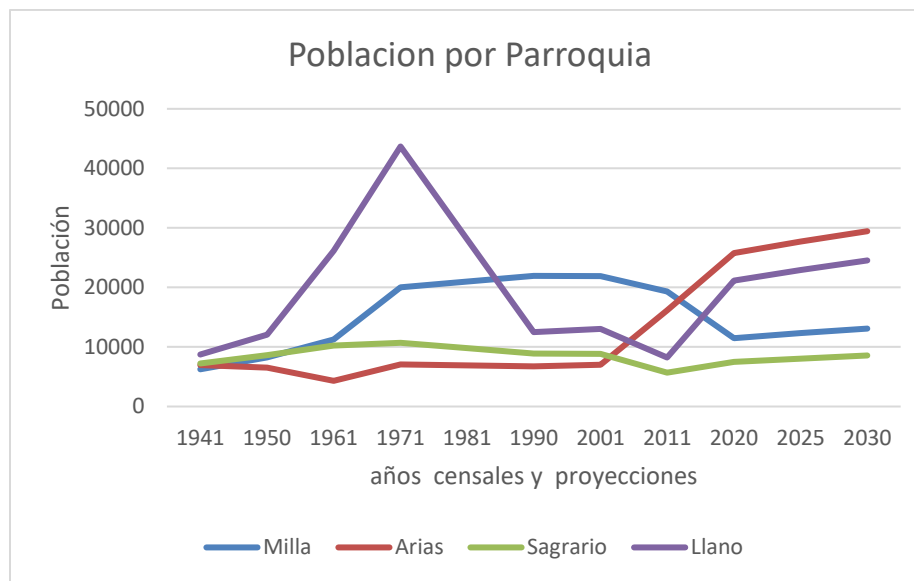


Gráfico 2 Población por Parroquia
Fuente: Elaboración propia con Datos del INE

Se puede observar en el gráfico anterior que las parroquias con mayor crecimiento son el Llano y Milla en la década de los 70, esto se corresponde a que la ciudad de Mérida como se dijo anteriormente, se expande justo en esas direcciones, en el caso de las parroquias Arias y el Sagrario, su crecimiento es constante y muy parecido, esto motivado a que se ubican sobre el espacio de la ciudad fundacional, el cual tiene su crecimiento muy limitado motivado a que el sector se encuentra consolidado, es importante resaltar que el gráfico anterior muestra un descenso de población abrupto para la Parroquia el Llano, entre 1970 y 1990 se pudo verificar, esto se corresponde a modificaciones hechas en la división territorial de las parroquias durante esos periodos, obviando este repunte se tiene un decrecimiento en las demás parroquias entre los años 1980 y 2011, que se corresponden con el desplazamiento del uso residencial del Casco Central hacia nuevas zonas en desarrollo de la ciudad.

Relacionando directamente el área total de cada parroquia con su respectiva población; y teniendo en cuenta la caracterización de la población realizada por Tahal en 1998 y la proporción de superficie que tiene cada parroquia con el colector casco central se tiene lo siguiente:

CAPITULO VI

EL AVT DE MÉRIDA Y SU INFRAESTRUCTURA URBANA

Tabla 18 Población asociada a colector Casco Central

Parroquia	Superficie (Ha)		Población asociada al colector Casco Central										
	Total	Colector	1941	1950	1961	1971	1981	1990	2001	2011	2020	2025	2030
Milla	556,63	89,56	1006	1329	1816	3218	3374	3530	3521	3112	1850	1986	2104
Arias	619,5	29,87	1120	1047	694	1139	1111	1083	1130	2599	4145	4461	4738
Sagrario	86,3	66,2	1166	1391	1651	1721	1574	1429	1424	915	1204	1296	1376
El Llano	146,92	73,93	1403	1938	4203	7027	4520	2015	2096	1324	3405	3691	3948
TOTAL	1409,35	259,56	6636	7654	10325	15077	12560	10046	10172	9961	12624	13459	14195

Fuente: Elaboración propia 2022

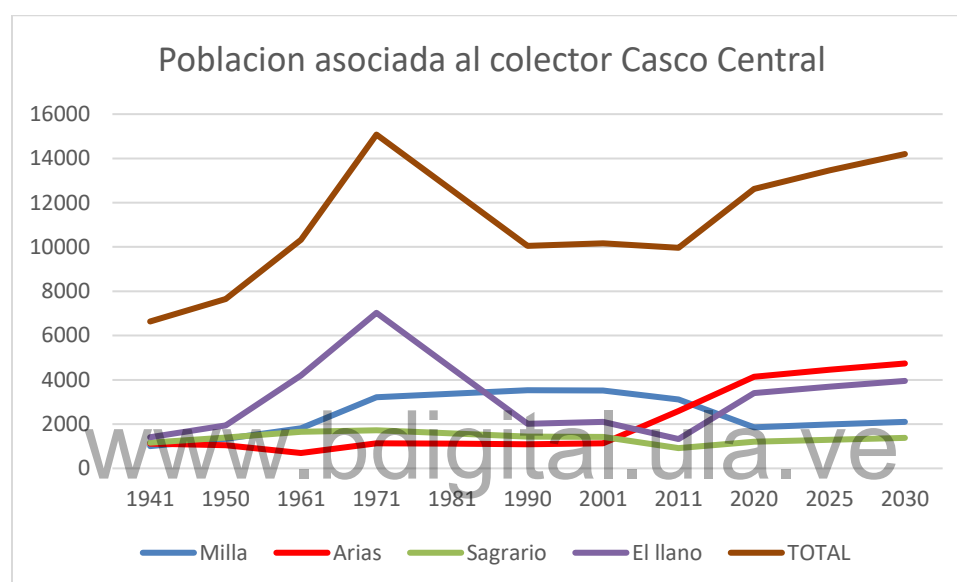


Gráfico 3 Población asociada al colector Casco Central
Fuente: Elaboración propia 2022

La población inicial para el diseño del colector Casco Central en la década de los 40 es de 6636 habitantes, prestando actualmente servicio para el año 2020 a 12624 habitantes y se espera que para el 2030 el colector preste servicio a 14200 habitantes aproximadamente.

Uso de suelo.

El uso de suelo actual es producto de la dinámica de la ciudad, la cual se caracterizó por el desarrollo de la ciudad colonial. La plaza, alrededor de esta servicios religiosos e institucionales, residencial y en los alrededores comercial, esto en la actualidad se mantiene, con la excepción del desplazamiento del uso residencial del centro de la ciudad hacia los extremos, en la búsqueda de mayor

CAPITULO VI

EL AVT DE MÉRIDA Y SU INFRAESTRUCTURA URBANA

tranquilidad, este desplazamiento ha traído como consecuencia el aumento del uso comercial en las cercanías de la plaza, en el caso de la ciudad de Mérida, este modelo se da en los alrededores de la plaza Bolívar, y en los otros tres sub centros del sector de estudio: Milla, Belén y el Llano. En la zona norte de la ciudad, lo que se corresponde con la ciudad moderna predomina en más de 60% el uso residencial sobre cualquier otro.

El uso de suelo del sector en estudio es variado, predominando el uso residencial, seguido del comercial como se puede observar en la imagen y gráficos siguientes:

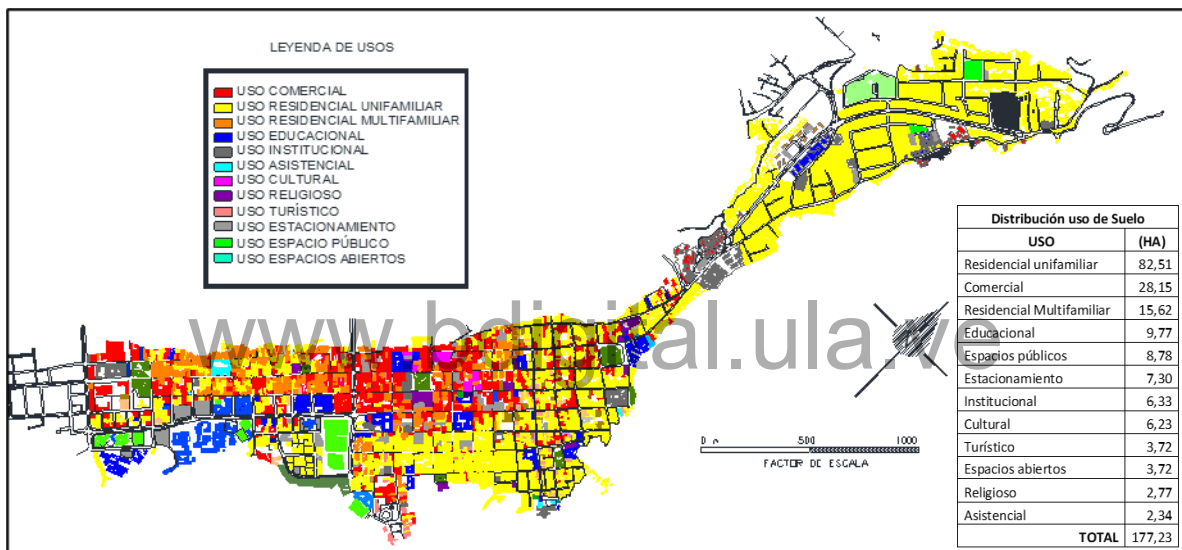


Imagen 31 Uso de suelo asociado al área de servicio del colector Casco Central
Fuente: Postgrado en Desarrollo Urbano Local. cohorte XIII actualización 2021

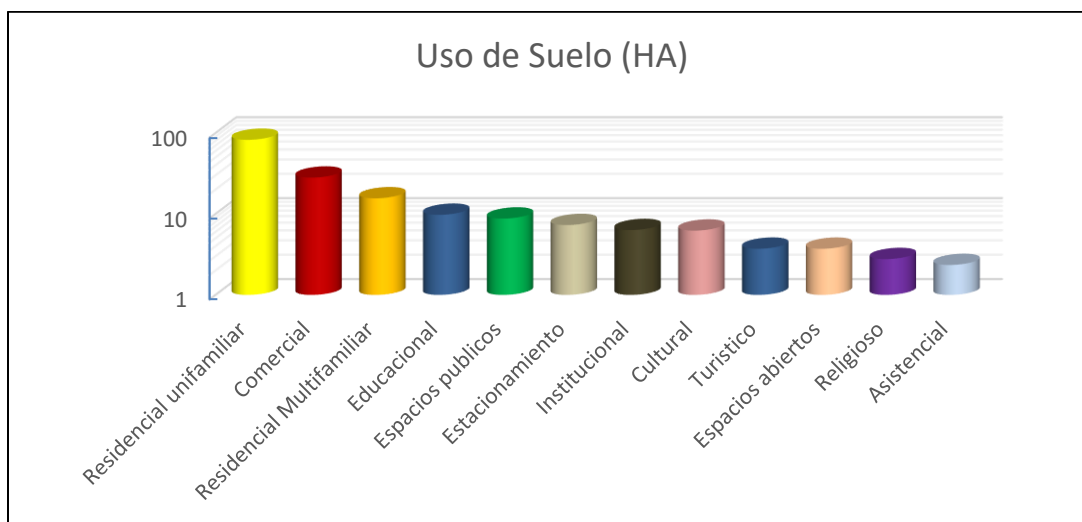


Gráfico 4 Uso de suelo por categoría
Fuente elaboración propia 2022

Distribución de área de servicio del colector según el tipo de superficie.

El área de servicio correspondiente al colector en estudio es de 259,56 ha y tomando como referencia el uso de suelo actual lo relacionado a los espacios construidos con edificaciones se puede agrupar de la siguiente manera: área de techo 64%, área pavimentada (estacionamientos + aceras + vialidad) 21% para un total de 85% intervenido y áreas verdes 15%. Esto permitirá posteriormente determinar el coeficiente de escorrentía del área.

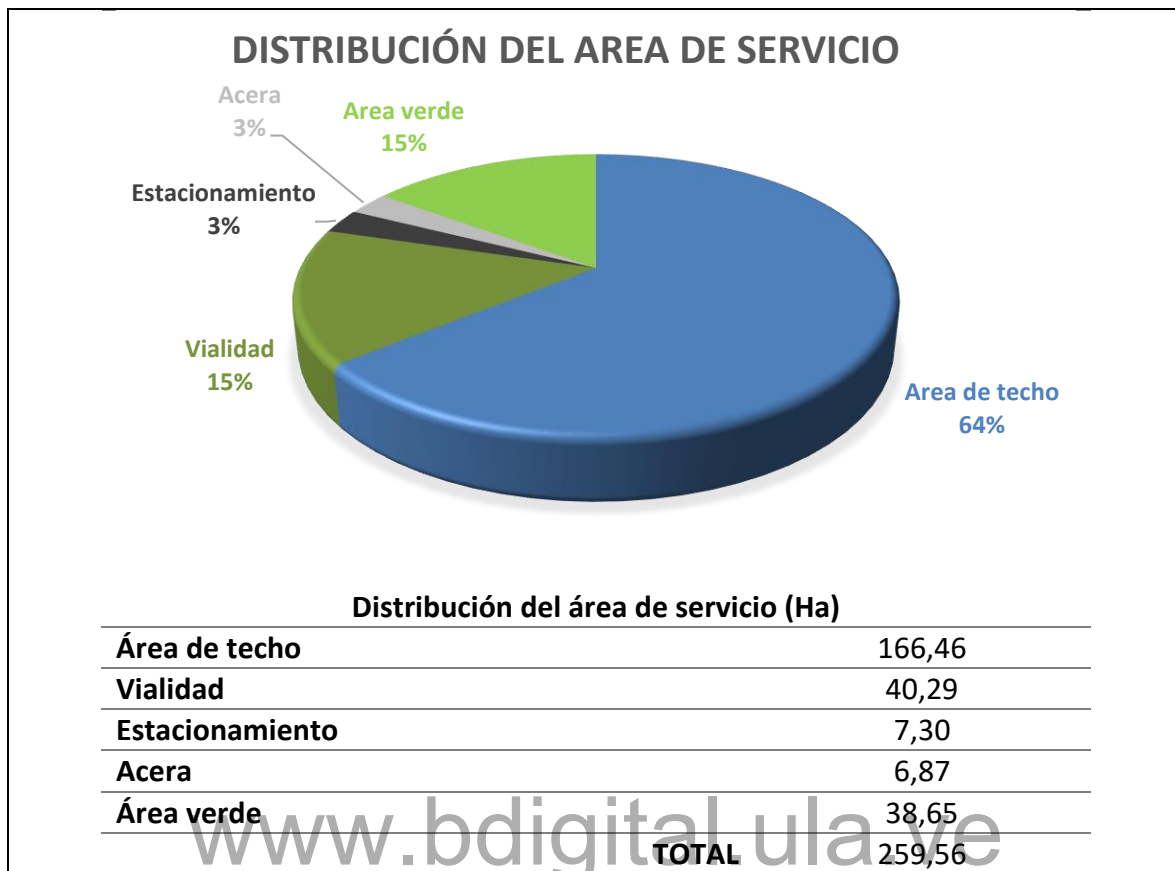


Gráfico 5 Área de servicio según tipo de superficie
 Fuente: Elaboración propia 2022

Puntos a evaluar del colector Casco Central.

Se realizará un análisis retrospectivo evaluando como primer punto del colector en el inicio del AVT en la plaza Chaplin y como final la descarga del colector sobre el rio Albarregas, tomando como referencia la década de 1940, que es cuando se da inicio a la construcción del acueducto y se evaluará luego en la década de los 90, que se presume como la fecha tope para la cual fue diseñado el colector, considerando que el colector continúa en servicio, se evaluará el 2020 y un tiempo adicional de 10 años que corresponde al 2030.

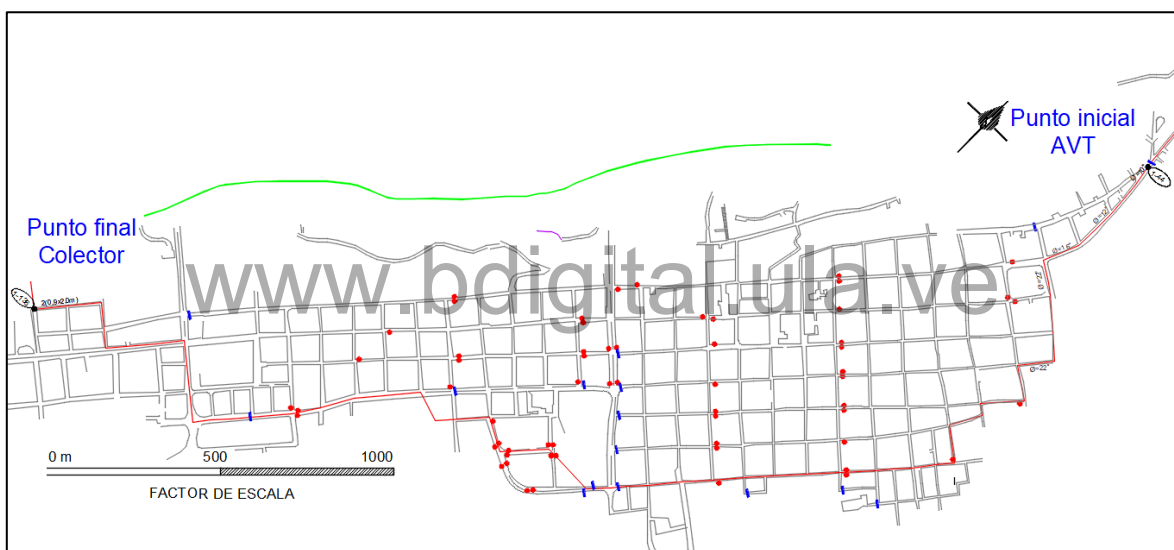


Imagen 32 Puntos a evaluar del colector Casco Central
Fuente Elaboración propia con base en 2021

El Metabolismo de la Ciudad de Mérida desde la Perspectiva de la Infraestructura Urbana Crítica.

Infraestructura critica - drenajes urbanos en la ciudad de Mérida.

La infraestructura de servicios públicos de la ciudad de Mérida, conformada por las redes de electricidad, agua potable, cloacas y drenajes se encuentra

CAPITULO VI

EL AVT DE MÉRIDA Y SU INFRAESTRUCTURA URBANA

operativa y prestando servicio, en la mayoría de los casos al límite de su capacidad, teniendo en cuenta que la misma es de hace más de 50 años y su mantenimiento ha sido escaso.

Si alguna de estas infraestructuras llegase a fallar ocasionaría un colapso en la población y por consiguiente en el funcionamiento de la ciudad, como se explicó anteriormente, esta es la definición de infraestructura crítica.

Esta sección se centra en evaluar la infraestructura de drenajes de la ciudad de Mérida específicamente del AVT asociada al colector Casco Central, que en este caso se encuentra íntimamente relacionada con la infraestructura de cloacas motivado a que el colector de sector de estudio funciona en gran parte de su recorrido como un sistema unitario o mixto.

Retomando la definición de infraestructura crítica, pero desde la temática de los drenajes urbanos de la ciudad de Mérida, se puede observar que el problema pasa desapercibido, pues hablar de drenajes en Mérida se asocia rápidamente a un buen funcionamiento de estos, motivado a las condiciones topográficas de la ciudad, la cual tiene una pendiente longitudinal aproximada de 4,5% y transversal de 2%, nada más falso que esto, no es solo tener buena pendiente también se deben considerar otros elementos, para ejemplo la siguiente imagen:



Imagen 33 Av Las Américas Mérida-Venezuela
Fuente: Tal cual Digital abril 2022

La imagen es de la Avenida las Américas de la ciudad de Mérida, en un

momento donde el sistema de drenaje colapsó, trayendo como consecuencia el fallecimiento de un transeúnte que se encontraba en la vía en el momento del suceso.

Como se puede observar el primer motivo de este hecho es un evento hidrometeorológico, que escapa de la acción humana, a esto se le suma la falta de mantenimiento del sistema de alcantarillado de la ciudad y por último la poca capacidad del sistema de drenaje para recibir tal demanda, es importante recordar que eventos de esta magnitud, y más en el caso de las aguas de lluvia son impredecibles, por lo cual se deben tomar acciones que impliquen la mitigación de los riesgos que ocasionan las mismas.

Tales acciones pueden estar inmersas en la teoría del metabolismo urbano, para lo cual, se deben identificar tres momentos claves en el sistema de drenaje de la ciudad Mérida: entrada, uso y salida del recurso, siendo necesario, evaluar el colector y área de estudio de la ciudad desde esa perspectiva.

Flujo de entrada al sistema.

Determinación del caudal de diseño (colector 1 Casco Central).

El colector en estudio es considerado un sistema unitario, por lo cual, debe tener la capacidad mínima de transportar las aguas servidas y grises y la capacidad máxima para transportar las aguas de lluvia.

En función de lo antes descrito se calculará el caudal mínimo de diseño del colector para lo cual se determinarán los siguientes elementos: aguas provenientes del acueducto y aguas de infiltración y para el caudal máximo las aguas provenientes de las lluvias.

Caudal mínimo de aguas servidas.

a. Aguas provenientes del acueducto

CAPITULO VI

EL AVT DE MÉRIDA Y SU INFRAESTRUCTURA URBANA

✓ **Aguas residuales domiciliarias:** Un factor determinante para el diseño del caudal del colector es la población a la cual va a servir, presente y futura, para lo cual se toman como referencia los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística que se reflejan en la Tabla 18, esto permite determinar el gasto medio o promedio diario anual que como se desconoce el dato técnico por parte de la empresa de agua de la ciudad, se determinará según la norma de acueductos INOS a razón de 500l/d por persona. El informe Merbar (Tahal, 1998) considera el consumo promedio diario por persona para 1998 470 l/d pers, 2010 365 l/d pers y para el 2020 330 l/d pers y luego con una disminución del 10% por década hasta llegar a los estándares internacionales. Esta disminución es considerada porque el informe presume que a futuro se debe realizar las correcciones respectivas que garanticen la mejora del servicio en el acueducto disminuyendo las fugas en el mismo.

Partiendo de esta información se obtiene el gasto medio considerando los periodos antes descritos.

Tabla 19 Gasto medio agua potable inicio AVT

Q med A.P. (Gasto medio de agua potable) Inicio colector Sector AVT				
Año	Población (hab)	*	Consumo prom. diario x per (l/d hab)	Qmed A.P l/d
1940	1006	*	500	503000
1990	3530	*	470	1659100
2020	1850	*	330	610500
2030	2104	*	300	631200

Fuente: Elaboración Propia 2022

Tabla 20 Gasto medio agua potable final colector

Q med A.P. (Gasto medio de agua potable) final colector				
Año	Población (hab)	*	Consumo prom. diario x per (l/d hab)	Qmed A.P l/d
1940	6636	*	500	3318000
1990	10046	*	470	4721620
2020	12624	*	330	4165920
2030	14195	*	300	4258500

Fuente: Elaboración Propia 2022

Otro factor a tener en cuenta es la previsión a futuro de la población (K) considerando que el inicio de la construcción del colector fue en la década de los 40 (6636 hab) su vida útil de 50 años implica que el colector debió ser diseñado para

funcionar eficientemente hasta la década de los 90 (10000 hab). Lo que permite definir el coeficiente K (hasta 20000 habitantes) en 3,00.

Se debe tener en cuenta que el factor K será considerado en este trabajo solo para la década de las 40, y no para las fechas posteriores ya que lo que se considerará es el funcionamiento previsto a futuro para el colector que fue diseñado en la década de los 40.

Y por último, el coeficiente de retorno (R) que considera que el 80% (0,8) del agua utilizada para el consumo es retornada al sistema de cloacas.

✓ **Aguas residuales industriales:** en el sector de estudio no se tiene la presencia de actividad industrial.

✓ **Aguas servidas uso comercial:** Considerando el uso de suelo actual y entendiendo la dinámica de desarrollo de la ciudad, se realiza una retrospectiva de cuál era la superficie usada como área comercial para 1940 y fechas posteriores.

Tabla 21 Superficie comercial asociada al colector Casco Central (ha)

Año	1940	1990	2020	2030
Inicio AVT	0,95	1,90	3,81	4,19
. Final colector	9,52	19,04	38,09	41,90

Fuente: Elaboración propia 2022

La dotación diaria se toma como valor único el promedio de la suma de las actividades institucionales, establecidas en la norma sanitaria dando como resultado 25 l/m² pers.

✓ **Aguas servidas uso institucional:** Considerando el uso de suelo actual y entendiendo la dinámica de desarrollo de la ciudad, se realiza una retrospectiva de cuál era la superficie usada como área institucional para 1940 y fechas posteriores.

Tabla 22 Superficie institucional asociada al colector Casco Central (ha)

Año	1940	1990	2020	2030
Inicio AVT	0	5	5	5
. Final colector	95	100	100	100

Fuente: Elaboración propia 2022

La dotación diaria se toma como valor único el promedio de la suma de las actividades institucionales, establecidas en la norma sanitaria dando como resultado 150 lts/m² pers.

CAPITULO VI

EL AVT DE MÉRIDA Y SU INFRAESTRUCTURA URBANA

Con la información antes descrita se obtienen los siguientes resultados para el inicio y final del colector.

Tabla 23 Caudal de aguas residuales provenientes del acueducto. Inicio AVT

Año	Aguas servidas	Q medio A.P.	Área com.	Área inst.	Dotación diaria	Factor	K	R	TOTAL	
		L/d	ha	ha	L/d m ²	ha a m ²			L/d	L/s
1940	Domiciliarias	503000					3	0,8	1207200	13,97
	Uso comercial		0,952		25	10000		0,8	190450	2,20
	Uso institucional			0	150	10000		0,8	0	0,00
	TOTAL GENERAL								1397650	16,18
1990	Domiciliarias	1659100						0,8	1327280	15,36
	Uso comercial		1,905		25	10000		0,8	380900	4,41
	Uso institucional			5	150	10000		0,8	6000000	69,44
	TOTAL GENERAL								7708180	89,22
2020	Domiciliarias	610500						0,8	488400	5,65
	Uso comercial		3,809		25	10000		0,8	761800	8,82
	Uso institucional			5	150	10000		0,8	6000000	69,44
	TOTAL GENERAL								7250200	83,91
2030	Domiciliarias	631200						0,8	504960	5,84
	Uso comercial		4,19		25	10000		0,8	837980	9,70
	Uso institucional			5	150	10000		0,8	6000000	69,44
	TOTAL GENERAL								7342940	84,99

Fuente: Elaboración propia 2022

Tabla 24 Caudal de aguas residuales provenientes del acueducto. Final colector

Año	Aguas servidas	Q medio A.P.	Área com.	Área inst.	Dotación diaria	Factor	K	R	TOTAL	
		L/d	ha	ha	L/d m ²	ha a m ²			L/d	L/s
1940	Domiciliarias	3318000					3	0,8	7963200	92,17
	Uso comercial		9,523		25	10000		0,8	1904500	22,04
	Uso institucional			95	150	10000		0,8	11400000	1319,44
	TOTAL GENERAL								123867700	1433,65
1990	Domiciliarias	4721620						0,8	3777296	43,72
	Uso comercial		19,05		25	10000		0,8	3809000	44,09
	Uso institucional			100	150	10000		0,8	12000000	1388,89
	TOTAL GENERAL								127586296	1476,69
2020	Domiciliarias	4165920						0,8	3332736	38,57
	Uso comercial		38,09		25	10000		0,8	7618000	88,17
	Uso institucional			100	150	10000		0,8	12000000	1388,89
	TOTAL GENERAL								130950736	1515,63
2030	Domiciliarias	4258500						0,8	3406800	39,43
	Uso comercial		41,9		25	10000		0,8	8379800	96,99
	Uso institucional			100	150	10000		0,8	12000000	1388,89
	TOTAL GENERAL								131786600	1525,31

Fuente: Elaboración propia 2022

CAPITULO VI EL AVT DE MÉRIDA Y SU INFRAESTRUCTURA URBANA

b. Aguas de infiltración: se calcularán a razón de 20000 l/d/km de colector.

Tabla 25 Longitud del colector y sus derivaciones (Km)

Año	1940	1990	2020	2030
Inicio AVT	4,796	8,79	8,79	8,79
Final colector	28,93	41	41	41

Fuente: Elaboración propia 2022

Tabla 26 Aguas producto de infiltración (l/d)

Año	1940	1990	2020	2030
Inicio AVT	95920	175800	175800	175800
Final colector	578593,6	820000	820000	820000

Aguas de infiltración= Longitud colector * 20000 l/d x km

Fuente: Elaboración propia 2022

Tabla 27 Aguas producto de infiltración (l/s)

Año	1940	1990	2020	2030
Inicio AVT	1,11	2,03	2,03	2,03
Final colector	6,70	9,49	9,49	9,49

Fuente: Elaboración propia 2022

Lo descrito anteriormente, permite determinar el caudal de aguas negras para el colector en el inicio del AVT y final del colector por periodo de tiempo, como se puede evidenciar en el siguiente cuadro resumen.

Tabla 28 Caudal de diseño y caudal demandado de aguas negras

Ubicación	Año	Aguas residuales domiciliarias	Aguas servidas uso comercial	Aguas servidas uso institucional	Aguas producto de infiltración	Total General
L/s						
Inicio AVT	1940*	13,97	2,20	0,00	1,11	17,29*
	1990	15,36	4,41	69,44	2,03	91,25
	2020	5,65	8,82	69,44	2,03	85,95
	2030	5,84	9,70	69,44	2,03	87,02
Final Colector	1940*	92,17	22,04	1319,44	6,70	1440,35*
	1990	43,72	44,09	1388,89	9,49	1486,18
	2020	38,57	88,17	1388,89	9,49	1525,12
	2030	39,43	96,99	1388,89	9,49	1534,80

*El caudal para 1940 incluye el caudal diseño para 50 años (1990), el caudal de los años posteriores corresponde a las demandas reales y/o proyecciones con datos del INE

Fuente: Elaboración propia 2022

CAPITULO VI

EL AVT DE MÉRIDA Y SU INFRAESTRUCTURA URBANA

Caudal máximo de aguas de lluvia.

La superficie en estudio es de 259 ha, como es menor a 500 ha, según la norma INOS para determinar el caudal de aguas de lluvia (Q) se puede utilizar el método racional.

✓ **Coefficiente de escorrentía (C):**

Tabla 29 Coeficiente de escorrentía (C) por distribución de superficie

			1940		1990-2030	
Tipo de Superficie			Ha	Proporción C	Ha	Proporción C
Inicio AVT	Área de techo (tejados azoteas)	0,9	9,00	0,09	18,00	0,18
	Vialidad asfaltada	0,75	15,00	0,13	21,00	0,18
	Vialidad pavimentada	0,9	0,00	0,00	0,00	0,00
	Estacionamiento	0,85	0,50	0,00	2,25	0,02
	Acera	0,85	0,50	0,00	1,50	0,01
	Área verde	0,3	64,56	0,22	46,81	0,16
	TOTAL		89,56	0,44	89,56	0,55
			C medio		C medio	
Final Colector	Área de techo (tejados azoteas)	0,9	102,00	0,35	166,46	0,58
	Vialidad asfaltada	0,75	32,16	0,09	32,16	0,09
	Vialidad pavimentada	0,9	8,13	0,03	8,13	0,03
	Estacionamiento	0,85	3,30	0,01	7,30	0,02
	Acera	0,85	4,87	0,02	6,87	0,02
	Área verde	0,3	109,11	0,13	38,65	0,04
	TOTAL		259,56	0,63	259,56	0,79
			C medio		C medio	

Fuente: Elaboración propia 2022

CAPITULO VI

EL AVT DE MÉRIDA Y SU INFRAESTRUCTURA URBANA

Tabla 30 Coeficiente de escorrentía por distribución de uso de suelo

			1940		1990-2030	
Tipo de Uso			Ha	Proporción C	Ha	Proporción C
Inicio AVT	Residencial unifamiliar	0,5	9,00	0,08	18,20	0,16
	Comercial	0,85	0,25	0,00	0,25	0,00
	Residencial Multifamiliar	0,7	0,00	0,00	4,62	0,06
	Educacional	0,4	0,00	0,00	3,00	0,02
	Espacios públicos	0,2	0,00	0,00	1,00	0,00
	Estacionamiento	0,7	0,00	0,00	2,25	0,03
	Institucional	0,85	0,00	0,00	2,00	0,03
	Cultural	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00
	Turístico	0,8	0,00	0,00	1,32	0,02
	Espacios abiertos	0,25	46,51	0,21	23,12	0,10
	Religioso	0,5	0,00	0,00	0,00	0,00
	Asistencial	0,6	0,00	0,00	0,00	0,00
	TOTAL		55,76	0,29	55,76	0,43
				C medio		C medio
Final Colector	Residencial unifamiliar	0,5	52,51	0,15	82,51	0,23
	Comercial	0,85	9,15	0,04	28,15	0,13
	Residencial Multifamiliar	0,7	12,62	0,05	15,62	0,06
	Educacional	0,4	9,77	0,02	9,77	0,02
	Espacios públicos	0,2	8,78	0,01	8,78	0,01
	Estacionamiento	0,7	7,30	0,03	7,30	0,03
	Institucional	0,85	6,33	0,03	6,33	0,03
	Cultural	0,25	6,23	0,01	6,23	0,01
	Turístico	0,8	3,72	0,02	3,72	0,02
	Espacios abiertos	0,25	55,72	0,08	3,72	0,01
	Religioso	0,5	2,77	0,01	2,77	0,01
	Asistencial	0,6	2,34	0,01	2,34	0,01
	TOTAL		177,23	0,45	177,23	0,57
				C medio		C medio

Fuente: Elaboración propia 2022

Se puede observar que en el sector de estudio el coeficiente de escorrentía va desde 0,29 en la década de los 40 a 0,79 en la época actual, esta diferencia se da motivado al crecimiento de la ciudad, que influye directamente en la superficie construida. Iniciando con superficies bastante permeables a superficies poco permeables generándose considerables caudales de agua de lluvia que deben ser canalizados.

CAPITULO VI

EL AVT DE MÉRIDA Y SU INFRAESTRUCTURA URBANA

Intensidad: se tomará como referencia una duración de 5 minutos y una frecuencia específica de 10 años, tomando en cuenta las curvas IDF dadas por el ente oficial las cuales no se emiten desde 1960.

En su momento para generar las IDF, Venezuela fue dividida en Regiones siendo asignada la región IV para los Andes y esta a su vez dividida en altitud mayor o menor a 1500 m, correspondiendo en nuestro caso mayor a 1500m.

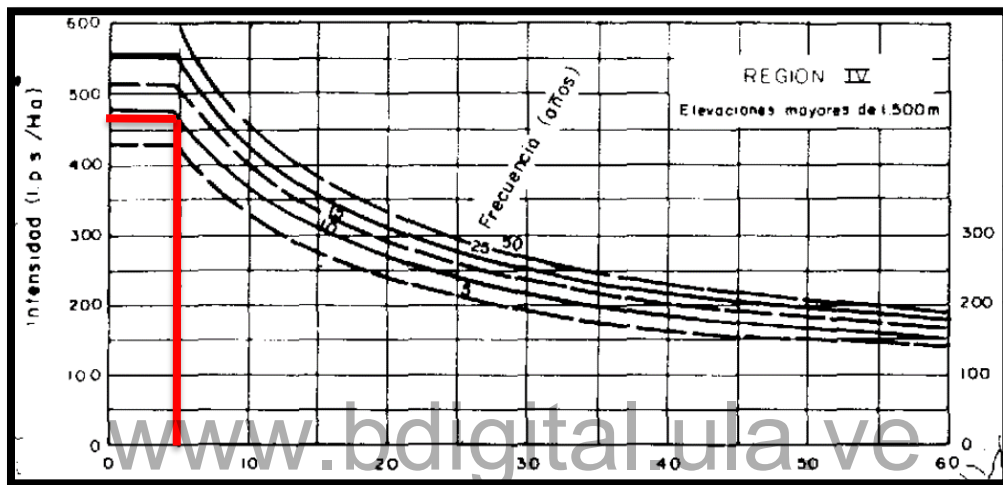


Gráfico 6 Curva de Intensidad Duración y Frecuencia los Andes
Fuente: (Arocha, cloacas y drenajes, 1983)

Para una duración de 5 minutos y una frecuencia de 10 años la intensidad de lluvia aproximada es de **460 l/s ha.**

Es importante tener presente que las tablas a las que se hace referencia tienen más de 50 años y se han dado variaciones en los valores de intensidad producto de la dinámica del planeta, sin embargo, para fines académicos es recomendable utilizar los valores oficiales, ya que el tema de investigación no es generar nuevas curvas IDF.

Con lo descrito anteriormente se puede determinar el caudal de diseño de aguas de lluvias para 1940 y la época actual, resultando lo siguiente:

CAPITULO VI

EL AVT DE MÉRIDA Y SU INFRAESTRUCTURA URBANA

Tabla 31 Caudal aguas de lluvia sector de estudio

AÑO	TRAMO	C	i	A	QLL
			L/s ha	ha	L/s
1940	Inicio AVT	0,365	460	89,56	15037,124
	Final colector	0,54	460	259,56	64474,704
1990-2030	Inicio AVT	0,49	460	89,56	20186,824
	Final colector	0,68	460	259,56	81190,368

Fuente: Elaboración propia 2022

Para el coeficiente de escorrentía se tomó el promedio entre el coeficiente por superficie y coeficiente por uso, y para la intensidad se asumieron los últimos datos oficiales, dejando claro que estos podrían ser mayores para la época actual.

Se puede observar en la tabla anterior, que con el pasar de los años el caudal de aguas de lluvia a canalizar es mayor, producto en primer lugar de los cambios de uso de suelo, de superficies no intervenidas o poco intervenidas a superficies desarrolladas y en segundo lugar a los cambios en los niveles de lluvia de la localidad.

En el siguiente cuadro resumen, se puede observar el caudal para el cual se presume fue diseñado el colector casco central. (1940) y demanda de los años posteriores.

Tabla 32 Resumen caudal de diseño y demandado en sector de estudio

Ubicación	Caudal	Diseño		Demandado	
		1940	1990	2020	2030
		l/s	l/s	l/s	l/s
Inicio AVT	Mínimo aguas negras	17,29	91,25	85,95	87,02
	Máximo aguas de lluvia	15037,12	20186,82	20186,82	20186,82
Final Colector	Mínimo aguas negras	1440,35	1486,18	1525,12	1534,80
	Máximo aguas de lluvia	64474,70	81190,37	81190,37	81190,37

El caudal para 1940 incluye el caudal diseño para 50 años (1990), los años posteriores corresponde a las demandas reales y/o proyecciones con datos del INE

Fuente: Elaboración propia 2022

Módulo de drenaje.

Considerando los cálculos realizados en la Tabla 31, para el año 1990-2030 se dispone de caudal y superficie en el inicio del AVT (aguas arriba plaza Chaplin) y para el final del colector, por diferencia se puede obtener el caudal y área del sector AVT.

Tabla 33 Caudal aguas de lluvia sector AVT

Año 1990-2030	
Área sector de estudio	Caudal aguas de lluvia
ha	L/s
170	61003,544

Fuente: Elaboración propia 2022

Con esta información se obtiene el caudal unitario de aguas de lluvia que permitirá realizar la distribución del caudal asignada a cada subcuenca de sumidero.

$$Q_{ULL} = \frac{Q_{LL}}{A} \quad Q_{ULL}=358,84 \text{ L/s ha}$$

El informe Merbar (Tahal, 1998) realiza un estudio mediante muestreo, donde determina que en el sector Casco Central, aproximadamente el 11,50 % de las aguas proveniente de los techos se encuentran conectadas directamente al sistema de cloacas de las edificaciones, valor el cual se considera para disminuir el caudal superficial de aguas de lluvia a canalizar por cada sumidero.

$$Q_{ULL \text{ disminuido}} = 317,58 \text{ L/s ha}$$

Considerando el caudal unitario disminuido y la superficie de cada sumidero se obtiene el caudal total de cada uno, al igual que el caudal en cada lado de la vía, permitiendo determinar el caudal por metro y lado de vía.

Caudal de agua por subcuenca.

Considerando las Tabla 12 y Tabla 13 (características de servicio de cada sumidero) y el módulo de drenaje disminuido se obtienen los siguientes caudales:

CAPITULO VI

EL AVT DE MÉRIDA Y SU INFRAESTRUCTURA URBANA

Tabla 34 Caudal de subcuenca asociado sumidero en el sector AVT

#	Ubicación sumidero	Caudal (l/s)			Caudal lineal (L/s*m)	
		Sub cuenca	Área Este vía	Área Oeste vía	Total sin vía	Este vía Oeste vía
1	Av. 1 calle 13	418,32	252,66	0,00	252,66	19,44 0,00
2	Av. 2 calle 14	720,43	0,00	461,79	461,79	0,00 33,01
3	Av. 3 calle 14	550,79	31,13	479,44	510,57	3,33 51,33
4	Av.6 calle 14	1274,29	886,66	313,58	1200,24	125,23 44,29
5	Av.8 calle 16	1144,40	948,94	136,92	1085,86	131,80 19,02
6	Av. 2 calle19	1717,31	649,75	956,96	1606,71	95,55 140,73
7	Av. 3 calle 19	1349,09	547,90	692,16	1240,06	77,72 98,18
8	Av. 4 calle 19	1309,38	430,47	773,76	1204,23	61,23 110,06
9	Av. 5 calle 19	1353,23	427,81	818,53	1246,34	61,20 117,10
10	Av. 6 calle 19	939,68	315,44	560,19	875,63	45,06 80,03
11	Av. 7 calle 19	830,06	417,35	347,05	764,4	59,62 49,58
12	Av. 8 calle 19	757,04	230,17	468,07	698,24	37,73 76,73
13	Belén calle 19	195,52	92,72	77,36	170,08	15,45 12,89
14	Belén calle 18	688,45	140,38	477,93	618,31	23,40 79,65
15	Av. 3 calle 23	2010,90	421,15	1498,31	1919,46	60,16 214,04
16	Av. 4 calle 23	1162,62	464,07	562,93	1027	42,19 51,18
17	Av. 5 calle 23	1066,58	448,76	533,94	982,7	61,47 73,14
18	Av. 6 calle 23	1151,61	501,38	568,09	1069,47	71,63 81,16
19	Av. 7 calle23	1142,17	555,24	501,26	1056,5	76,06 68,67
20	Av. 8 calle 23	557,81	0,00	487,86	487,86	0,00 81,31
21	Av. 2 calle 26	356,66	290,91	0,00	290,91	41,56 0,00
22	Av. 3 calle 27	913,76	336,42	468,14	804,56	39,58 55,08
23	Av. 4 calle26	860,78	324,78	458,00	782,78	46,40 65,43
24	Av. 4 calle 27	321,54	109,19	175,18	284,37	15,60 25,03
25	Av. 5 calle 26	862,20	384,73	418,36	803,09	54,96 59,77
26	Av. 6 calle26	742,26	388,25	293,76	682,01	55,46 41,97
27	Av. 7 calle 26	936,39	479,78	394,33	874,11	68,54 56,33
28	Av. 8 calle 26	791,66	322,13	392,66	714,79	46,02 56,09
29	Av. Don Tulio calle 26	90,82	0,00	41,86	41,86	0,00 1,99
30	Av. Don Tulio calle 27	178,66	0,00	149,54	149,54	0,00 14,95
31	Av. Dom. Peña calle 26	1214,10	114,58	859,60	974,18	5,46 40,93
32	Av. Dom. Peña estación trolcable	524,05	127,86	314,87	442,73	6,09 14,99
33	Av. Dom. Peña hotel el balcón este	240,90	73,83	104,69	178,52	3,52 4,99
34	Av. Dom. Peña hotel el balcón oeste	75,37	23,45	15,87	39,32	1,12 0,76
35	Paseo la Feria calle 2	257,99	80,76	126,09	206,85	6,73 10,51
36	Paseo la Feria calle 1	561,55	307,47	175,34	482,81	25,62 14,61
37	Paseo la Feria calle 3	482,09	349,93	0,00	349,93	20,58 0,00
38	Av. 2 calle 31	794,80	652,58	0,00	652,58	72,51 0,00
39	Av. 3 calle 33	1497,20	654,14	650,55	1304,69	59,47 59,14
40	Av. 4 calle 31	1067,91	447,29	499,98	947,27	44,73 50,00
41	Av. 4 calle 34	804,58	391,26	335,33	726,59	43,47 37,26
42	Av. Don Tulio calle 31	1042,39	263,12	541,19	804,31	13,85 28,48
43	Av. Don Tulio calle 36	3263,07	775,12	2195,05	2970,17	40,80 115,53
44	Av. Don Tulio calle 37	1177,83	109,16	1005,91	1115,07	5,75 52,94
45	Av. 2 calle 38	1044,63	795,14	0,00	795,14	86,43 0,00
Total		40442,86				

Fuente: Elaboración propia 2022

Tiempo de viaje o concentración.

Considerando las características del sector, el tiempo de viaje en el colector para el sector de estudio será el siguiente:

$$T_c = 0,0195 \left[\frac{L^3}{H} \right]^{0,385}$$

Tabla 35 Tiempo de Concentración

Tramo		L	Cota		H	Tc
Inicio AVT	Final Colector	Longitud m	Inicio m	Fin m	Diferencia cota m	Tiempo concentración min
1-44	1-136	4468,12	1687,00	1523,50	163,50	45,05

Fuente: Elaboración propia 2022

Flujo interno en el sector.

Sistema de recolección.

Evaluación del diámetro de tubería del colector Casco Central.

El informe MERBAR (Tahal, 1998) describe que, según trabajo de campo realizado, el diámetro de la tubería en el punto inicial del AVT es de 10" y al final del recorrido del colector es un cajón de 2,60m*2,60m, como se desconoce la pendiente real a la que está funcionando el colector en cada uno de los tramos, se establece un rango de pendiente definido de la siguiente manera, pendiente mínima: la topográfica y pendiente máxima 12% adicionalmente se considera que las mismas trabajan a un 80% de su capacidad, como canal abierto.

Tabla 36 Características de los tramos inicial y final del colector de estudio

Ubicación	Punto		Longitud (m)	Diámetro (")	Elevación punto (m)	
Inicio AVT	1-44	1-45	39	10"	1687	1683,5
Final colector	1-134	1-136	193,92	2,60m x 2,60m	1533	1523,5

Fuente: Elaboración propia 2022

CAPITULO VI

EL AVT DE MÉRIDA Y SU INFRAESTRUCTURA URBANA

Tabla 37 Capacidad de la tubería del colector tramo inicial AVT

DATO	VALOR	UNIDAD	OBSERVACION
Diámetro	10	pulgadas	
Diámetro	0,254	m	
Área sección transversal	0,0507	m	
% Área útil sección transversal	80	%	
Área útil sección transversal	0,0405	m	
Perímetro húmedo	0,532	m	Determinado gráficamente en cad
Cota inicial	1687	m	
Cota final	1683,5	m	
Longitud	39	m	
n	0,016	---	Concreto en bruto
Pendiente(S)	0,0897		Pendiente topográfica 8,97%
Pendiente máx.	0,12		Pendiente máxima 12%
Radio hidráulico (R)	0,076	m	
Caudal (Q)	0,136	m ³ /s	Pendiente 8,97%
Caudal (Q)	136,412	l/s	
Caudal (Q)	0,158	m ³ /s	Pendiente 12%
Caudal (Q)	157,740	l/s	
Capacidad de la tubería: 136,412 l/s < Q < 157,74 l/s			

Fuente: Elaboración propia 2022

Tabla 38 Capacidad de la tubería del colector. tramo final

DATO	VALOR	UNIDAD	OBSERVACION
Diámetro	2,60 *2,60	m	
Área sección transversal	6,760	m	
% Área útil sección transversal	80	%	
Área útil sección transversal	5,4080	m	
Perímetro húmedo	6,76	m	Determinado gráficamente en cad
Cota inicial	1533	m	
Cota final	1523,5	m	
Longitud	193,92	m	
n	0,016	---	Concreto en bruto
Pendiente(S)	0,049		Pendiente topográfica 4,90%
Pendiente máx.	0,12		Pendiente máxima 12%
Radio hidráulico (R)	0,8	m	
Caudal (Q)	64,470	m ³ /s	pendiente 8,97%
Caudal (Q)	64470,424	l/s	
Caudal (Q)	100,902	m ³ /s	pendiente 12%
Caudal (Q)	100902,203	l/s	
Capacidad del cajón: 64470,424 l/s < Q < 100902,203 l/s			

Fuente: Elaboración propia 2022

Sistema de recolección.

Caudal de sumidero.

El caudal de captación de cada sumidero está condicionado por el caudal máximo a transportar por la vía correspondiente.

Los sumideros existentes en el sector de estudio son 1,5 m de ancho ventana, y una depresión de =0,30m asumiendo que inicialmente el sistema de drenaje fue diseñado para un ancho mojado de 1,5m se tiene un % de interceptación del 60% como se puede observar en la siguiente imagen:

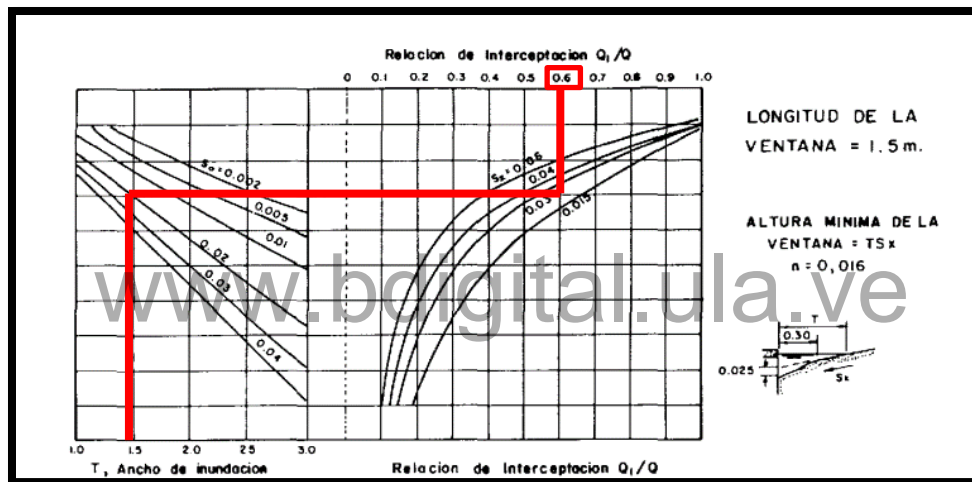


Imagen 34 Relación de interceptación en sumideros de ventana (Cuneta = 0,30 m)
Fuente: (Arocha, cloacas y drenajes, 1983)

Se puede observar en la imagen anterior que a mayor ancho mojado, menor es el porcentaje de interceptación.

En relación al caudal máximo por sub cuenca se calcula considerando la siguiente formula:

$$Q_{mv} = 0.00175 * \frac{Z}{n} * S l^{\frac{1}{2}} * Y^{\frac{2}{3}}$$

Tomando como referencia la información de las tablas 44 y 45 y la formulas anteriores se tiene los siguiente:

CAPITULO VI

EL AVT DE MÉRIDA Y SU INFRAESTRUCTURA URBANA

Tabla 39 Caudal por sumideros existentes

#	Ubicación sumidero	Cantidad sumideros	Q max por lado de calle	Q Sumidero (0,60) L=1,5 d=0,30 l/s	Q Sumidero Total: Q sumidero * cantidad
1	Av. 1 calle 13	1	13,94	8,37	8,37
2	Av. 2 calle 14	1	14,58	8,75	8,75
3	Av. 3 calle 14	2	8,07	4,84	9,69
4	Av.6 calle 14	2	19,11	11,46	22,93
5	Av.8 calle 16	1	7,98	4,79	4,79
6	Av. 2 calle19	2	17,76	10,65	21,31
7	Av. 3 calle 19	1	12,85	7,71	7,71
8	Av. 4 calle 19	2	16,00	9,60	19,20
9	Av. 5 calle 19	2	15,12	9,07	18,15
10	Av. 6 calle 19	2	14,19	8,52	17,03
11	Av. 7 calle 19	1	13,32	7,99	7,99
12	Av. 8 calle 19	2	13,74	8,24	16,48
13	Belén calle 19	1	12,97	7,78	7,78
14	Belén calle 18	1	19,12	11,47	11,47
15	Av. 3 calle 23	2	14,13	8,48	16,95
16	Av. 4 calle 23	1	16,48	9,89	9,89
17	Av. 5 calle 23	1	15,10	9,06	9,06
18	Av. 6 calle 23	2	15,52	9,31	18,62
19	Av. 7 calle23	2	17,25	10,35	20,71
20	Av. 8 calle 23	1	18,52	11,11	11,11
21	Av. 2 calle 26	2	17,26	10,36	20,72
22	Av. 3 calle 27	2	11,31	6,78	13,57
23	Av. 4 calle26	3	13,64	8,18	24,55
24	Av. 4 calle 27	2	4,99	2,99	5,98
25	Av. 5 calle 26	2	15,45	9,27	18,54
26	Av. 6 calle26	1	16,17	9,70	9,70
27	Av. 7 calle 26	1	13,70	8,22	8,22
28	Av. 8 calle 26	1	11,34	6,80	6,80
29	Av. Don Tulio calle 26	1	6,21	3,73	3,73
30	Av. Don Tulio calle 27	2	5,66	3,39	6,79
31	Av. Dom. Peña calle 26	2	2,69	1,61	3,22
32	Av. Dom. Peña estación trolcable	2	4,23	2,54	5,07
33	Av. Dom. Peña hotel el balcón este	2	7,42	4,45	8,90
34	Av. Dom. Peña hotel el balcón oeste	2	8,99	5,40	10,79
35	Paseo la Feria calle 2	2	7,99	4,79	9,59
36	Paseo la Feria calle 1	1	6,65	3,99	3,99
37	Paseo la Feria calle 3	4	5,93	3,56	14,22
38	Av. 2 calle 31	2	13,11	7,87	15,73
39	Av. 3 calle 33	1	15,78	9,47	9,47
40	Av. 4 calle 31	2	14,60	8,76	17,52
41	Av. 4 calle 34	1	13,05	7,83	7,83
42	Av. Don Tulio calle 31	2	17,60	10,56	21,12
43	Av. Don Tulio calle 36	3	16,49	9,90	29,69
44	Av. Don Tulio calle 37	1	18,62	11,17	11,17
45	Av. 2 calle 38	1	15,38	9,23	9,23
				Total	564,14

Fuente: Elaboración propia 2022

Como se puede observar en la tabla 39 el caudal máximo capaz de transportar los sumideros existentes en el sector de estudio corresponde a 564,14 l/s. Es importante recordad que, aunque se tienen sumideros, los mismo se encuentran inoperativos.

Caudal de cunetas y vialidad.

El sector de estudio no cuenta con el diseño de cunetas para el transporte de aguas de lluvia, por otra parte, la vialidad se comporta como una gran cuneta por lo cual para efectos de esta investigación se evaluará la capacidad de transporte de la vía considerando que el ancho mojado de vía debería ser máximo de 1,5m y el ancho seco de vía debería ser por lo menos de 3 metros, valores menores a esto pueden ser aceptables, dejando claro, que 0 indica vía completamente mojada. El cálculo de capacidad se realiza considerando la fórmula de Manning

$$Q = \frac{R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n} * A$$

www.bdigital.ula.ve

CAPITULO VI EL AVT DE MÉRIDA Y SU INFRAESTRUCTURA URBANA

Tabla 40 Caudal de vía ancho mojado 1,5m

#	Ubicación sumidero	ancho mojado/2 m	alto mojado (m=2%) m	Q Caudal 1/2 vía m3/s	Q vía m3/s	Q vía l/s
1	Av. 1 calle 13	1.5	0.03	0.016	0.032	32.49
2	Av. 2 calle 14	1.5	0.03	0.017	0.034	33.97
3	Av. 3 calle 14	1.5	0.03	0.009	0.019	18.81
4	Av.6 calle 14	1.5	0.03	0.022	0.045	44.52
5	Av.8 calle 16	1.5	0.03	0.009	0.019	18.59
6	Av. 2 calle19	1.5	0.03	0.021	0.041	41.38
7	Av. 3 calle 19	1.5	0.03	0.015	0.030	29.95
8	Av. 4 calle 19	1.5	0.03	0.019	0.037	37.28
9	Av. 5 calle 19	1.5	0.03	0.018	0.035	35.24
10	Av. 6 calle 19	1.5	0.03	0.017	0.033	33.07
11	Av. 7 calle 19	1.5	0.03	0.016	0.031	31.04
12	Av. 8 calle 19	1.5	0.03	0.016	0.032	32.01
13	Belén calle 19	1.5	0.03	0.015	0.030	30.22
14	Belén calle 18	1.5	0.03	0.022	0.045	44.56
15	Av. 3 calle 23	1.5	0.03	0.016	0.033	32.91
16	Av. 4 calle 23	1.5	0.03	0.019	0.038	38.39
17	Av. 5 calle 23	1.5	0.03	0.018	0.035	35.18
18	Av. 6 calle 23	1.5	0.03	0.018	0.036	36.16
19	Av. 7 calle23	1.5	0.03	0.020	0.040	40.20
20	Av. 8 calle 23	1.5	0.03	0.022	0.043	43.14
21	Av. 2 calle 26	1.5	0.03	0.020	0.040	40.23
22	Av. 3 calle 27	1.5	0.03	0.013	0.026	26.34
23	Av. 4 calle26	1.5	0.03	0.016	0.032	31.78
24	Av. 4 calle 27	1.5	0.03	0.006	0.012	11.62
25	Av. 5 calle 26	1.5	0.03	0.018	0.036	36.01
26	Av. 6 calle26	1.5	0.03	0.019	0.038	37.69
27	Av. 7 calle 26	1.5	0.03	0.016	0.032	31.93
28	Av. 8 calle 26	1.5	0.03	0.013	0.026	26.42
29	Av. Don Tulio calle 26	1.5	0.03	0.007	0.014	14.47
30	Av. Don Tulio calle 27	1.5	0.03	0.007	0.013	13.18
31	Av. Dom. Peña calle 26	1.5	0.03	0.003	0.006	6.26
32	Av. Dom. Peña estación trolcable	1.5	0.03	0.005	0.010	9.85
33	Av. Dom. Peña hotel el balcón este	1.5	0.03	0.009	0.017	17.28
34	Av. Dom. Peña hotel el balcón oeste	1.5	0.03	0.010	0.021	20.95
35	Paseo la Feria calle 2	1.5	0.03	0.009	0.019	18.61
36	Paseo la Feria calle 1	1.5	0.03	0.008	0.015	15.49
37	Paseo la Feria calle 3	1.5	0.03	0.007	0.014	13.81
38	Av. 2 calle 31	1.5	0.03	0.015	0.031	30.55
39	Av. 3 calle 33	1.5	0.03	0.018	0.037	36.78
40	Av. 4 calle 31	1.5	0.03	0.017	0.034	34.02
41	Av. 4 calle 34	1.5	0.03	0.015	0.030	30.40
42	Av. Don Tulio calle 31	1.5	0.03	0.021	0.041	41.01
43	Av. Don Tulio calle 36	1.5	0.03	0.019	0.038	38.43
44	Av. Don Tulio calle 37	1.5	0.03	0.022	0.043	43.38
45	Av. 2 calle 38	1.5	0.03	0.018	0.036	35.84
					Total	1351.43

Fuente: Elaboración propia 2022

CAPITULO VI

EL AVT DE MÉRIDA Y SU INFRAESTRUCTURA URBANA

Tabla 41 Caudal de vía ancho seco 0m (ancho mojado=ancho de vía)

#	Ubicación sumidero	ancho mojado/2	alto mojado (m=2%)	Q Caudal 1/2 vía	Q vía	Q vía
		m	m	m3/s	m3/s	l/s
1	Av. 1 calle 13	6.5	0.13	0.81	1.62	1621.69
2	Av. 2 calle 14	6.995	0.14	1.03	2.06	2061.76
3	Av. 3 calle 14	4.67	0.09	0.19	0.39	388.75
4	Av.6 calle 14	3.54	0.07	0.22	0.44	439.53
5	Av.8 calle 16	3.6	0.07	0.10	0.19	191.92
6	Av. 2 calle19	3.4	0.07	0.18	0.37	366.83
7	Av. 3 calle 19	3.525	0.07	0.15	0.29	292.36
8	Av. 4 calle 19	3.515	0.07	0.18	0.36	361.15
9	Av. 5 calle 19	3.495	0.07	0.17	0.34	336.20
10	Av. 6 calle 19	3.5	0.07	0.16	0.32	316.77
11	Av. 7 calle 19	3.5	0.07	0.15	0.30	297.26
12	Av. 8 calle 19	3.05	0.06	0.11	0.21	212.39
13	Belén calle 19	3	0.06	0.10	0.19	191.87
14	Belén calle 18	3	0.06	0.14	0.28	282.93
15	Av. 3 calle 23	3.5	0.07	0.16	0.32	315.25
16	Av. 4 calle 23	5.5	0.11	0.61	1.23	1227.24
17	Av. 5 calle 23	3.65	0.07	0.19	0.38	376.87
18	Av. 6 calle 23	3.5	0.07	0.17	0.35	346.33
19	Av. 7 calle23	3.65	0.07	0.22	0.43	430.67
20	Av. 8 calle 23	3	0.06	0.14	0.27	273.93
21	Av. 2 calle 26	3.5	0.07	0.19	0.39	385.29
22	Av. 3 calle 27	4.25	0.09	0.21	0.42	423.46
23	Av. 4 calle26	3.5	0.07	0.15	0.30	304.42
24	Av. 4 calle 27	3.5	0.07	0.06	0.11	111.26
25	Av. 5 calle 26	3.5	0.07	0.17	0.34	344.86
26	Av. 6 calle26	3.5	0.07	0.18	0.36	360.98
27	Av. 7 calle 26	3.5	0.07	0.15	0.31	305.78
28	Av. 8 calle 26	3.5	0.07	0.13	0.25	253.05
29	Av. Don Tulio calle 26	10.5	0.21	1.30	2.60	2595.31
30	Av. Don Tulio calle 27	5	0.10	0.16	0.33	326.80
31	Av. Dom. Peña calle 26	10.5	0.21	0.56	1.12	1122.03
32	Av. Dom. Peña estación trolcable	10.5	0.21	0.88	1.77	1766.66
33	Av. Dom. Peña hotel el balcón este	10.5	0.21	1.55	3.10	3098.73
34	Av. Dom. Peña hotel el balcón oeste	10.5	0.21	1.88	3.76	3756.95
35	Paseo la Feria calle 2	6	0.12	0.38	0.75	750.50
36	Paseo la Feria calle 1	6	0.12	0.31	0.62	624.38
37	Paseo la Feria calle 3	8.5	0.17	0.70	1.41	1409.39
38	Av. 2 calle 31	4.5	0.09	0.29	0.57	571.89
39	Av. 3 calle 33	5.5	0.11	0.59	1.18	1175.79
40	Av. 4 calle 31	5	0.10	0.42	0.84	843.50
41	Av. 4 calle 34	4.5	0.09	0.28	0.57	569.19
42	Av. Don Tulio calle 31	9.5	0.19	2.82	5.63	5630.23
43	Av. Don Tulio calle 36	9.5	0.19	2.64	5.28	5276.56
44	Av. Don Tulio calle 37	9.5	0.19	2.98	5.96	5955.87
45	Av. 2 calle 38	4.6	0.09	0.36	0.71	711.53
Total						49006.12

Fuente: Elaboración propia 2022

Como se puede observar en las tablas 40 y 41 la capacidad ideal de transporte de agua de lluvia para la vía sería en total para el sector de estudio de 1351,43 l/s y el máximo que corresponde a la capacidad total de la vía de 49006,12 l/s.

Uso alternativo de aguas de lluvias.

El sector de estudio actualmente no cuenta con usos alternativos para las aguas de lluvia.

Flujo de salida de aguas de lluvia.

Capacidad de recolección de aguas de lluvia.

Considerando las tablas: Tabla 34 Caudal de subcuenca asociado sumidero en el sector AVT, Tabla 39 Caudal por sumideros existentes, Tabla 41 Caudal de vía ancho seco 0m (ancho mojado=ancho de vía) y la siguiente formula:

$$\% \text{RecLL} = 100 * (1 - \frac{Q_e}{Q_c})$$

Se evalúa la capacidad de recolección obteniendo la siguiente tabla:

CAPITULO VI

EL AVT DE MÉRIDA Y SU INFRAESTRUCTURA URBANA

Tabla 42 Capacidad de recolección de aguas de lluvia disponible

#	Ubicación sumidero	QLL por cuenca	Captación vía	Captación sumidero	Captación total	RecLL
			l/s			%
1	Av. 1 calle 13	418,32	1621,69	8,37	1630,05	74,34
2	Av. 2 calle 14	720,43	2061,76	8,75	2070,50	65,21
3	Av. 3 calle 14	550,79	388,75	9,69	398,44	-38,24
4	Av.6 calle 14	1274,29	439,53	22,93	462,46	-175,55
5	Av.8 calle 16	1144,40	191,92	4,79	196,71	-481,77
6	Av. 2 calle19	1717,31	366,83	21,31	388,14	-342,45
7	Av. 3 calle 19	1349,09	292,36	7,71	300,07	-349,59
8	Av. 4 calle 19	1309,38	361,15	19,20	380,35	-244,25
9	Av. 5 calle 19	1353,23	336,20	18,15	354,35	-281,89
10	Av. 6 calle 19	939,68	316,77	17,03	333,80	-181,51
11	Av. 7 calle 19	830,06	297,26	7,99	305,26	-171,92
12	Av. 8 calle 19	757,04	212,39	16,48	228,88	-230,76
13	Belén calle 19	195,52	191,87	7,78	199,65	2,07
14	Belén calle 18	688,45	282,93	11,47	294,41	-133,84
15	Av. 3 calle 23	2010,90	315,25	16,95	332,20	-505,33
16	Av. 4 calle 23	1162,62	1227,24	9,89	1237,13	6,02
17	Av. 5 calle 23	1066,58	376,87	9,06	385,93	-176,37
18	Av. 6 calle 23	1151,61	346,33	18,62	364,96	-215,55
19	Av. 7 calle23	1142,17	430,67	20,71	451,37	-153,04
20	Av. 8 calle 23	557,81	273,93	11,11	285,04	-95,69
21	Av. 2 calle 26	356,66	385,29	20,72	406,00	12,15
22	Av. 3 calle 27	913,76	423,46	13,57	437,02	-109,09
23	Av. 4 calle26	860,78	304,42	24,55	328,98	-161,65
24	Av. 4 calle 27	821,54	111,26	5,98	117,25	-174,25
25	Av. 5 calle 26	862,20	344,86	18,54	363,40	-137,26
26	Av. 6 calle26	742,26	360,98	9,70	370,68	-100,24
27	Av. 7 calle 26	936,39	305,78	8,22	314,00	-198,21
28	Av. 8 calle 26	791,66	253,05	6,80	259,85	-204,66
29	Av. Don Tulio calle 26	90,82	2595,31	3,73	2599,03	96,51
30	Av. Don Tulio calle 27	178,66	326,80	6,79	333,59	46,44
31	Av. Dom. Peña calle 26	1214,10	1122,03	3,22	1125,26	-7,90
32	Av. Dom. Peña estación trolcable	524,05	1766,66	5,07	1771,74	70,42
33	Av. Dom. Peña hotel el balcón este	240,90	3098,73	8,90	3107,63	92,25
34	Av. Dom. Peña hotel el balcón oeste	75,37	3756,95	10,79	3767,74	98,00
35	Paseo la Feria calle 2	257,99	750,50	9,59	760,09	66,06
36	Paseo la Feria calle 1	561,55	624,38	3,99	628,37	10,63
37	Paseo la Feria calle 3	482,09	1409,39	14,22	1423,62	66,14
38	Av. 2 calle 31	794,80	571,89	15,73	587,63	-35,26
39	Av. 3 calle 33	1497,20	1175,79	9,47	1185,26	-26,32
40	Av. 4 calle 31	1067,91	843,50	17,52	861,02	-24,03
41	Av. 4 calle 34	804,58	569,19	7,83	577,02	-39,44
42	Av. Don Tulio calle 31	1042,39	5630,23	21,12	5651,34	81,56
43	Av. Don Tulio calle 36	3263,07	5276,56	29,69	5306,24	38,51
44	Av. Don Tulio calle 37	1177,83	5955,87	11,17	5967,04	80,26
45	Av. 2 calle 38	1044,63	711,53	9,23	720,76	-44,93
Total		40442,86	49006,12	564,14	49570,26	18,41

Fuente: Elaboración propia 2022

CAPITULO VI EL AVT DE MÉRIDA Y SU INFRAESTRUCTURA URBANA

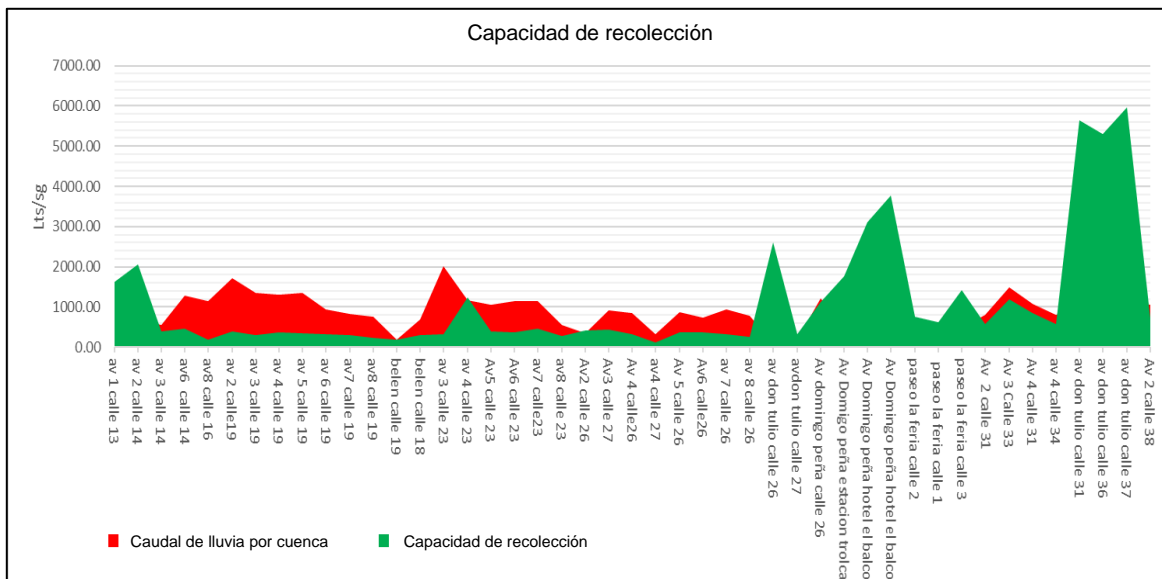


Gráfico 7 Capacidad de recolección
Fuente: Elaboración propia 2022

La información antes descrita, permite concluir que se tienen varias zonas inundables (color rojo en la Tabla 47 y Gráfico 7), que representan el 40% de la superficie cubierta, siendo el mayor grado de inundación el punto 15 - Av 3 Calle 23 - en las cercanías de la plaza Bolívar, en la Imagen 35 se puede observar la distribución espacial de las zonas inundables.

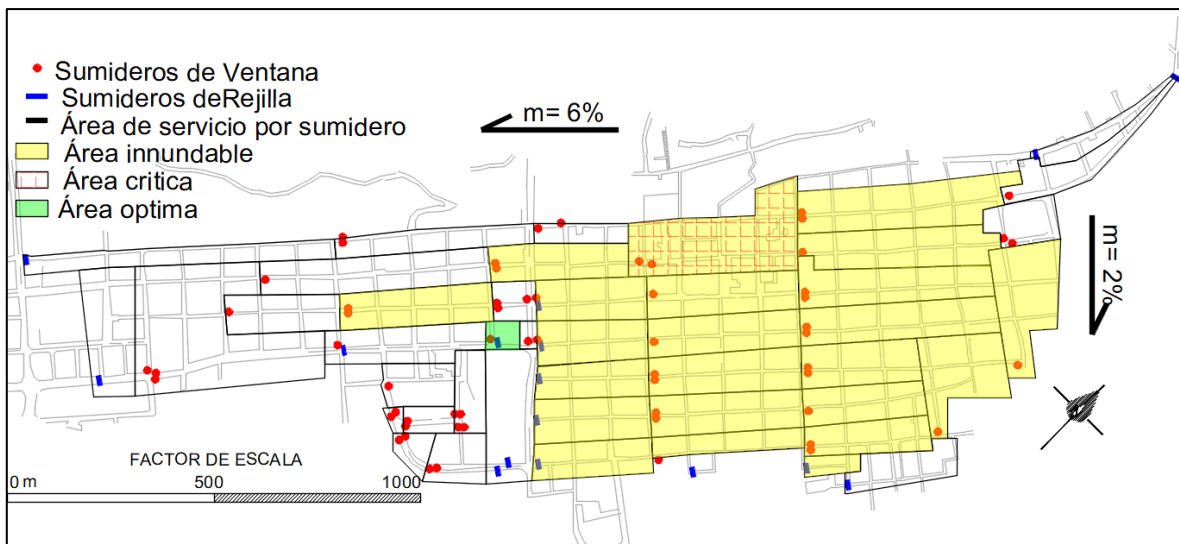


Imagen 35 Zonas inundables en AVT
Fuente: Elaboración propia 2022

CAPITULO VI

EL AVT DE MÉRIDA Y SU INFRAESTRUCTURA URBANA

Considerando que el caudal total de diseño canalizado por todas las subcuencas debería ser de 49920,12 l/s se tiene lo siguiente:

En este momento asumiendo que los sumideros existentes puedan encontrarse operativos al 100%, situación que dista de la realidad, se tendría un caudal superficial por canalizar entre el 83 y 98%.

De no existir sumideros o estos no estar operativos, una parte de la vialidad aproximadamente el 40% estaría inundada en momento de lluvias.

Comparando el área total del colector casco central en el AVT (170 ha) con el área cubierta por todos los sumideros, incluida la vialidad (157,19 ha) se tiene que aproximadamente el escurrimiento de 12,80ha, (4596,02 l/s) no está canalizado a ningún sumidero.

En conclusión, se tiene un área critica de 40% y un caudal total por canalizar entre 46030,13 l/s y 50522,13 l/s.

Capacidad de transporte de aguas de lluvia.

Capacidad de transporte por diseño.

Considerando la Tabla 32 y la siguiente formula.

$$\%C_{trD} = 100 - \frac{Q_t * 100}{Q_d}$$

Se evalúa la capacidad por diseño obteniendo la siguiente tabla:

Tabla 43 Capacidad de transporte de ALL disponible por diseño

Ubicación	%CtD Disponible	Caudal
Inicio AVT	-427,76	Q min aguas negras
Inicio AVT	-34,25	Q max aguas de lluvia
Final colector	-3,18	Q min aguas negras
Final colector	-25,93	Q max aguas de lluvia

Fuente: Elaboración propia 2022

Se puede observar, que en el punto inicial del AVT para la década de los 90

la demanda del colector había pasado la demanda de diseño mínima en un 427% y la máxima en un 34,25% aproximadamente, en caso del final del colector la demanda de diseño mínima ha sido pasada en un 3,18% y la máxima en un 25,93%. Es importante resaltar que durante los 80 años de vida de colector al mismo no se le han realizados modificaciones importantes por lo cual sigue prestando servicio, pero con una mayor demanda por parte de la ciudad ya que la misma ha crecido y aumentado su población.

Como la demanda máxima del colector son las aguas de lluvias, se puede decir que el mismo se encuentra en óptimas condiciones para el traslado de aguas negras que se corresponde a la demanda constante del sistema, caudal mínimo.

Considerando que las aguas de lluvia son un caudal intermitente y poco predecible y de acuerdo a los cálculos realizados, se presume en la actualidad una demanda 25% mayor a la prevista inicialmente, por lo cual es necesario considerar medidas que permitan mitigar el posible colapso del sistema en momentos de lluvia extrema.

Capacidad de transporte por colector existente.

Considerando las tablas Tabla 12, Tabla 13, Tabla 32, Tabla 39 y la siguiente formula:

$$\%CTrT = 100 - \frac{Qd * 100}{Qt}$$

Se evalúa la capacidad de la tubería obteniendo la siguiente tabla:

Tabla 44 Capacidad de transporte de aguas de lluvia por tubería

Ubicación	Caudal demandado (1990) l/s	Caudal Tubería m=topográfica l/s	Caudal Tubería m=12% l/s	%CtrT Disponibile m=topográfica %	%CtrT Disponibile m=12% %	Caudal
Inicio	91.25	136.41	157.74	33.11	42.15	Q min aguas negras
AVT	20186.82	136.41	157.74	-14698.64	-12697.53	Qmax aguas de lluvia
Final	1486.18	64470.42	100902.20	97.69	98.53	Q min aguas negras
Colector	81190.37	64470.42	100902.20	-25.93	19.54	Qmax aguas de lluvia

Fuente: Elaboración propia 2022

Comparando el caudal que es capaz de transportar la tubería y el caudal que transporta actualmente, se tiene que para el inicio del AVT el colector está en

capacidad para la demanda real de aguas negras.

En la parte final del colector, se puede determinar que el cajón está en capacidad suficiente para la demanda actual de aguas negras quedando disponible un 98% de la capacidad del colector para el transporte de fluidos.

En el caso de las aguas de lluvia el colector en el inicio del AVT no tiene capacidad para transportar las aguas de lluvia generadas, presentando un déficit del 14700% y en el final de colector su capacidad para transportar aguas de lluvia es óptima disponiendo de máximo 20% libre de la capacidad del colector en este punto para transportar las aguas de lluvia.

Conclusión del análisis de metabolismo del sistema de drenaje urbano del AVT.

El análisis antes descrito permite concluir lo siguiente:

- 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 lluvias 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.

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

En el aparte anterior se concluyó que el sistema de drenaje se encuentra en deficiencia ya que el caudal generado es mayor que el caudal canalizado por lo cual la recomendación fue plantear una mejora al sistema de drenaje urbano la cual será evaluada mediante la utilización de software para modelado.

Modelado

El modelado se dividirá en 2 etapas: la primera considerará el funcionamiento del colector solo para aguas servidas, y en la segunda se incluirá al colector las aguas de lluvia con diseño de tormenta para 5 minutos y 10 años y para 5 minutos y 25 años.

Modelo Matemático

Utilizado como herramienta para simular el comportamiento del sector de estudio ante criterios específicos propuestos

El modelo desarrollado se encuentra disponible mediante el anexo 12.

Colector principal AVT funcionamiento exclusivo para aguas negras.

Con la información proporcionada en el anexo 1 se procede a realizar el modelado del colector para la década del 40', 90', 2020' y 2030'. En relación a los modelos los de la década 2020' y 2030, no muestran diferencia.

CAPITULO VI

EL AVT DE MÉRIDA Y SU INFRAESTRUCTURA URBANA

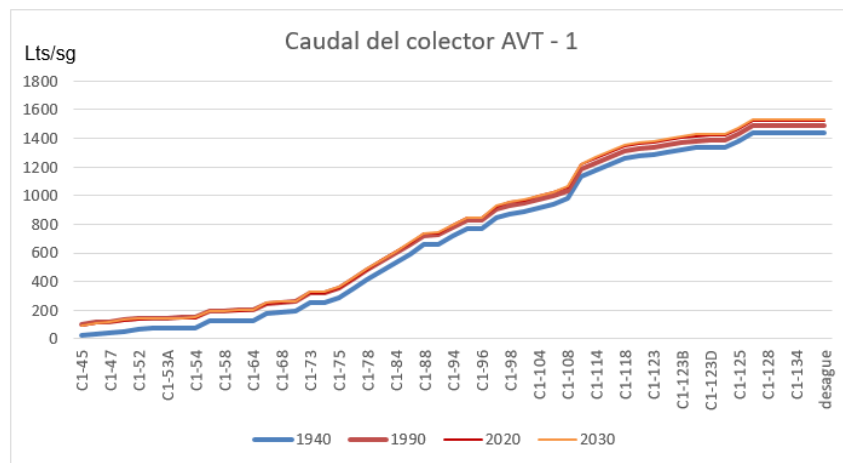


Gráfico 8 Caudal del colector AVT1
Fuente: Elaboración propia 2022

Los cálculos presentados, en relación al caudal para la década de los 40' incluye la previsión para 50 años. Cuando se observa la demanda real de 1990, 2020 y 2022, esta es superior a lo previsto en principio en 1940. (ver Gráfico 8), sin embargo, como se demostró en el capítulo anterior la capacidad de la tubería es mayor que la demanda de aguas negras.

La Imagen 136 permite observar como el caudal inicial de aguas negras aumenta de 1940 a 1990 presentando mayor cantidad de tramos críticos para 1990 (color rojo).

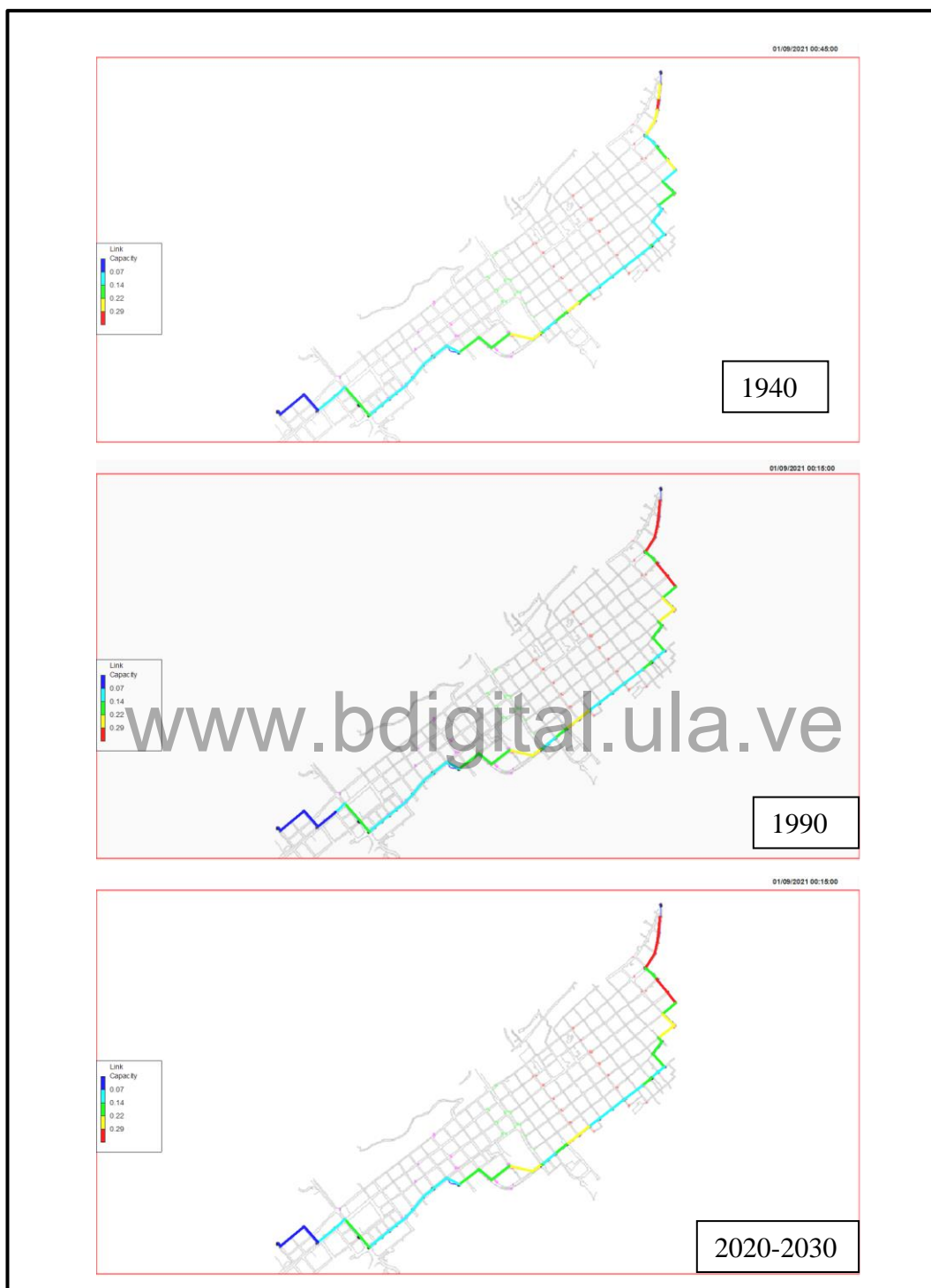


Imagen 36 Capacidad transportada de AN del Colector AVT-1 (1940-1990-2020-2030)
Fuente: Elaboración propia 2022 con SWMM 5.2

Colector principal AVT. Funcionamiento aguas negras y de lluvia.

Como ya se tiene el diseño del colector para el funcionamiento de aguas servidas se procede a incluir los parámetros para modelar lluvias, los cuales incluyen la ubicación de los sumideros (anexo 2), la delimitación de las subcuencas asociada a cada sumidero (anexo 3) y la conexión de los sumideros al colector (anexo 4).

Para el modelado con aguas de lluvia de los tres criterios antes descritos se considera el modelo del colector para 1990 que es el que presenta el pico más alto de demanda.

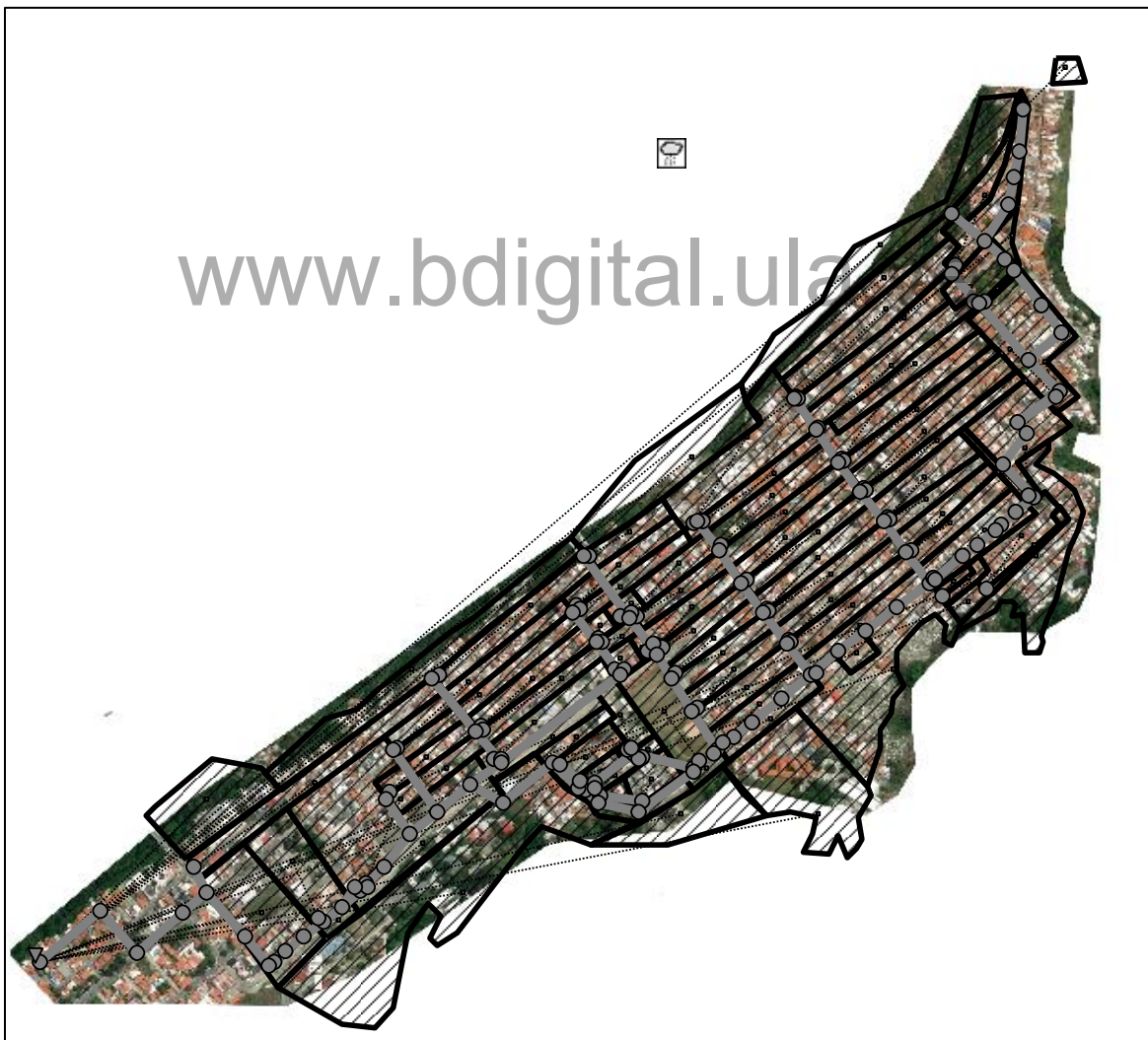


Imagen 37 Sub cuencas y sumideros del AVT-1
Fuente: Elaboración propia 2022 SWMM 5.2

Información pluviométrica

El comportamiento pluviométrico para Mérida presenta un periodo lluvioso que abarca los meses de marzo hasta noviembre, con valores que pueden sobrepasar los 300 milímetros de precipitación mensual, principalmente en los meses de mayo, junio, septiembre y octubre. Se puede apreciar un descenso de las precipitaciones entre julio y agosto de acuerdo a las estadísticas. Los meses de diciembre, enero, febrero y marzo se encuentra enmarcado dentro del periodo seco, sin embargo, para el mes de diciembre en promedio se registran precipitaciones que alcanzan los 60 a 80 milímetros, las mismas se presentan especialmente en horas de la tarde y primeras horas de la noche y en forma de lluvias. (Estación meteorológica de Mérida, 2022)

Datos pluviométricos

Para la presente investigación y luego de una búsqueda exhaustiva de información que incluyó la solicitud oficial de datos pluviométricos de la estación Aeropuerto - Mérida, en la cual proporcionaron información no muy completa de 1995 al 2005, (ver anexo 6) informando que la estación principal en Maracay no facilitaría mayores datos, se procedió a buscar información en páginas internacionales sobre el tiempo y se encontró una página que poseía datos desde 1973 al 2018 (Ver anexo 5), dichos datos se compararon con los proporcionados en la estación Aeropuerto-Mérida, no presentando gran diferencia por lo cual se consideró la información confiable para establecer un modelado de lluvia.

Con esta información se crearon curvas IDF que resultaron muy parecidas a las proporcionadas por INOS.

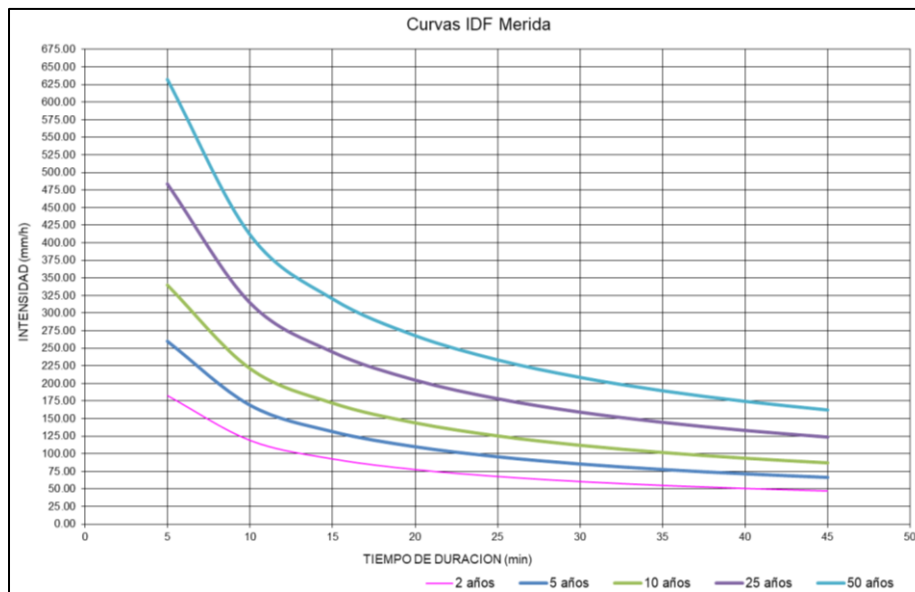


Gráfico 9 Curvas IDF de Mérida actualizadas
Fuente: Elaboración propia 2022

Hietogramas de lluvia

El Software SWMM trabaja con hietogramas de diseño para realizar el modelado del evento pluviométrico para lo cual requiere la información pluviométrica y el tiempo máximo de lluvia, el cual se definió en el capítulo anterior como 45 minutos.

Considerando que los datos pluviométricos no se encuentran actualizados en tiempo real, que el cambio climático producto del calentamiento global y los fenómenos atmosféricos hacen impredecible los eventos pluviométricos extremos, se establecen dos escenarios: el recomendado por la norma INOS un tiempo de 5 minutos para 10 años, y uno extremo que parte de las consideraciones anteriores resultando que un evento que era probable que ocurriera cada 25 años, pueda ocurrir mucho antes, talvez en 10 años. Por lo cual se toma esta información de 25 años como si fuera un evento a 10 años, generándose los siguientes hietogramas con información obtenida en el anexo 7.

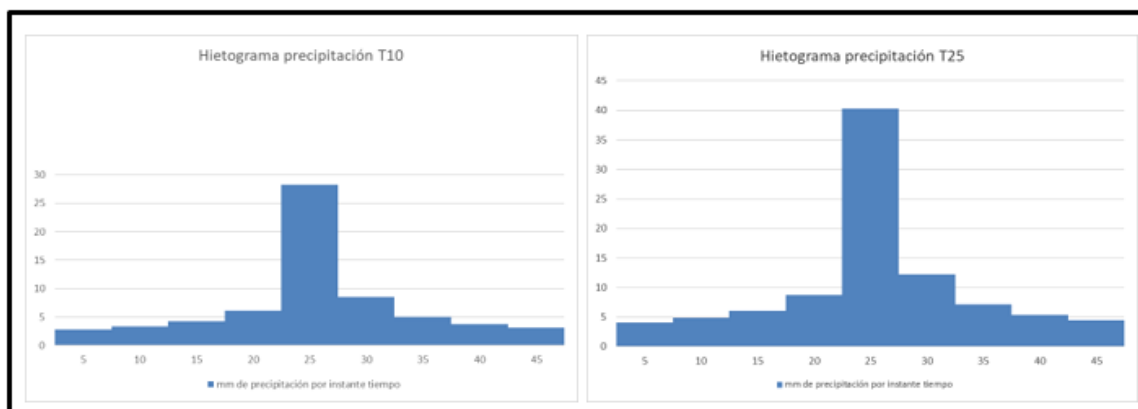


Gráfico 10 Hietogramas para 10 y 25 años duración 45 minutos. Mérida
Fuente: Elaboración propia 2022

Método para la determinación del caudal de lluvia

Se utiliza el método de número de curva con los valores sugeridos por el software y se determina el % permeable e impermeable, según análisis del capítulo anterior. Ver anexos 8, 9 y 10.

Infiltración y Escorrentía

Cruzando la información antes descrita en el programa SWMM 5.2 se pueden obtener los niveles de infiltración y escorrentía para ambos momentos pluviométricos (frecuencia de 10 y 25 años) en sus respectivos momentos picos ver imágenes 38 y 39.

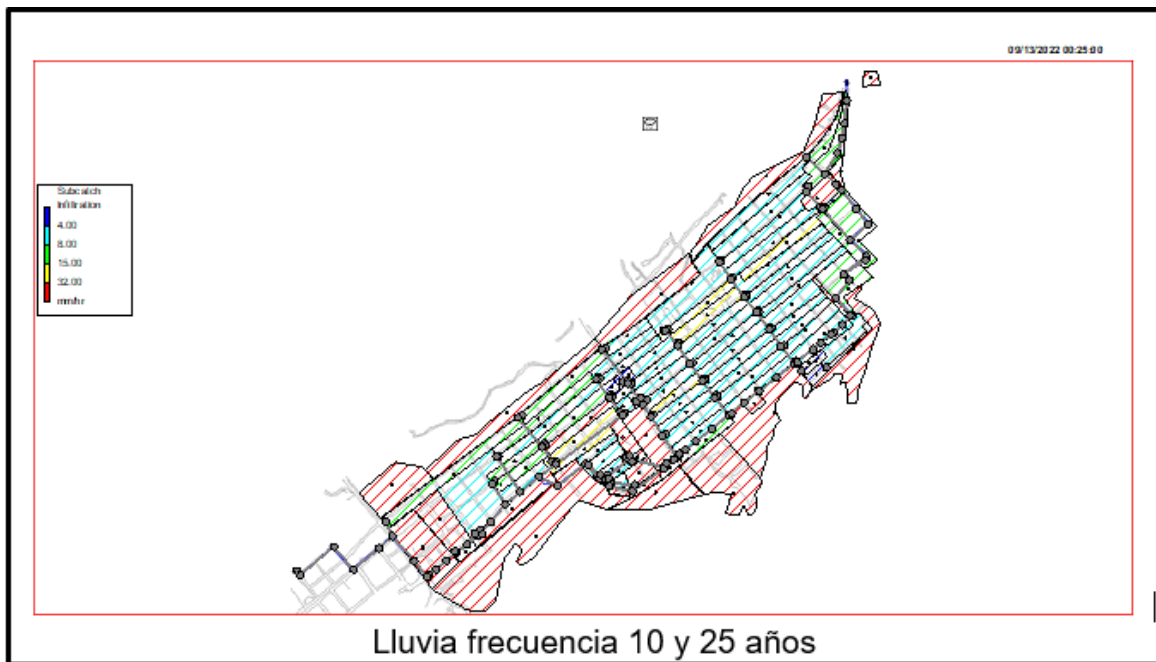


Imagen 38 Infiltración momento pico 25 minutos
Fuente: Elaboración propia 2022 SWMM 5.2

En el caso de la infiltración, en sector del AVT, se puede observar que las áreas con mayor capacidad se corresponden con los bordes de talud, seguido de los espacios con áreas verdes como canchas y plazas jardín, siendo las áreas con mayor escorrentía las correspondiente a superficies construidas o intervenidas siendo una de las áreas afectadas según la Imagen 39 la correspondiente al sector 15 (Av 3 con calle 23) que se corresponde con el análisis realizado en el capítulo anterior, sin embargo, al introducir más variables en el programa SWMM se puede observar que uno de los sectores aún más afectados por lluvias se corresponde al sector 33 (Av 3 con calle 33) y a las inmediaciones del cementerio el espejo, este último es evidente el aumento de escorrentía a simple vista en las imágenes de un evento pluviométrico de 10 años a uno de 25 años.

Es importante resaltar, que la zona norte que se corresponde al área aguas arriba del sector de estudio, tiene un nivel de infiltración alto y escorrentía muy alto, esto último incide directamente sobre el sector de estudio.

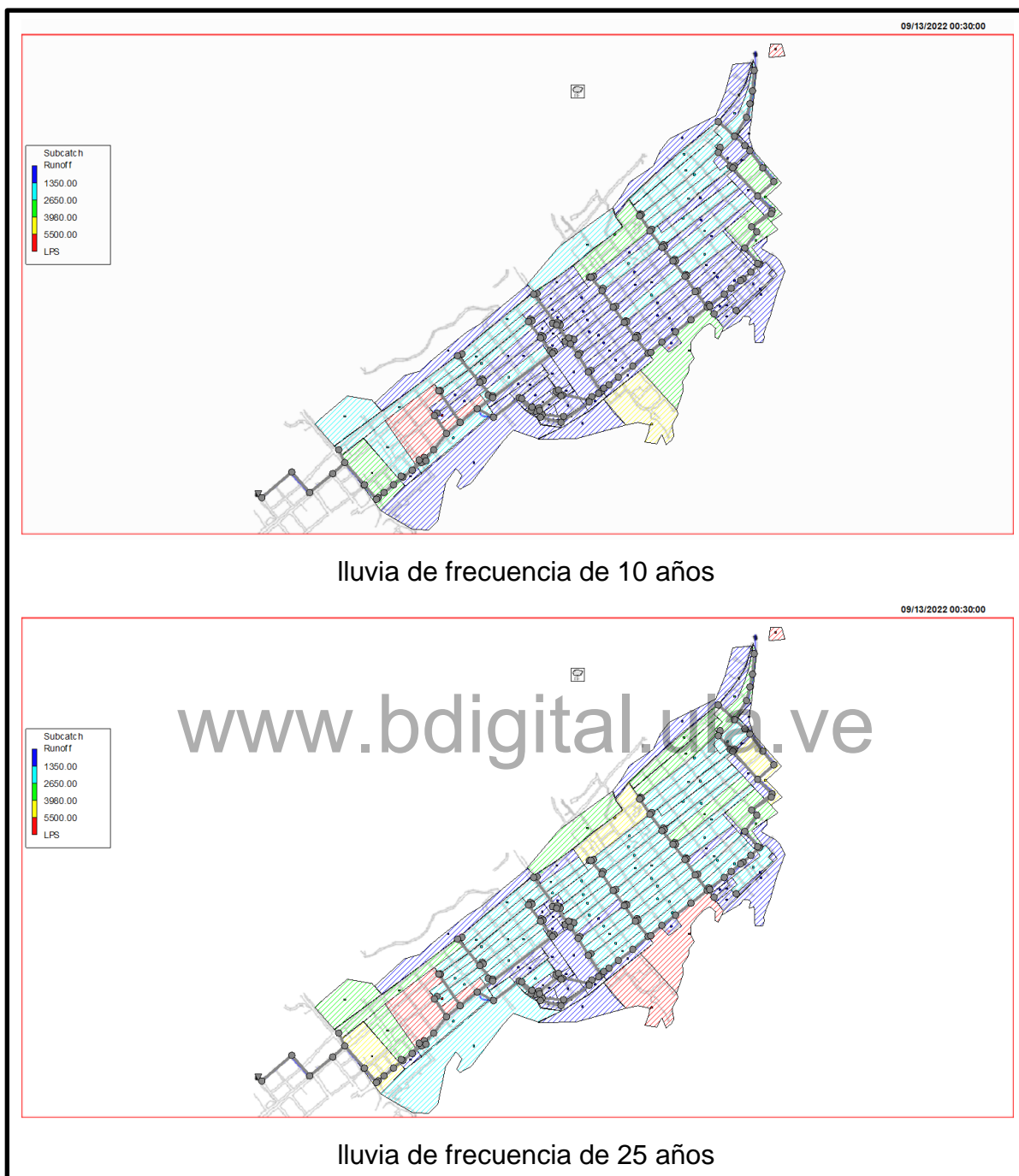


Imagen 39 Escorrentía momento pico 30 minutos
Fuente: Elaboración propia 2022 SWMM 5.2

Tipos de drenajes urbanos sostenible utilizados para el modelado

Para la aplicación de opciones de drenaje urbano sostenible sobre el modelo, se evaluaron las opciones disponibles, su facilidad de implementación y el tipo de espacio sobre el cual se pueden implementar: público, semipúblico o privado. seleccionando los siguientes tipos:

- Tanques de lluvia.
- Jardín de lluvia.
- Desconexión de techos.
- Celdas de bio retención.
- Pavimento filtrante.
- Zanjas de infiltración.

Los parámetros configurados para cada uno de los tipos de drenajes sostenibles mencionados, pueden ser revisados en el anexo 11.

Criterios de implementación de SUDS en el modelo.

Considerando lo descrito anteriormente se sectorizó el área de estudio de la siguiente manera:

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.

- **Plaza Chaplin:** En este punto y aguas arriba, se considera la ubicación de tanques de lluvia con la finalidad de disminuir la cantidad de agua de lluvia circulando en el momento pico, la cual puede ser canalizada hacia el borde del Albarregas, donde se puede tratar y ser utilizada para riego o incorporar al cauce del río Albarregas a la altura del enlace vial German Briceño Ferrigni.

- **Plazas con áreas verdes, Milla, La Columna, Belén, Espejo, Bolívar, el Llano, Glorias Patrias:** para estas zonas se sugiere la utilización de jardines de lluvia entre un 50% y 80% del área disponible.

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.

- **Cementerio el Espejo:** es una zona compleja con un nivel freático muy elevado, se sugiere para esta zona la utilización de zanjas de infiltración acompañado de pavimentos permeables que permiten la canalización de las aguas de lluvia hacia el borde de talud o reciclarse para consumo, no humano propio del cementerio.
- **Canchas Lourdes y Jersey:** Zonas con grandes áreas verdes que, por su ubicación en zona baja, en relación al sector en general, reciben grandes cantidades de aguas de lluvia que no son canalizadas correctamente. Para estos sectores se sugiere la utilización de celdas de bio retención acompañadas de tanques de lluvia.

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 beneficio 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).

- **Edificaciones privadas:** se considera inicialmente la desconexión del 10% de los techos del sistema de aguas de lluvia mediante la implementación de

CAPITULO VI

EL AVT DE MÉRIDA Y SU INFRAESTRUCTURA URBANA

sistemas de depósito interno en las edificaciones, con la finalidad de dar otro uso al agua de lluvia o en su defecto su posterior retorno al sistema luego de culminado el evento pluviométrico. Se considera que dicha desconexión puede llegar a 50% a un largo plazo.

Implementación de SUDS en el modelo.

En la imagen 40 se puede observar a que porcentaje de superficie se le aplica las medidas de SUDS, considerando los criterios antes descritos, rango que va del 10% (color azul claro) correspondiente a la desconexión de techos, al 60% o más (color rojo) correspondiente a la implementación de jardines filtrantes en espacios públicos

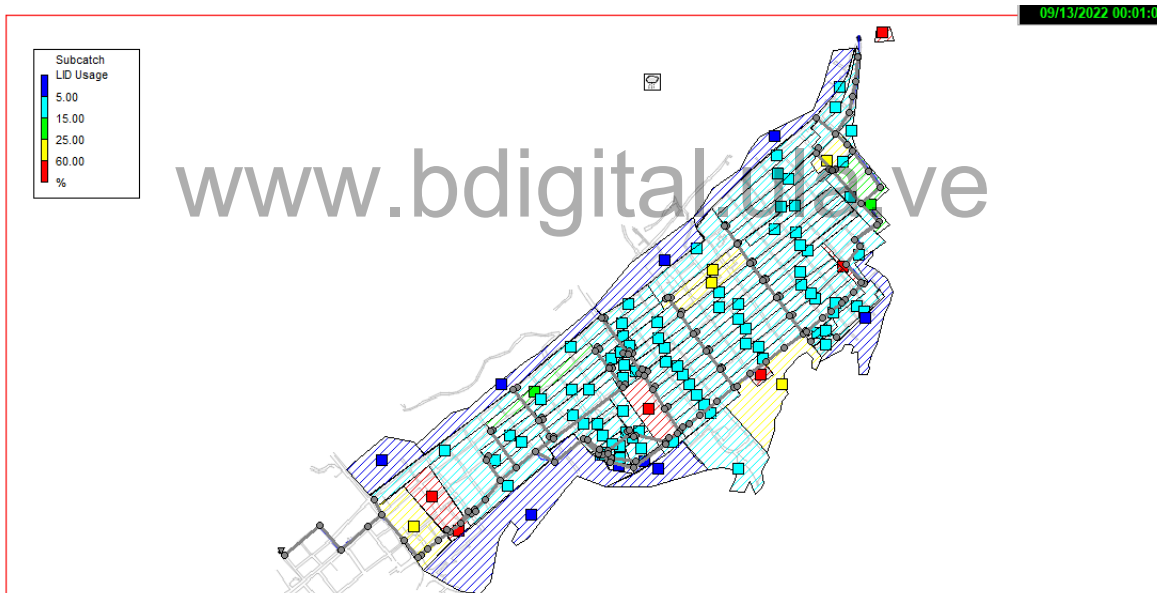


Imagen 40 Porcentaje de implementación de los SUDS sobre el AVT
Fuente: Elaboración propia 2022 SWMM 5.2

A continuación, se muestran los efectos del drenaje urbano sostenible (según modelado en software) sobre sectores tipo, considerando la sectorización antes descrita.

- **Plaza Chaplin**

Se considera la utilización de tanques de lluvia, con la finalidad de captar la mayor cantidad de caudal superficial posible.

Como se puede observar en el Grafico 11 la implementación de este SUDS para frecuencia de un evento pluviométrico de 10 años, permite la disminución de caudal pico en un 32%, dándose disminuciones hasta de un 66% a lo largo del evento pluviométrico.

Por otra parte. la simulación para frecuencia de un evento pluviométrico de 25 años, permite la disminución de caudal pico en un 35 % dándose disminuciones hasta de un 64% a lo largo del evento pluviométrico.

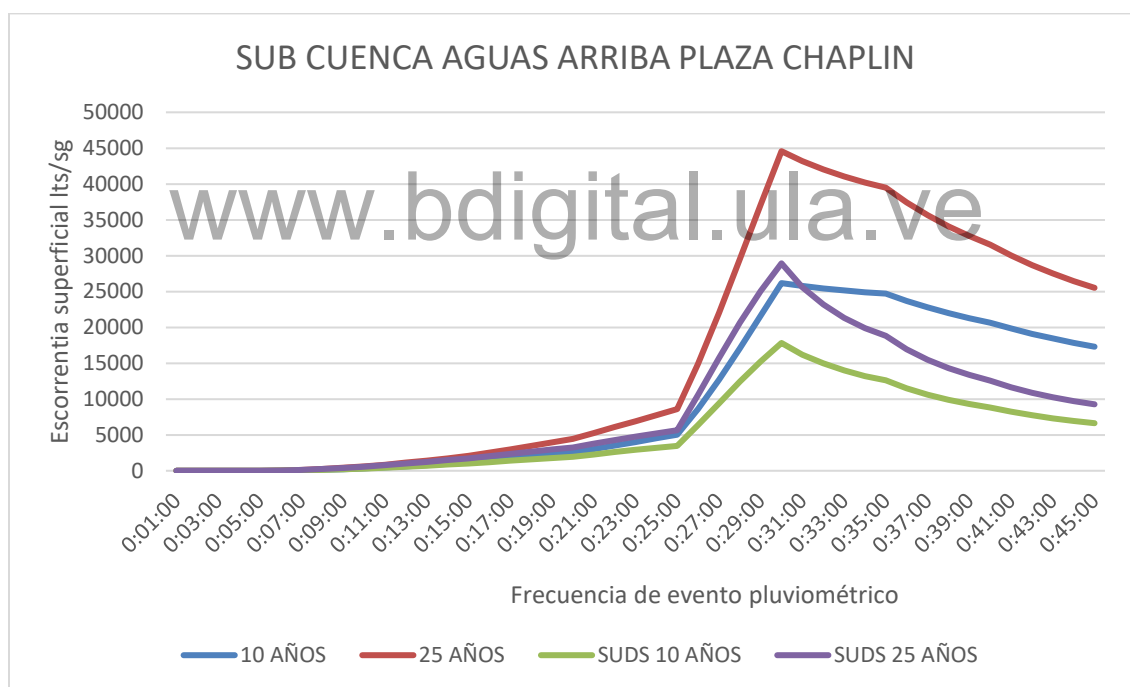


Gráfico 11 Escorrentía superficial subcuenca aguas arriba Plaza Chaplin. DU⁶ vs SUDS.
Fuente: Elaboración propia 2022

⁶ DU: Drenaje urbano convencional

- **Plazas con áreas verdes, Milla, La Columna, Belén, Espejo, Bolívar, el Llano, Glorias Patrias**

Debido a que estos espacios (plazas), poseen importantes áreas verdes, se considera la utilización de jardines de lluvia entre un 50% y 80% del área disponible, con la finalidad de captar la mayor cantidad de caudal superficial posible.

Como se puede observar en el gráfico 12 la implementación de este SUDS para frecuencia de un evento pluviométrico de 10 años permite la disminución de caudal pico en un 60% dándose reducciones hasta de un 70% a lo largo del evento pluviométrico.

Por otra parte, la simulación para frecuencia de un evento pluviométrico de 25 años, permite la reducción de caudal pico en un 60% dándose disminuciones hasta de un 70% a lo largo del evento pluviométrico.

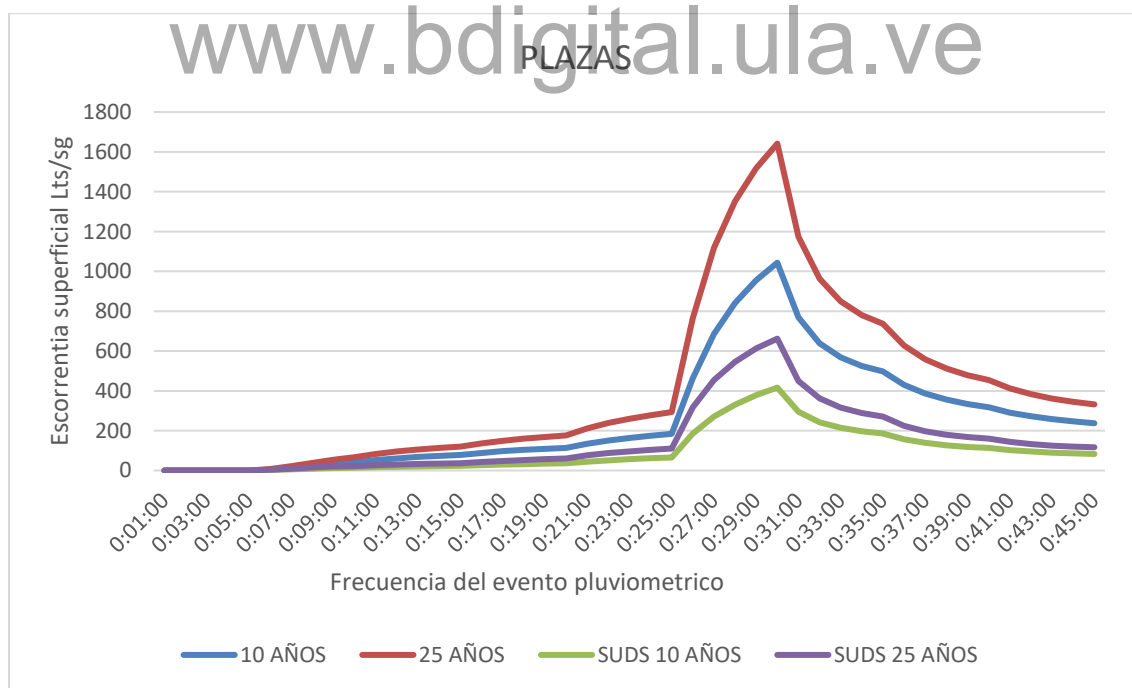


Gráfico 12 Escorrentía superficial subcuencas plazas. DU vs SUDS.
Fuente: Elaboración propia 2022

- **Cementerio el Espejo**

Es una zona compleja, con un nivel freático muy elevado, se considera la utilización de zanjas de infiltración acompañado de pavimentos permeables que permiten la canalización de las aguas de lluvia hacia el borde de talud donde se puede almacenar para un posterior uso en la zona baja del talud u otro uso de riego propios del cementerio.

Como se puede observar en el grafico 13 la implementación de estos SUDS para frecuencia de un evento pluviométrico de 10 años, permite la disminución de caudal pico en un 13% dándose reducciones hasta de un 30% a lo largo del evento pluviométrico.

Por otra parte, la simulación para frecuencia de un evento pluviométrico de 25 años, permite la reducción de caudal pico en un 22% dándose disminuciones hasta de un 23% a lo largo del evento pluviométrico.

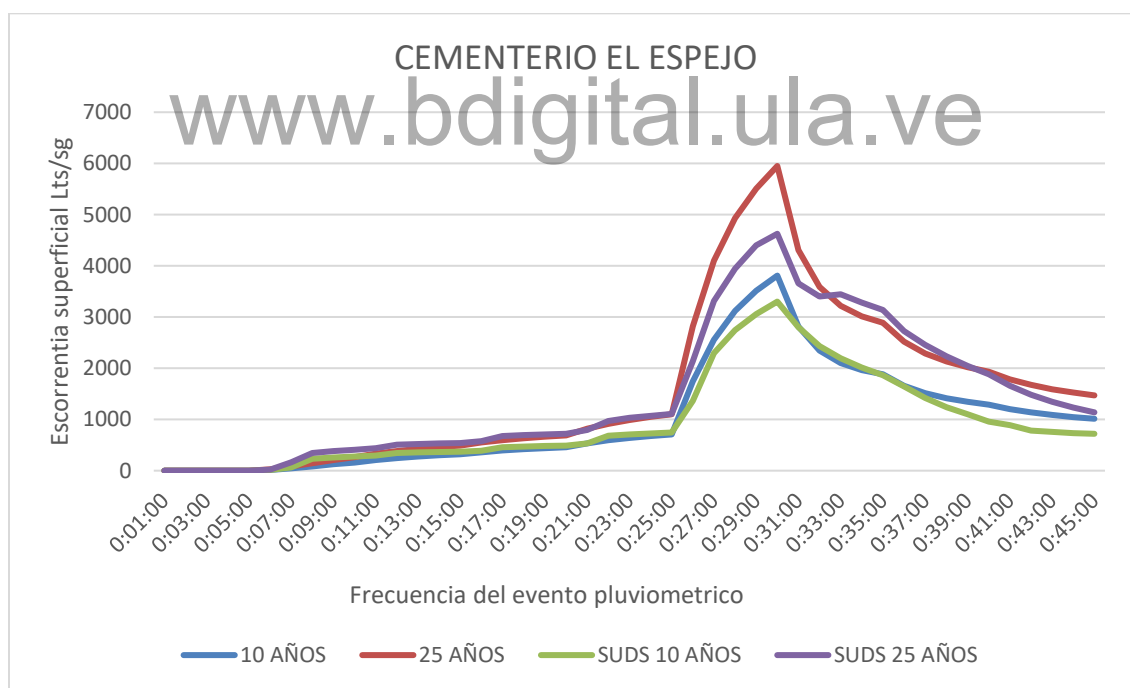


Gráfico 13 Escorrentía superficial subcuenca Cementerio el Espejo. DU vs SUDS
Fuente: Elaboración propia 2022

Se puede observar, que el mayor impacto se logra en la disminución del caudal pico, ya que a lo largo del evento pluviométrico en sus inicios no se ve mayor variación, siendo más evidente esta al final del evento.

- **Canchas Lourdes y Jersey**

Zonas con grandes áreas verdes que, por su ubicación en zona baja, en relación al sector en general, reciben grandes cantidades de aguas de lluvia que no son canalizadas correctamente. Para estos sectores se considera la utilización de celdas de bio retención, acompañadas de tanques de lluvia, que persiguen dar un segundo uso al agua de lluvia, que podría ser para el mantenimiento de las instalaciones deportivas.

Como se puede observar en el gráfico 14 la implementación de este SUDS para frecuencia de un evento pluviométrico de 10 años permite la disminución de caudal pico en un 20 % dándose reducciones hasta de un 78% a lo largo del evento pluviométrico.

Por otra parte, la simulación para frecuencia de un evento pluviométrico de 25 años permite la reducción de caudal pico en un 16% dándose disminuciones hasta de un 79% a lo largo del evento pluviométrico.

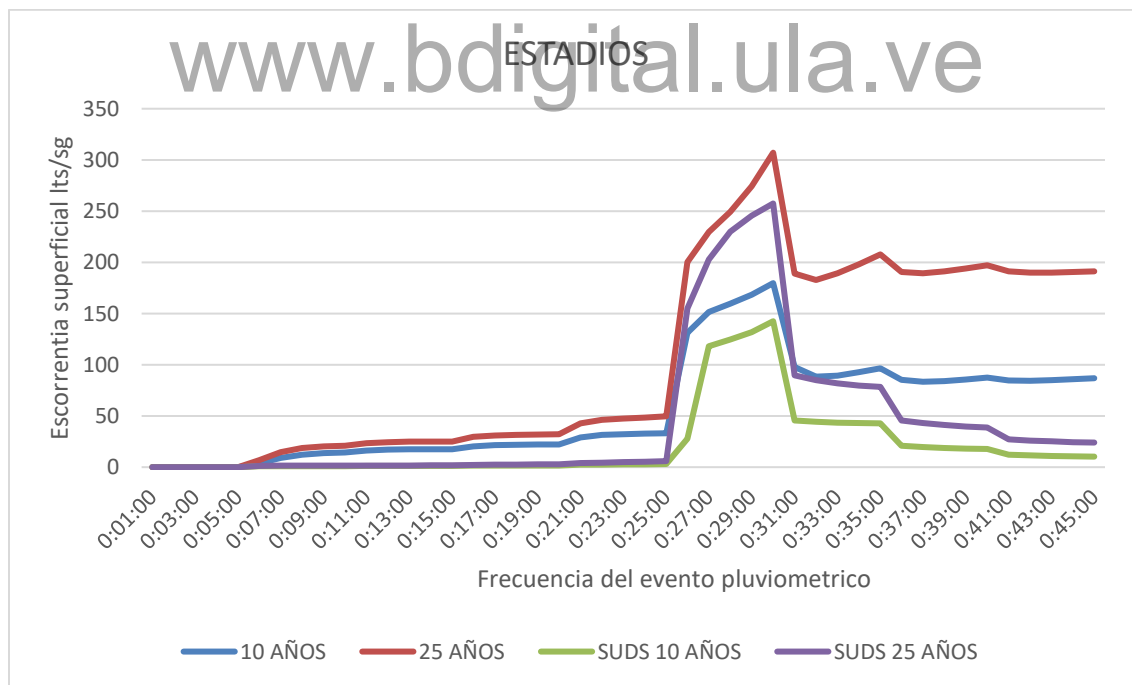


Gráfico 14 Escorrentía superficial subcuencas Estadios. DU vs SUDS
Fuente: Elaboración propia 2022

- **Edificaciones Privadas**

Se considera la utilización de desconexión de techos, con la finalidad de retardar la mayor cantidad. de agua de lluvia durante un evento pluviométrico.

Se inicia el modelado con una simulación de desconexión de solo el 10% de los techos, finalizando con una desconexión del 50%

Para el caso del 10%.

Como se puede observar en el gráfico 15, la implementación de este SUDS para frecuencia de un evento pluviométrico de 10 años permite la disminución de caudal pico en un 16% dándose reducciones hasta de un 21% a lo largo del evento pluviométrico.

Por otra parte, la simulación para frecuencia de un evento pluviométrico de 25 años, permite la disminución de caudal pico en un 17% dándose disminuciones hasta de un 21% a lo largo del evento pluviométrico.

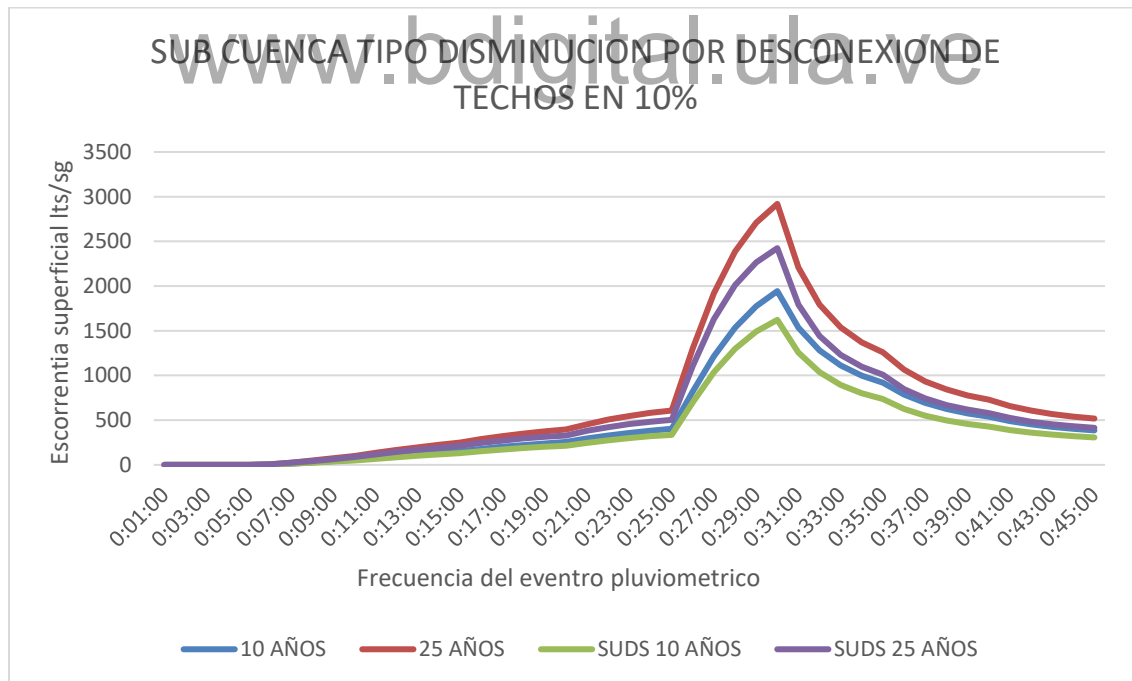


Gráfico 15 Escorrentía superficial subcuenca tipo por desconexión de techos 10%. DU vs SUDS.
Fuente: Elaboración propia 2022

Para el caso del 50%.

Como se puede observar en el gráfico 16, la implementación de este SUDS para frecuencia de un evento pluviométrico de 10 años permite la disminución de caudal pico en un 49,36% dándose reducciones hasta de un 62% a lo largo del evento pluviométrico.

Por otra parte, para frecuencia de un evento pluviométrico de 25 años permite la reducción de caudal pico en un 51% dándose disminuciones hasta de un 61% a lo largo del evento pluviométrico.

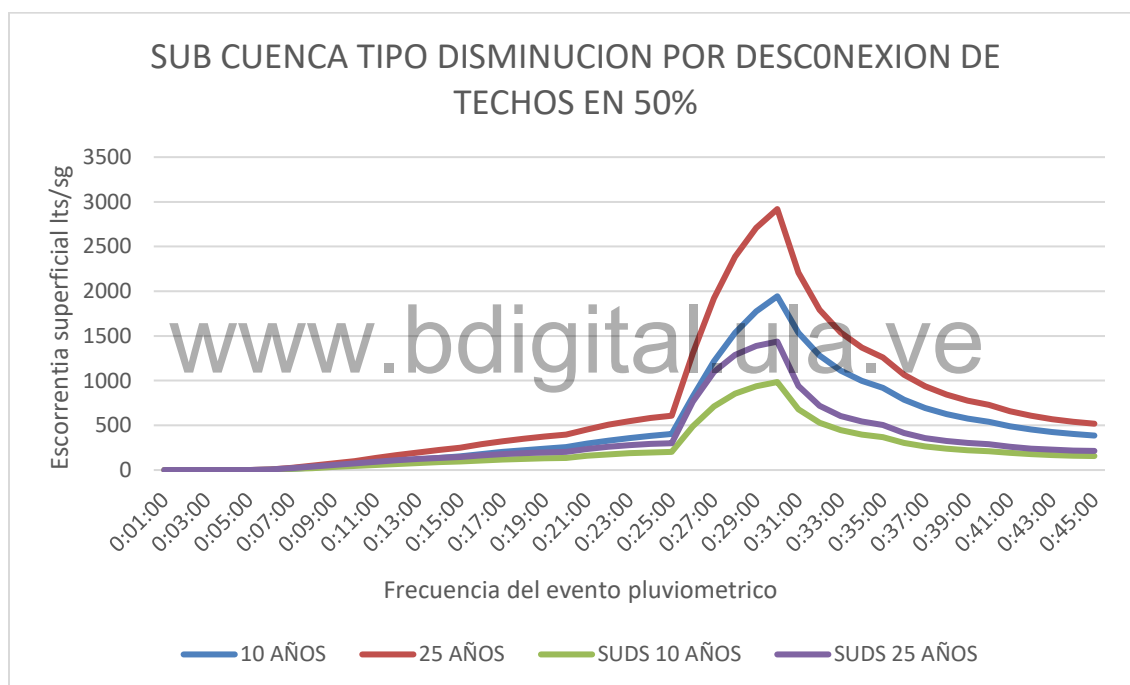


Gráfico 16 Escorrentía superficial subcuenca tipo por desconexión de techos 50%. DU vs SUDS.
Fuente: Elaboración propia 2022

De todas las medidas propuesta esta última es la que tiene mayor impacto, su ejecución está prevista a mediano y largo plazo.

Los gráficos antes mostrados, 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 el siguiente grafico, 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.

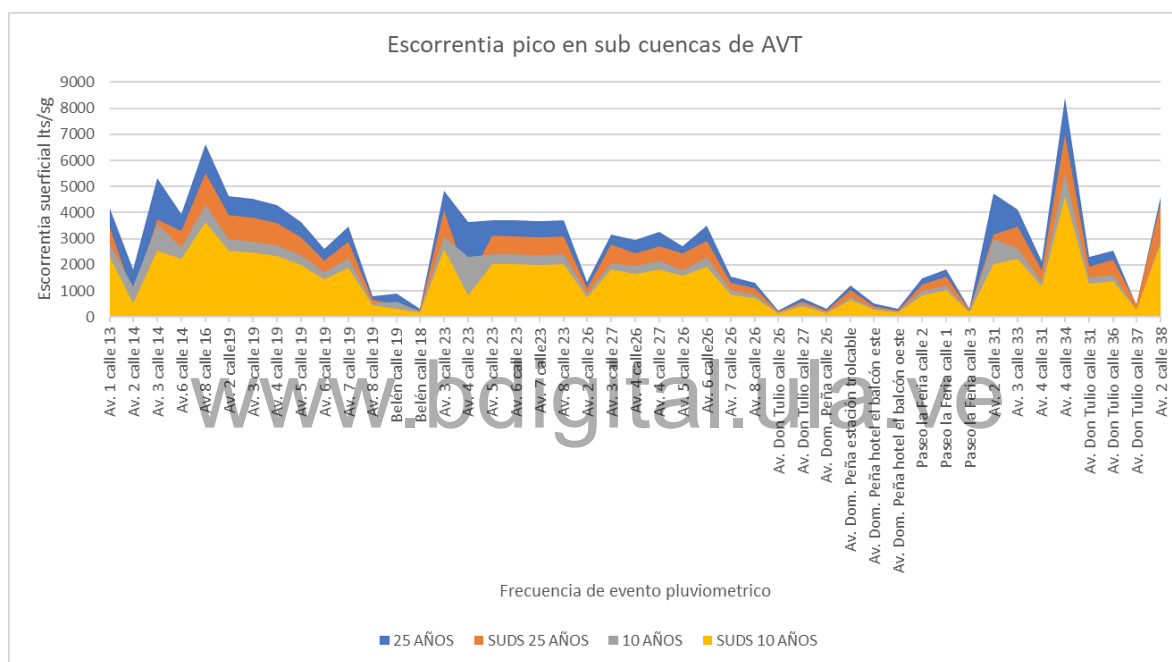


Gráfico 17 Escorrentía pico por subcuenca. DU vs SUDS
Fuente: Elaboración propia 2022

Globalmente, la disminución de escorrentía superficial para frecuencia de un evento pluviométrico de 10 años, permite la disminución de caudal pico en un 22,15% y para un evento pluviométrico de 25 años, permite la disminución de caudal pico en un 23,10%

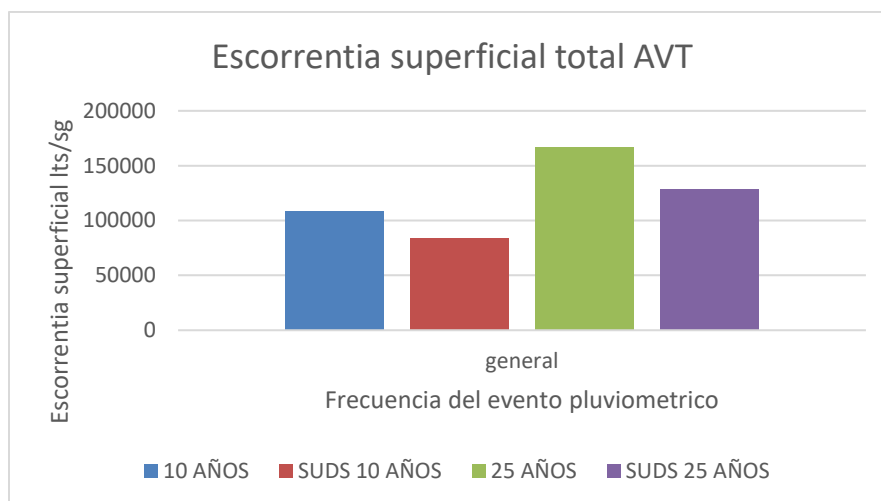


Gráfico 18 Escorrentía superficial total AVT. DU vs SUDS
 Fuente: Elaboración propia 2022

En el caudal total, no se nota gran impacto debido a que se tienen sectores a los que no se les plantea SUDS, estos corresponden a los bordes de talud, los cuales durante el modelado demostraron tener la capacidad suficiente para los respectivos eventos pluviométricos

Módulo de drenaje asociado a la aplicación de SUDS

Considerando los cálculos obtenidos mediante el modelo aplicando SUDS para un evento pluviométrico de duración 5 minutos frecuencia 10 y 25 años, se tiene lo siguiente

Tabla 45 Caudal agua de lluvia sector AVT aplicando SUDS

Año 1990-2030		
Área sector de estudio	Caudal aguas de lluvia Frecuencia 10 años	Caudal aguas de lluvia Frecuencia 25 años
ha	L/s	L/s
170	39042,265	48802,832

Fuente: Elaboración propia 2022

Se obtiene un módulo de drenaje: frecuencia de 10 años 229,60 l/s ha, frecuencia de 25 años 287,07 l/s ha. El cual en un periodo de 30 años puede llegar a 155 l/s ha, al implementar 50% de desconexión de techos.

Comparando estos resultados con el módulo de drenaje inicial se tiene una disminución del 10% para el evento pluviométrico de 25años y del 30% para el evento pluviométrico de 10 años y hasta 50% en un lapso de 30 años

Incidencia de los SUDS sobre el Colector Casco Central sector AVT

Se evalúa la incidencia de la implementación de los SUSDS, sobre el colector en estudio, obteniéndose los siguientes resultados:

Tramo inicial colector

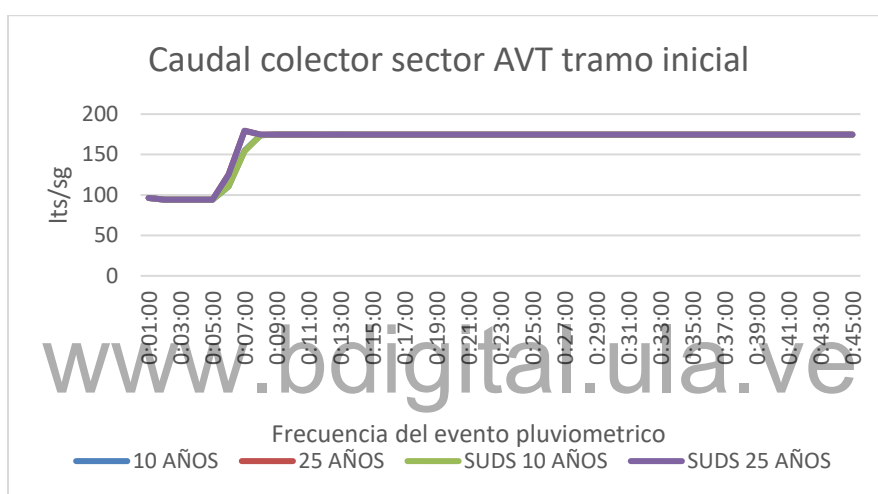


Gráfico 19 Caudal colector sector AVT tramo inicial DU vs SUDS
Fuente: Elaboración propia 2022

Tramo final colector

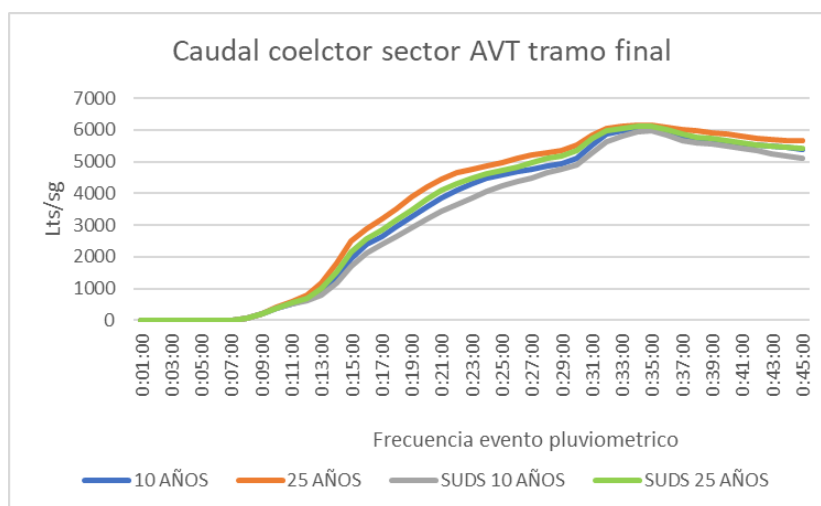


Gráfico 20 Caudal colector sector AVT tramo inicial DU vs SUDS
Fuente: Elaboración propia 2022

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.

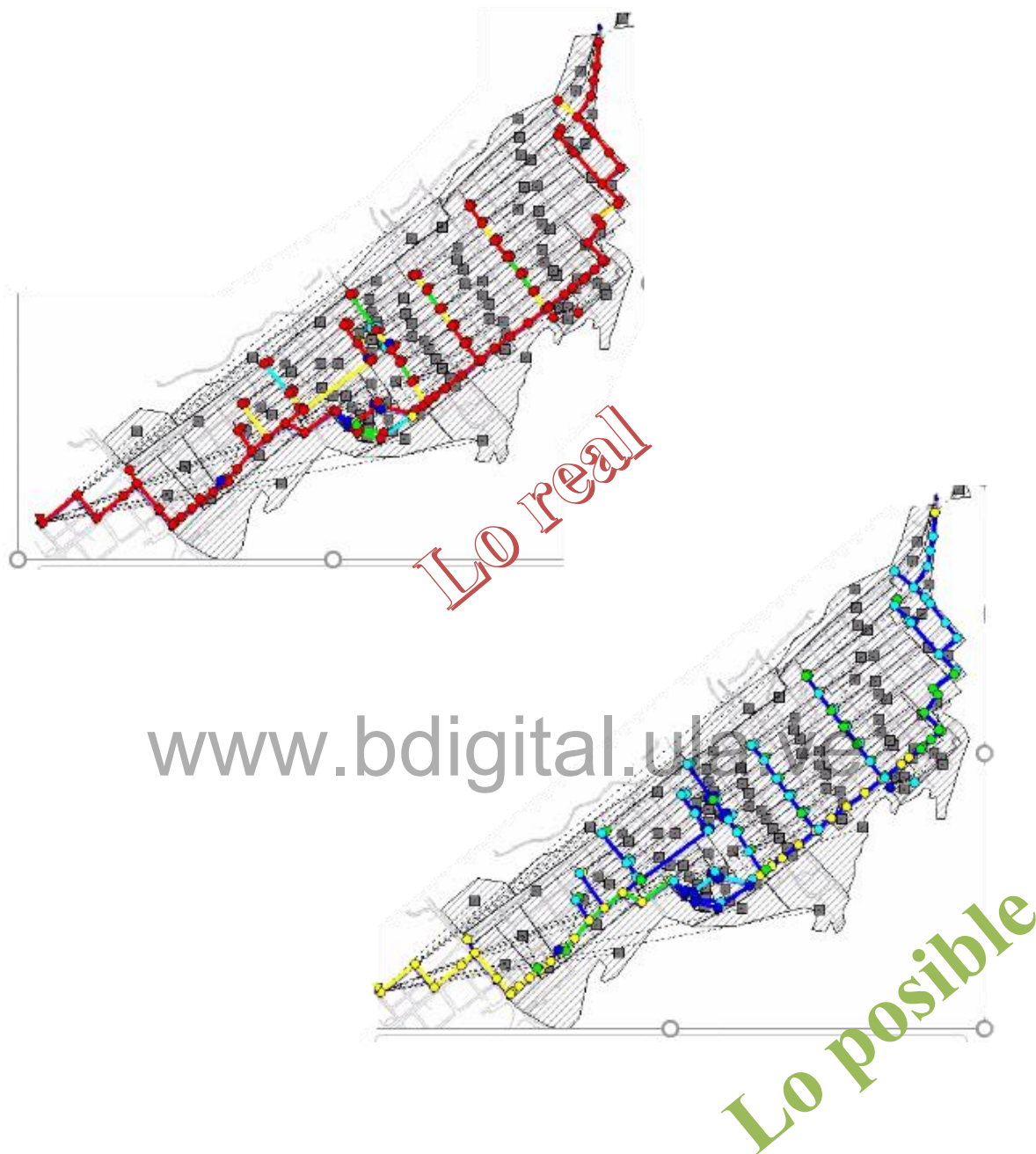
Se puede observar, que la incidencia del SUDS sobre el colector es insignificante, pero es importante analizar el contexto para generar conclusiones reales.

El diagnóstico preliminar arroja que el colector en su punto inicial 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 diagnostico 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.



CAPITULO VII Drenaje Urbano Sostenible para el AVT de Mérida

ARQ. MARÍA ALEJANDRA ROJO DE R. 179

Reconocimiento

www.bdigital.ula.ve

Esta página se ha dejado en blanco intencionalmente

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

La presente investigación se desarrolla 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 (Mérida-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) el cual es una guía ordenada, completa y con una concepción global del complejo proceso de planificación urbana donde el diseño del sistema de drenaje es un orientador de la ocupación futura del espacio, 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 (ver imagen 41): 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 pluviales en los sectores con riesgo de inundación, controlando el caudal pico de un evento pluvial.”*

CAPITULO VII

DRENAJE URBANO SOSTENIBLE PARA EL AVT DE MÉRIDA

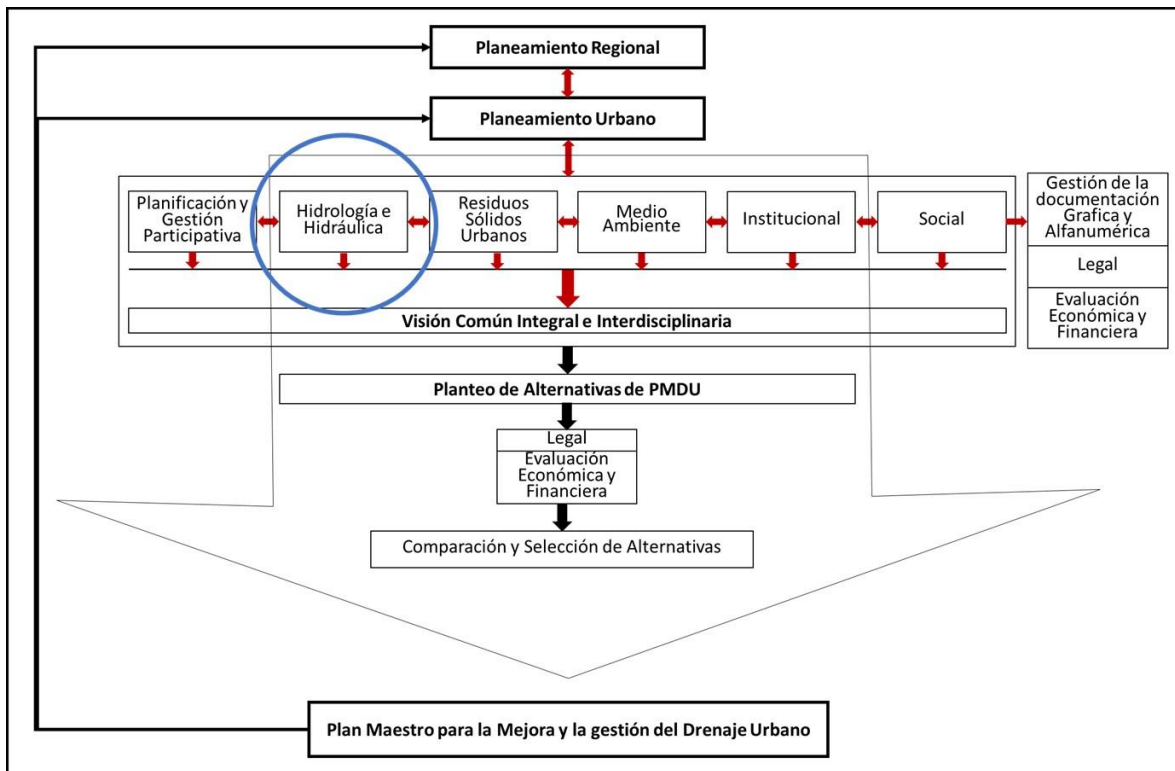


Imagen 41 Escenarios de trabajo para un plan maestro

Fuente: (Banco Mundial, 2013)

www.digital.ula.ve

Estructura del Plan de drenaje

Un plan de drenaje deberá estructurarse de la siguiente manera:

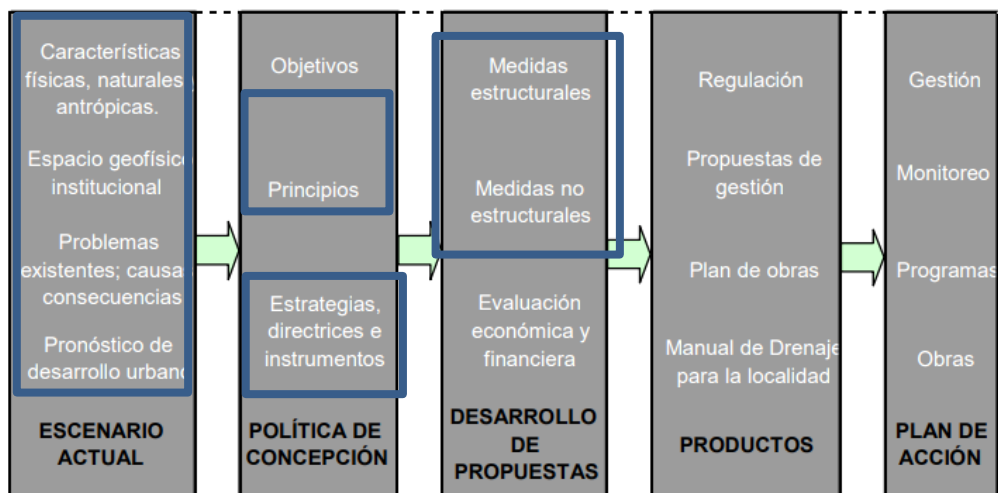


Imagen 42 estructura de un plan de drenajes

Fuente: (Banco Mundial, 2013)

Lo resaltado en azul en la imagen 42 corresponde a los aspectos abordados por esta investigación:

Escenario Actual: Desarrollado en el capítulo V de la presente investigación.

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 cual 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 matemáticos 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

En el capítulo VI de la presente investigación se utiliza el modelo matemático (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 los cual se propone lo siguiente (Ver imagen 43):

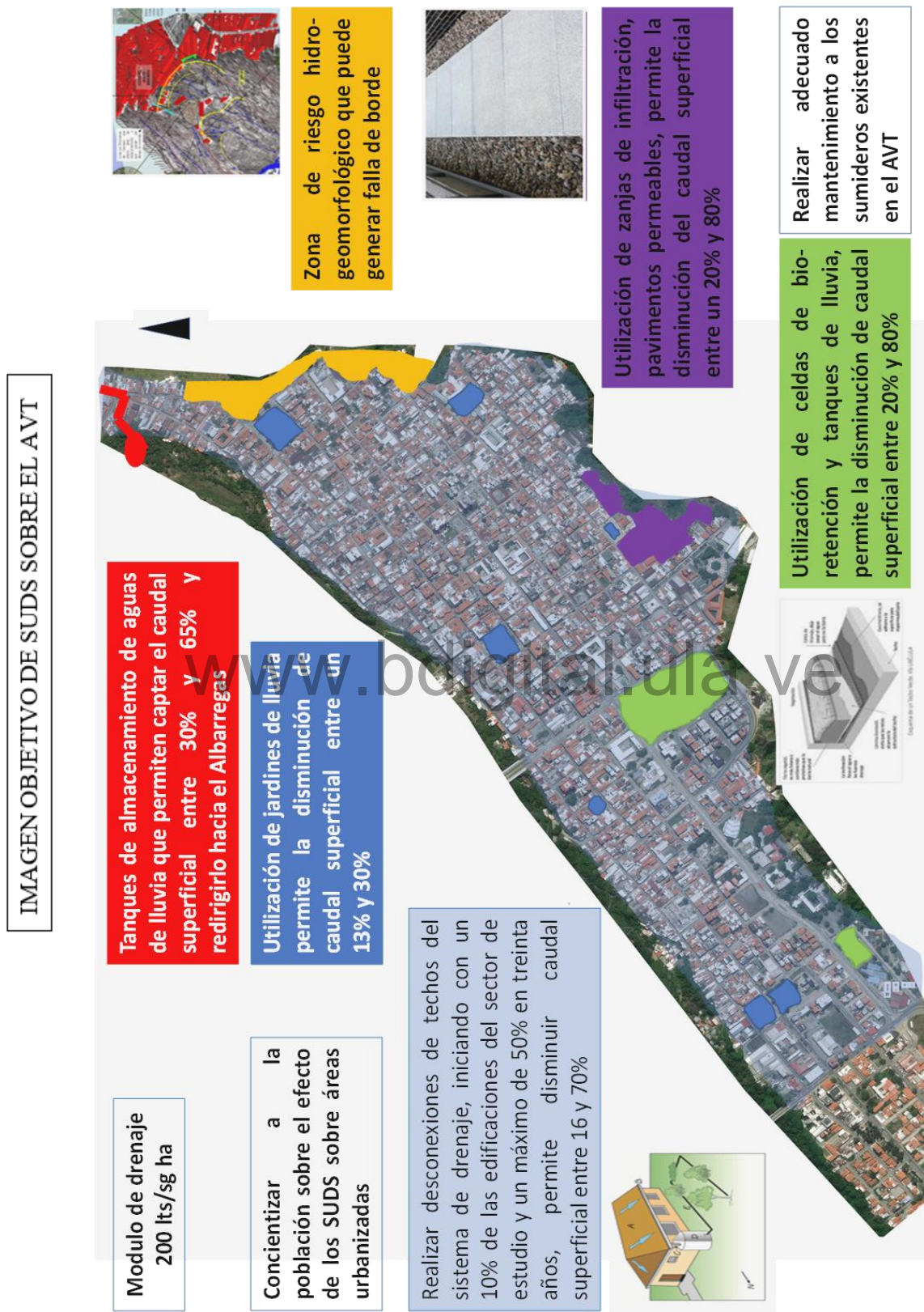


Imagen 43 Imagen objetivo de SUDS sobre el AVT

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 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 propuesta 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 (permisología) que se apliquen criterios de SUDS antes descritos para lograr la meta del módulo de drenaje.

Lo expuesto en este capítulo 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.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

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 funcionado 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.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 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 matemáticos 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.

Recomendaciones

- Impulsar el desarrollo de Mérida como smart city, iniciando con la digitalización de información 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 lluvia de manera eficiente.

www.bdigital.ula.ve

ANEXOS

www.bdigital.ula.ve

Esta página se ha dejado en blanco intencionalmente

Anexo 1 Características del colector principal 1940-1990-2020-2030

Caudal de diseño Aguas Negras colector casco central secto avt (Qan Lts/sg*ha)						
	superficie	1940	1990	2020	2030	
total	259.56	1440.35	1486.18	1525.12	1534.8	caudal punto final lts/sg
sector norte avt (ha)	89.56	17.29	91.25	85.95	87.02	caudal punto inicial lts/sg
sector avt (ha)	169.08	1423.06	1394.93	1439.17	1447.78	caudal sector AVT lts/sg
Qan Lts/sg*ha		8.42	8.25	8.51	8.56	

Fuente: Elaboración propia

www.bdigital.ula.ve

COLECTOR CASCO CENTRAL 1 sector AVT															
TRAMO		LONGITUD	DIAMETRO	" o mxm	Elevacion punto	coordenadas punto			Superficie servida por pto	1940					
						x	y	ha		carga AN punto	carga AN punto	carga AN punto	2030		
														Qan lts/sg *ha	
PUNTO												8.41	8.25	8.51	8.56
1-45	1-46	65.56	10		1683.5	264718.894	952029.289	0.84		Lts/sg	Lts/sg	24.36	98.18	93.10	94.21
1-46	1-47	64	12		1671.8	264709.29	951927.743	1.48				12.46	12.22	12.60	12.68
1-47	1-48	70	16		1669	264698.591	951864.622	0.99				8.38	8.21	8.47	8.52
1-48	1-52	100.39	18		1667	264683.556	951796.256	1.06				8.94	8.77	9.05	9.10
1-52	1-53	67	22		1666	264624.623	951704.882	1.75				14.80	14.50	14.96	15.05
1-53	1-53A	34	22		1662.3	264674.098	951659.701	0.37				3.11	3.05	3.15	3.16
1-53A	1-53B	106.28	22		1657.8	264696.67	951634.275	0.11				0.96	0.94	0.98	0.98
1-53B	1-54	86.63	22		1648.7	264762.85	951551.114	0.34				2.87	2.81	2.90	2.92
1-54	1-56	108.34	24		1648	264815.801	951482.694	0.20				1.69	1.65	1.70	1.71
1-56	1-58	103.97	24		1645	264734.102	951412.532	5.33				44.86	43.97	45.36	45.64
1-58	1-62	127.29	24		1636	264808.165	951339.345	0.42				3.53	3.46	3.57	3.59
1-62	1-64	33.86	36		1633	264708.217	951260.801	0.13				1.13	1.10	1.14	1.15
1-64	1-66	98.49	36		1632	264731.076	951235.767	0.26				2.26	2.21	2.28	2.30
1-66	1-68	110.1	1,00 x 1,00		1631	264671.128	951157.864	5.72				48.19	47.23	48.73	49.02
1-68	1-72	54.69	1,00 x 1,00		1630	264745.441	951076.222	0.92				7.76	7.61	7.85	7.90
1-72	1-73	51.35	1,00 x 1,00		1629	264703.171	951041.215	0.84				7.14	7.00	7.22	7.27
1-73	1-74	16.25	1,00 x 1,00		1628	264665.56	951007.222	7.01				59.01	57.85	59.68	60.04
1-74	1-75	59.75	1,00 x 1,00		1627.5	264653.437	950995.628	0.00				0.00	0.00	0.00	0.00
1-75	1-76	44.92	1,00 x 1,00		1627	264606.895	950959.436	4.06				34.22	33.55	34.61	34.82
1-76	1-78	104.46	1,20 x 1,20		1623	264571.154	950930.717	6.92				58.29	57.14	58.95	59.31
1-78	1-82	98.84	1,20 x 1,20		1619	264488.377	950867.068	8.12				68.36	67.01	69.13	69.55
1-82	1-84	97.89	1,20 x 1,20		1607	264410.929	950806.644	7.44				62.64	61.40	63.35	63.73
1-84	1-86	82.54	1,20 x 1,20		1603.5	264332.931	950746.845	6.94				58.46	57.31	59.12	59.48
1-86	1-88	87.97	1,20 x 1,20		1598	264267.277	950696.545	7.18				60.49	59.29	61.18	61.54
1-88	1-92	96.95	1,20 x 1,20		1595.6	264199.988	950640.592	7.47				62.95	61.70	63.66	64.04
1-92	1-94	91.56	1,30 x 1,30		1595	264123.947	950580.576	0.67				5.70	5.59	5.76	5.80
1-94	1-95	59.28	1,30 x 1,30		1594.5	264052.762	950522.537	6.18				52.03	51.00	52.62	52.94

Fuente: Elaboración propia con información de MERBAR 1998

COLECTOR CASCO CENTRAL 1 sector AVT - Continuación																
TRAMIO		LONGITUD	" o mxm	Elevacion punto	coordenadas punto		Superficie servida por pto	carga AN punto	carga AN punto	carga AN punto	2020	2030				
					x	y							ha	Lts/sg	Lts/sg	Lts/sg
PUNTO			DIAMETRO					Lts/sg	Lts/sg	Lts/sg	Qan lts/sg *ha					
1-95	1-96	50	1,30 x 1,30	1592.5	264006.901	950485.525	6.04	50.89	49.88	51.47	8.51	8.56				
1-96	1-97	12	1,30 x 1,30	1588.5	263967.873	950454.232	0.00	0.00	0.00	0.00						
1-97	1-98	57.82	1,30 x 1,30	1588	263957.273	950446.438	9.26	77.96	76.42	78.84						
1-98	1-102	156.36	1,30 x 1,30	1587.3	263912.009	950411.8	3.64	30.65	30.04	31.00						
1-102	1-104	144.04	1,55 x 1,55	1586	263759.851	950445.617	1.61	13.62	13.35	13.77						
1-104	1-106	103.77	1,55 x 1,55	1584.5	263645.464	950357.54	3.38	28.47	27.91	28.80						
1-106	1-108	157.82	1,55 x 1,55	1583.5	263565.72	950423.467	3.02	25.46	24.95	25.74						
1-108	1-112	90.1	1,55 x 1,55	1582.5	263440.311	950326.477	4.30	36.22	35.50	36.63						
1-112	1-114	106.8	1,55 x 1,55	1580.5	263360.319	950369.322	18.42	155.06	151.99	156.81						
1-114	1-116	86	1,55 x 1,55	1573.8	263278.319	950301.908	5.39	45.41	44.52	45.93						
1-116	1-118	100.69	1,80 x 1,80	1569.1	263212.306	950247.811	4.56	38.43	37.67	38.86						
1-118	1-122	86.04	1,80 x 1,80	1565	263148.119	950169.702	5.55	46.73	45.80	47.25						
1-122	1-123	58.37	1,80 x 1,80	1556	263089.262	950107.367	1.76	14.86	14.56	15.03						
1-123	1-123A	58.87	1,80 x 1,80	1555	263043.89	950069.959	1.33	11.24	11.02	11.37						
1-123A	1-123B	58.03	1,80 x 1,80	1553	262999.105	950032.471	1.60	13.54	13.27	13.69						
1-123B	1-123C	58.6	1,90 x 1,90	1549	262953.453	949996.44	1.81	15.25	14.95	15.42						
1-123C	1-123D	37.89	1,90 x 1,90	1545	262907.817	949958.866	1.76	14.83	14.54	15.00						
1-123D	1-124	14.46	1,90 x 1,90	1543.5	262878.076	949935.43	0.77	6.55	6.42	6.62						
1-124	1-125	92.61	1,90 x 1,90	1543	262867.828	949925.998	0.00	0.00	0.00	0.00						
1-125	1-126	143.56	1,90 x 1,90	1542	262808.606	949995.516	5.07	42.67	41.83	43.15						
1-126	1-128	79.98	2,60 x 2,60	1541	262714.763	950105.148	6.85	57.67	56.53	58.32						
1-128	1-132	147.97	2,60 x 2,60	1540	262654.21	950053.101	0.00	0.00	0.00	0.00						
1-132	1-134	131.77	2,60 x 2,60	1538	262540.377	949957.496	0.00	0.00	0.00	0.00						
1-134	1-136	193.92	2,60 x 2,60	1533	262453.536	950058.243	0.00	0.00	0.00	0.00						
1-136	desague	79.29	2,60 x 2,60	1523.5	262305.602	949934.363	0.00	0.00	0.00	0.00						
desague				1523.5	262291.329	949951.937	0.00	0.00	0.00	0.00						

Fuente: Elaboración propia con información de MERBAR 1998

Anexo 2 Ubicación de los sumideros en el sector AVT

Puntos sumidero			
Punto	coordenada x	coordenada y	Cota
S1	264543.04	951774.553	1665.9
S2	264552.766	951649.629	1661.9
S3	264600.193	951557.164	1655.9
S4	264624.422	951559.355	1656.9
S5	264802.721	951324.503	1632.9
S6	264734.87	951081.869	1629.9
S7	264162.755	951325.428	1632.9
S8	264166.686	951319.619	1632.9
S9	264215.76	951248.81	1630.9
S10	264276.147	951172.659	1629.4
S11	264280.424	951167.114	1629.4
S12	264328.289	951101.045	1623.9
S13	264332.55	951095.486	1623.9
S14	264385.175	951026.575	1623.4
S15	264389.887	951021.34	1622.9
S16	264443.159	950947.429	1621.9
S17	264499.233	950879.624	1619.9
S18	264501.906	950874.117	1619.9
S19	264521.032	950832.36	1615.6
S20	264630.828	950850.635	1602.8
S21	263911.561	951014.561	1612.9
S22	263931.05	951019.6	1613.2
S23	263976.538	950960.575	1609.4
S24	264040.798	950872.489	1609.4
S25	264089.532	950802.509	1604.9
S26	264094.4	950797.399	1604.9
S27	264145.116	950727.745	1600.4
S28	264149.544	950722.288	1600.4
S29	264213.262	950646.652	1595.4
S30	263655.647	950934.375	1602.4
S32	263622.404	950809.846	1606.6
S33	263632.349	950801.529	1606.6
S34	263763.21	950788.48	1599.4
S35	263769.618	950782.011	1599.4
S36	263731.303	950786.242	1599.4
S37	263755.034	950792.59	1599.4
S38	263676.007	950729.79	1598.9

Puntos sumidero-continuación			
Punto	coordenada x	coordenada y	Cota
S39	263684.271	950721.433	1598.9
S40	263823.797	950712.94	1595.4
S41	263834.345	950708.35	1595.4
S42	263865.829	950642.667	1591.4
S43	263917.573	950557.36	1593.4
S44	263982.148	950471.789	1588.4
S45	263795.295	950699.957	1595.4
S46	263811.762	950715.432	1595.4
S47	263717.317	950652.429	1594.4
S48	263740.082	950651.764	1594.4
S49	263924.303	950428.981	1587.4
S50	263910.717	950401.406	1586.4
S51	263784.453	950329.975	1578.4
S52	263774.349	950303.111	1585.9
S53	263680.983	950341.952	1584.4
S54	263674.049	950326.557	1584.9
S55	263626.266	950361.512	1583.4
S56	263628.937	950376.903	1583.4
S57	263664.735	950375.628	1585.4
S58	263667.928	950362.576	1585.4
S59	263579.368	950419.036	1583.4
S60	263782.217	950436.496	1585.4
S61	263774.341	950433.273	1585.9
S62	263749.422	950454.189	1586.4
S63	263758.399	950461.979	1586.4
S65	263285.5	950639.382	1587.4
S66	263182.519	950458.185	1577.4
S67	263387.283	950514.493	1587.4
S68	263393.282	950505.872	1587.4
S69	263164.149	950350.521	1576.9
S70	263417.551	950434.986	1583.4
S71	263435.846	950434.053	1583.4
S72	263102.447	950129.315	1556.9
S73	263109.73	950115.929	1556.9
S74	263077.331	950119.336	1556.4
S75	262988.053	950039.669	1552.4
S76	262685.898	950171.296	1550.4

Fuente: Elaboracion propia

Anexo 3 Ubicación de las subcuencas asociadas a sumideros AVT

subcuenca	X-Coord	Y-Coord	subcuenca	X-Coord	Y-Coord	subcuenca	X-Coord	Y-Coord
1	264694	951961	5	264856	951323	12	264611	950931
	264710	952048		264779	951409		264584	950911
	264714	952076		264852	951473		264598	950891
	264704	952046	6	264677	951472		264518	950830
	264670	951946		264614	951539		264532	950809
	264628	951880		264609	951534		264606	950872
	264606	951853		264586	951513		264634	950898
	264578	951820		264612	951486	13	264730	951059
	264546	951782		264775	951314		264708	951043
	264576	951752		264808	951340		264660	950998
	264638	951811		264790	951363		264492	950866
	264674	951895		264735	951410		264492	950866
2	264707	951794	7	264725	951367		264504	950850
	264732	952041		264577	951249		264611	950931
	264714	952076		264746	951069		264750	951037
	264707	952032		264764	951081	14	264692	951101
	264694	951961		264708	951163		264463	950907
	264674	951895	8	264835	951251		264492	950866
	264638	951811		264577	951249		264660	950998
	264576	951752		264564	951239		264708	951043
	264559	951768	9	264635	951162		264730	951059
	264543	951753		264692	951101	15	264655	951141
	264522	951732		264731	951059		264514	951006
	264564	951693		264746	951069		264477	950980
	264524	951654		264791	951032		264434	950945
	264556	951625		264809	951051		264463	950907
	264639	951715		264774	951088	16	264692	951101
3	264639	951715		264731	951059		264655	951141
	264556	951625	10	264750	951037		264635	951162
	264520	951586		264611	950931		264406	950981
	264541	951556		264634	950898		264434	950945
	264552	951539		264606	950872		264477	950980
	264586	951562		264624	950845		264514	951006
	264602	951542		264809	951010	17	264615	951184
4	264707	951641		264834	951021		264379	951018
	264714	951634	11	264830	951028		264381	951015
	264707	951641		264812	951054		264406	950981
	264602	951542		264791	951032	18	264635	951162
5	264609	951534		264809	951010		264564	951239
	264714	951634		264624	950845		264345	951065
	264614	951539		264634	950832		264379	951018
	264736	951409		264642	950837		264615	951184
	264790	951363		264584	950911	19	264725	951367
	264808	951340		264504	950850		264704	951389
	264775	951313		264518	950830		264395	951145
	264802	951285		264598	950891		264323	951094

Fuente: Elaboracion propia 2022

ANEXOS

subcuenca	X-Coord	Y-Coord	subcuenca	X-Coord	Y-Coord	subcuenca	X-Coord	Y-Coord
19	264345	951065	24	264441	951419	32	264323	951094
	264564	951239		264602	951542		264292	951136
20	264664	951431	25	264520	951586	33	264003	950907
	264292	951136		264556	951625		264028	950872
	264323	951094		264541	951638		264031	950869
	264395	951145		264533	951630		264323	951094
	264704	951388		264379	951488	34	264269	951167
21	264664	951431		264160	951318		264292	951136
	264644	951451		264184	951283		264003	950907
	264421	951281		264541	951556		263973	950948
	264269	951167	26	264524	951654	35	264235	951212
22	264292	951136		264564	951693		263942	950992
	264612	951485		264541	951714		263974	950948
	264582	951464		264335	951542		264269	951167
	264266	951234		264127	951366	36	264216	951238
	264244	951266		264139	951348		264215	951240
	264213	951243		264160	951318		264213	951243
	264216	951238		264379	951488		263887	950994
	264235	951212		264535	951632		263906	950965
	264269	951167		264541	951638		263942	950992
	264421	951281	27	264463	950907		264235	951212
	264644	951451		264174	950677		264235	951212
23	264586	951513		264200	950644	37	264184	951283
	264609	951534	28	264264	950698		264162	951316
	264602	951542		264488	950871		264158	951321
	264441	951419		264434	950945		264139	951348
	264437	951416	29	264140	950720		264127	951366
	264384	951368		264174	950677		264105	951398
	264331	951328		264463	950907		264038	951315
	264284	951295	30	264406	950981		264074	951262
	264244	951266		264111	950757		264003	951206
	264266	951234		264138	950723		263932	951155
	264464	951379		264140	950720		263833	951072
24	264539	951434	31	264434	950945		263861	951031
	264582	951464		264379	951018		263861	951031
	264612	951486		264084	950795		263887	950994
	264586	951562		264111	950757	38	264213	951243
	264552	951539	32	264406	950981		264202	950641
	264541	951556		264345	951065		263972	950460
	264184	951283		264057	950832		263994	950427
	264213	951243		264084	950795	39	264227	950610
	264217	951247		264379	951018		264174	950677
	264283	951294		264031	950869		263943	950498
	264330	951327		264057	950832		263972	950460
	264383	951367		264345	951065		264202	950641
	264437	951415		264326	951091	40	264140	950720

Fuente: Elaboracion propia 2022

subcuenca	X-Coord	Y-Coord	subcuenca	X-Coord	Y-Coord	subcuenca	X-Coord	Y-Coord
40	263906	950545	50	263643	950945	59	263673	950345
	263943	950498		263674	950902		263774	950415
	264174	950677		263861	951031	60	263635	950399
41	264111	950757	51	263973	950459		263614	950380
	263881	950588		263885	950391		263635	950366
	263906	950545		263908	950357		263669	950342
	264140	950720		263994	950427		263673	950345
42	264084	950795		263885	950391	62	263705	950529
	263855	950631	52	263773	950315		263550	950410
	263881	950588		263765	950314		263597	950365
	264111	950757		263778	950276		263635	950399
43	264057	950832		263908	950357		263745	950475
	263839	950655	53	263702	950320	63	263694	950564
	263855	950631		263669	950342		263522	950444
	264084	950795		263653	950331		263550	950410
44	264031	950869		263678	950295		263714	950536
	263809	950698		263778	950276	64	263684	950578
	263817	950686		263765	950314		263671	950597
	263839	950655		263727	950318		263403	950402
	264057	950832	54	263614	950380		263422	950374
45	264003	950907		263597	950365		263536	950454
	263775	950746		263653	950331		263535	950454
	263809	950698		263669	950342		263694	950564
	264031	950869	55	263855	950631	65	263775	950746
46	263973	950948		263814	950690		263751	950728
	263761	950784		263790	950672		263790	950672
	263785	950752		263722	950624		263814	950690
47	264003	950907		263722	950624	66	263751	950728
	263791	950807		263838	950459		263700	950692
	263974	950948		263869	950413		263685	950680
	263942	950992		263885	950391		263722	950624
	263906	950965	57	263973	950459	67	263790	950672
48	263756	950853		263906	950545		263685	950680
	263887	950994		263838	950459		263407	950464
	263613	950798		263774	950415		263376	950441
	263619	950791		263738	950390		263403	950401
	263641	950766		263765	950314		263717	950633
	263726	950830	58	263773	950315	68	263127	950374
49	263906	950965		263885	950391		263200	950425
	263861	951031		263869	950413		263178	950455
	263674	950902		263738	950390		263151	950489
	263585	950831		263669	950342		262911	950310
	263613	950798	59	263701	950320		263063	950089
50	263887	950994		263765	950314		263155	950181
	263833	951072		263758	950439		263224	950251
	263742	951006		263660	950363		263289	950306

Fuente: Elaboracion propia 2022

ANEXOS

subcuenca	X-Coord	Y-Coord	subcuenca	X-Coord	Y-Coord	subcuenca	X-Coord	Y-Coord
68	263403	950401	78	263614	950798	56	263815	950492
	263376	950441		263613	950798		263759	950456
	263188	950300		263321	950561		263745	950475
69	263403	950402	79	263175	950458	86	263719	950457
	263223	950251		263200	950425		263738	950424
	263063	950089		263355	950534		263767	950446
	263090	950051		263641	950766		263667	950369
	263441	950346		263652	950932	61	263660	950363
70	262911	950310	80	263642	950945		263635	950399
	262859	950271		263553	950869		263719	950457
	262803	950224		263407	950755		263738	950424
	262981	950022		263272	950636	87	264801	952158
	263064	950089		263300	950601		264791	952093
71	263063	950089	81	263585	950831		264871	952098
	262982	950022		263674	950902		264854	952158
	263008	949992		263300	950601		264799	952159
	263090	950051		263272	950636	88	262663	950184
72	263761	950784	82	262662	950189		262566	950294
	263675	950723		262703	950140		262587	950315
	263700	950692		262859	950271		262724	950432
	263751	950728		262911	950310		262847	950412
	263785	950752		263151	950489		262892	950356
74	263641	950766	83	263754	950779	89	263671	950292
	263355	950534		263791	950807		263656	950325
	263380	950501		263756	950853		263597	950361
	263675	950723		263719	950824		263520	950445
75	263679	950718	84	263675	950723		263421	950378
	263675	950723		263641	950766		263439	950348
	263380	950501		263689	950802		263008	949988
	263407	950464		263722	950756		262890	949871
	263685	950680	73	263754	950779		262921	949850
	263700	950692		263719	950824		263046	949779
76	263355	950534		263690	950802		263125	949774
	263127	950374	84	263722	950756		263171	949822
	263156	950339		263786	950423		263209	950006
	263380	950501		263767	950446		263258	950077
77	263380	950501	56a	263758	950439		263288	950044
	263156	950339		263774	950415		263263	949991
	263188	950300		263759	950456		263281	949975
	263376	950441	56	263814	950492		263332	950006
	263407	950464		263838	950459		263492	950215
78	263585	950831		263786	950423		263538	950266
	263300	950601		263705	950529		263658	950223
	263151	950489	56	263715	950536		263778	950276
	263175	950458		263671	950597	90	263008	949991
	263323	950563		263716	950632		262888	949871

Fuente: Elaboracion propia 2022

subcuenca	X-Coord	Y-Coord	subcuenca	X-Coord	Y-Coord	subcuenca	X-Coord	Y-Coord
90	262694	950141	95	264411	950650	97	264522	951729
	262804	950225		264411	950697		264540	951714
91	263980	950416		264432	950727	98	264708	951793
	264033	950348		264468	950768		264638	951716
	264089	950292		264502	950789		264708	951637
	264148	950304		264531	950763		264711	951647
	264209	950289		264527	950745	99	264693	951701
	264202	950248		264527	950721		264697	951744
	264181	950205		264545	950712		264708	951790
	264242	950197		264560	950745		264679	951958
	264265	950243		264568	950768		264627	951879
	264286	950192		264567	950768		264549	951785
	264311	950213		264635	950832		264266	951551
	264324	950236		264834	951021		264106	951400
	264316	950289		264812	951054		264039	951310
	264347	950343		264809	951051		264027	951357
	264339	950366		264774	951088		264066	951408
	264162	950559		264764	951081		264106	951479
	263981	950416		264708	951163		264223	951558
92	263910	950358		264782	951214		264259	951636
	263778	950279		264784	951192		264306	951691
	263658	950220		264753	951157		264530	951805
	263847	950223		264796	951133		264577	951919
	264089	950292		264818	951119		264589	951966
93	264606	950871	96	264845	951093		264616	952056
	264534	950811		264868	951042		264708	952066
	264568	950768		264854	950996	100	264039	951306
	264636	950832		264831	950944		264072	951273
94	264255	950690		264799	950827		264070	951257
	264299	950644		264780	950775		263931	951153
	264364	950693		264766	950733		263837	951074
	264326	950746		264768	950723		263752	951016
95	264488	950871		264761	950694		263642	950943
	264326	950745		264725	950694		263607	950978
	264364	950692		264721	950787		263766	951165
	264299	950644		264693	950782		264025	951353
	264255	950690		264703	950813		264041	951308
	264200	950644		264692	950821		264074	951263
	264227	950610		264665	950820	101	263640	950945
	264162	950559		264653	950800		263267	950635
	264339	950367		264561	950747		262896	950358
	264357	950421	97	264127	951366		262859	950399
	264371	950459		264105	951398		263006	950533
	264368	950504		264254	951541		263081	950554
	264395	950545		264365	951637		263140	950609
	264402	950583		264545	951781		263310	950745
	264426	950615		264560	951771		263373	950784
							263609	950978

Fuente: Elaboracion propia 2022

Anexo 4 Ubicación de los puntos de conexión sumideros- colector AVT

Puntos conexion sumidero-colector			
Punto	coordenada x	coordenada y	Cota
LL-1	264612.572	951551.486	1653
LL-2	264542.693	951626.859	1658.5
LL-3	264157.353	951317.535	1628.5
LL-4	264209.705	951241.125	1627.5
LL-5	264267.122	951163.114	1625
LL-6	264320.075	951091.964	1621
LL-7	264377.99	951016.777	1619
LL-8	264431.483	950942.234	1618
LL-9	264138.569	950716.556	1597
LL-10	264081.002	950791.616	1602
LL-11	264028.827	950867.232	1605
LL-12	263971.944	950946.044	1606.8
LL-13	263919.235	951016.403	1610

Puntos conexion sumidero-colector continuacion			
Punto	coordenada x	coordenada y	Cota
LL-14	263638.547	950931.671	1599.8
LL-15	263752.856	950777.886	1596.5
LL-16	263818.679	950689.77	1592.8
LL-17	263854.84	950632.964	1588.5
LL-18	263905.322	950548.496	1587
LL-19	263731.974	950642.254	1591.7
LL-20	263672.666	950718.907	1596
LL-21	263614.129	950794.781	1603.8
LL-22	263267.227	950630.141	1584
LL-23	263375.633	950499.835	1583.5
LL-24	263435.82	950423.534	1580.5
LL-25	263171.815	950455.797	1574.5
LL-26	263153.735	950334.912	1574

Fuente: Elaboracion propia

www.bdigital.ula.ve

Anexo 5 Registro Pluviométrico Estación Aeropuerto Mérida 1973-2018. Fuente Internacional

Registro pluviométrico histórico Estación Aeropuerto Mérida Venezuela (mm)													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Máx Anual
1973						59.71							59.71
1974		48.52	18.8	4.58	33.02	4.57	144.5	33.26	64.01	231.4	133.6	27.94	231.39
1975	3.05	26.42	36.07	50.04	143	43.95	61.97	112.8	199.4	109.7	100.6	36.07	199.4
1976	28.96	3.05	61.47	152.6	73.17	135.9	31.24	47.26	134.6	206.2	27.94	240.8	240.8
1977	0	0	18.54	33.29	154.7	66.56	40.38	73.43	32	480.3	193.3	45.72	480.32
1978	124.2	37.09	105.2	145.8	158.5	69.85		12.45	75.94	131.1	143.5	44.96	158.48
1979	11.43		4.06		6.1	248.2	55.13	204.7	69.08	176.3	184.2	42.67	248.16
1980	10.41	28.96	5.08	16.51	95.25	45.98	41.91	56.4		87.62	107.2		107.19
1981				303.8	207	250.2	31.49	176.3	169.4	148.4	198.2	2.03	303.79
1982	0	9.14	12.19	33.54	65.03	254	41.15	3.04	0.25	100.8	69.09	165.6	254.01
1983	50.44	30.22	18.8	181.6	231.7	103.4	12.76	139.2	157.5	247.9	81.54	67.81	247.9
1984	70.12	98.8	15.74	81.53	73.4	121.2	142.3	236.5	237.5	206.5	28.46		237.46
1985			54.87	62.74	106.2	28.95	49.52	158.8	140.5	182.1	10.92	65.02	182.14
1986	29.72	120.9	32.25	118.1	120.9	129.8	34.8	48.76	197.6	84.08	52.31	20.57	197.6
1987	4.06	4.57	54.6	99.57	172	159	76.19	103.4	124.4	320.8	89.16	90.42	320.81
1988		29.22	39.87	100.9	171.7	116.1	80.77	251.2	284.2	223.5	392.9	50.8	392.94
1989	18.04	24.38	54.37	14.79	74.15	53.58	47.74	115.8	163.1	218.2	178.8	64.01	218.17
1990	13.21	22.1	81.03	159.5	195.1	97.81	71.9	237.8	81.28	19.58	164.6	80.26	237.75
1991	35.56	24.65	106.7	97.79	295.4	505	73.67	73.68	145.6	106.2	96.54	22.86	504.96
1992	14.98	14.49	59.18	1.02	66.57	103.7	106.7	175.3	84.59	101.4	186.7	57.4	186.7
1993	23.63	3.05	34.29	229.1	212.6	122.9	113	79.76	280.2	108.7	97.8	50.83	280.16
1994	23.12	57.42	74.19	398.8	193	85.87	68.58	97.8	389.1	190	192.3	44.96	398.8
1995	22.1	9.4	138.9	161.8	398.6	104.7	122.4	230.6	251.5	245.4	168.9	68.52	398.55
1996	46.5	110	34.28	56.4	277.1	159	143.5	72.66	18.78	181.6	125.2	17.28	277.1
1997	42.44	55.37	34.56	122.4	108.5	126.5	89.69	90.19	144.5	109.5	148.3	8.89	148.33
1998	59.7	16.01	89.4	231.9	308.6	101.1	166.9	142.3	204	277.6	103.6	142.3	308.59
1999	0	0	0	0	0	0	0	0	65.79	260.1	160		260.09
2000	7.11		2.03	435.9	250.2	56.13	68.07	122.9	309.4	277.6	141.5	26.17	435.87
2001	101.9	0	65.78	240.3	149.9	50.3	100.8	50.03	226.3	291.9	57.9	76.71	291.85
2002	9.67	33.53	132.1	87.63	68.08	182.1	27.95	186.9	109.7	225.8	59.42	29.22	225.8
2003	3.55	0.51	66.94	161.5	79.75	176	284.5	94.48	263.7	466.3	368.5	189	466.34
2004	43.95	5.08	35.31	155.5	234.2	2.55	98.55	72.39	123.2	193.8	188.5	3.87	234.2
2005	37.59	50.55	5.59	141	279.4	205.5	35.81	30.98	98.26	135.1	3.3	21.6	279.4
2006	1.27	3.3	177.3	259.8	209.3	75.94	17.78	76.72	68.57	25.39	81.79	73.66	259.84
2007	25.4	0	24.39	68.83	100.1	127.8	79.51	107.4	135.9	412.2	174.5	36.06	412.24
2008	0.51	46.75	8.88	123.4	176.5	76.7	173.5	136.9	105.4	102.6	275.9	26.16	275.86
2009	16.79	16.25	85.59	34.29	95.26	164.1	42.67	122.4	114.8	142	136.7	25.14	164.08
2010	0	14.49	55.62	253.8	191.3	88.9	96.77	147.3	306.8	189.7	165.1	172.5	306.84
2011	44.46	77.98	219.7	138.2	183.4	165.1	90.18	74.94	97.53	129.8	166.9	93.22	219.71
2012	24.14	20.07	41.66	269	133.6	85.87	86.34	102.1	62.24	174.3	152.7	44.95	268.98
2013	14.98	26.41	36.33	120.4	186.5	100.6	75.19	46.48	77.72	160.8	110.5	3.3	186.45
2014	5.33	49.53	62.7	34.29	56.91	40.38	24.13	91.45	189.5	164.3	98.28	56.65	189.49
2015	0	27.67	89.14	3.3	1.53	9.91	22.35	53.34	50.27	99.83	93.98	28.45	99.83
2016	20.07	22.6	56.69	35.56	0	0	0	0	38.86	9.14		0	56.69
2017	17.4	28.5	54.7	138	180.4	177.8	162.1	156.9	168.4	171.5	123.9	43.9	180.4
2018			50.04	1.27	197.4	53.08	12.69	69.59	69.33	148.1	13.71		197.36

Fuente: <https://www.tutiempo.net/amp-es/clima/ws-804380.html>

Anexo 6 Registro Pluviométrico Estación Aeropuerto Mérida 1995-2005.-

Fuente Nacional

Registro pluviometrico histórico Estacion Aeropuerto Merida (mm)												
Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1995	21	9	140.6	174.2	239.6	123.9	112.1	211.3	261.9	262.2	83.3	80.3
1996	55.8	21.3	42.3	113.6	163.1	143.3	154.3	78.7	173.1	159.6	140.6	28.5
1997	48.5	66.5	21.9	123.9	113	139.8	55.8	91.2	155.2	260.1	142.8	29
1998	4.7	16	101.7	225.6	332.2	152	176.8	*	207.1	248.8	171.2	*
1999	61.9	215	64.1	156.4	108.9	155.9	102.4	306.6	181.7	209.1	159.6	122
2000	101	57.1	747.9	75.5	269.8	66.9	77	124.7	288.2	262.3	151.3	47.5
2001	4	7	66	182	139	225	111	133	370	478	234	152
2002	1.4	4	79.5	140.5	146.3	78	151.3	51.4	154.5	317.8	127.4	89.3
2003	10.6	32.5	144	152	183	204	36.8	59.8	109	160	60.4	30.3
2004	44.3	5.3	34.8	285	335	13.9	148	103	333	240	260	83
2005	109	70.4	82.9	295	328	291	53.7	45.3	173	347	236	41.2
2022	192	77.8	100	177	240	257	127	160	230			
Fuente: Estación Meteorológica de Mérida-. Servicio de Meteorología de la Aviación. 2022												

www.bdigital.ula.ve

Anexo 7 Datos para la realización de Hietogramas de lluvia para retorno de 10 y 25 años. Mérida

HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 10 AÑOS		44.8110403 min				
Duración de la tormenta (h)	0.746850672					
Intensidad de lluvia (mm/h)	87.24					
Precipitación en 24 horas (mm)	65.16					
Intervalos de tiempo (min)	5					
Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm/h)
5	339.83	28.32	28.32	339.83	2.87	34.47
10	221.29	36.88	8.56	102.76	3.39	40.71
15	172.19	43.05	6.16	73.97	4.26	51.17
20	144.10	48.03	4.99	59.86	6.16	73.97
25	125.52	52.30	4.26	51.17	28.32	339.83
30	112.13	56.06	3.76	45.16	8.56	102.76
35	101.92	59.46	3.39	40.71	4.99	59.86
40	93.84	62.56	3.10	37.25	3.76	45.16
45	87.24	65.43	2.87	34.47	3.10	37.25
Fuente: Elaboracion propia						
HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 25 AÑOS		44.8110403 min				
Duración de la tormenta (h)	0.746850672					
Intensidad de lluvia (mm/h)	87.24					
Precipitación en 24 horas (mm)	65.16					
Intervalos de tiempo (min)	5					
Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm/h)
5	483.81	40.32	40.32	483.81	4.09	49.07
10	315.05	52.51	12.19	146.30	4.83	57.96
15	245.14	61.28	8.78	105.31	6.07	72.85
20	205.16	68.39	7.10	85.23	8.78	105.31
25	178.70	74.46	6.07	72.85	40.32	483.81
30	159.63	79.82	5.36	64.30	12.19	146.30
35	145.11	84.65	4.83	57.96	7.10	85.23
40	133.60	89.07	4.42	53.04	5.36	64.30
45	124.21	93.15	4.09	49.07	4.42	53.04
Fuente: Elaboracion propia						

Anexo 8 Datos característicos de cada subcuenca para modelado

cuenc a	N de curva	Imper v	N- Perv	Imper v	S-Perv	%Imp erv
1	90	0.02	0.1	0.05	0.05	54
2	90	0.02	0.1	0.05	0.05	100
3	90	0.02	0.1	0.05	0.05	95
4	90	0.02	0.1	0.05	0.05	10
5	90	0.02	0.1	0.05	0.05	191
6	90	0.02	0.1	0.05	0.05	38
7	90	0.02	0.1	0.05	0.05	180
8	90	0.02	0.1	0.05	0.05	17
9	90	0.02	0.1	0.05	0.05	57
10	90	0.02	0.1	0.05	0.05	12
11	90	0.02	0.1	0.05	0.05	24
12	90	0.02	0.1	0.05	0.05	21
13	90	0.02	0.1	0.05	0.05	22
14	90	0.02	0.1	0.05	0.05	53
15	90	0.02	0.1	0.05	0.05	44
16	90	0.02	0.1	0.05	0.05	40
17	90	0.02	0.1	0.05	0.05	37
18	90	0.02	0.1	0.05	0.05	65
19	90	0.02	0.1	0.05	0.05	30
20	90	0.02	0.1	0.05	0.05	57
21	90	0.02	0.1	0.05	0.05	32
22	90	0.02	0.1	0.05	0.05	51
23	90	0.02	0.1	0.05	0.05	47
24	90	0.02	0.1	0.05	0.05	52
25	90	0.02	0.1	0.05	0.05	47
26	90	0.02	0.1	0.05	0.05	67
27	90	0.02	0.1	0.05	0.05	42
28	90	0.02	0.1	0.05	0.05	49
29	90	0.02	0.1	0.05	0.05	45
30	90	0.02	0.1	0.05	0.05	43
31	90	0.02	0.1	0.05	0.05	54
32	90	0.02	0.1	0.05	0.05	37
33	90	0.02	0.1	0.05	0.05	49
34	90	0.02	0.1	0.05	0.05	41
35	90	0.02	0.1	0.05	0.05	54
36	90	0.02	0.1	0.05	0.05	36
37	90	0.02	0.1	0.05	0.05	100
38	90	0.02	0.1	0.05	0.05	38
39	90	0.02	0.1	0.05	0.05	45
40	90	0.02	0.1	0.05	0.05	57
41	90	0.02	0.1	0.05	0.05	47
42	90	0.02	0.1	0.05	0.05	47
43	90	0.02	0.1	0.05	0.05	36
44	90	0.02	0.1	0.05	0.05	49
45	90	0.02	0.1	0.05	0.05	49
46	90	0.02	0.1	0.05	0.05	46
47	90	0.02	0.1	0.05	0.05	54
48	90	0.02	0.1	0.05	0.05	36
49	90	0.02	0.1	0.05	0.05	47
50	90	0.02	0.1	0.05	0.05	48
51	90	0.02	0.1	0.05	0.05	39
52	90	0.02	0.1	0.05	0.05	39
53	90	0.02	0.1	0.05	0.05	39
54	90	0.02	0.1	0.05	0.05	18
55	40	0.02	0.1	0.05	0.05	108
57	90	0.02	0.1	0.05	0.05	82
58	90	0.02	0.1	0.05	0.05	59
59	90	0.02	0.1	0.05	0.05	26
60	90	0.02	0.1	0.05	0.05	20
62	90	0.02	0.1	0.05	0.05	63
63	90	0.02	0.1	0.05	0.05	37
64	90	0.02	0.1	0.05	0.05	36
65	90	0.02	0.1	0.05	0.05	28
66	90	0.02	0.1	0.05	0.05	70
67	90	0.02	0.1	0.05	0.05	51
68	90	0.02	0.1	0.05	0.05	236
69	90	0.02	0.1	0.05	0.05	64
70	90	0.02	0.1	0.05	0.05	121
71	90	0.02	0.1	0.05	0.05	38
72	90	0.02	0.1	0.05	0.05	38
74	90	0.02	0.1	0.05	0.05	48
75	90	0.02	0.1	0.05	0.05	42
76	90	0.02	0.1	0.05	0.05	40
77	90	0.02	0.1	0.05	0.05	40
78	90	0.02	0.1	0.05	0.05	42
79	90	0.02	0.1	0.05	0.05	40
80	90	0.02	0.1	0.05	0.05	50
81	90	0.02	0.1	0.05	0.05	46
82	90	0.02	0.1	0.05	0.05	45
83	90	0.02	0.1	0.05	0.05	57
73	90	0.02	0.1	0.05	0.05	36
84	90	0.02	0.1	0.05	0.05	13
56a	90	0.02	0.1	0.05	0.05	40
56	90	0.02	0.1	0.05	0.05	67
86	90	0.02	0.1	0.05	0.05	34
61	90	0.02	0.1	0.05	0.05	39
87	90	0.02	0.1	0.05	0.05	500
88	90	0.01	0.1	0.05	0.05	157
89	40	0.01	0.1	0.05	0.05	164
90	90	0.01	0.1	0.05	0.05	147
91	90	0.01	0.1	0.05	0.05	231
92	40	0.01	0.1	0.05	0.05	104
93	90	0.01	0.1	0.05	0.05	49
94	40	0.01	0.1	0.05	0.05	65
95	90	0.01	0.1	0.05	0.05	112
96	40	0.01	0.1	0.05	0.05	41
97	90	0.01	0.1	0.05	0.05	57
98	90	0.01	0.1	0.05	0.05	56
99	40	0.01	0.1	0.05	0.05	33
100	90	0.01	0.1	0.05	0.05	100
101	40	0.01	0.1	0.05	0.05	56

Fuente: Elaboracion propia 2022

Anexo 9 Numero de curva

A.4 Número de Curva para escorrentía (CN) según el SCS²

Descripción del Uso del Suelo	Tipo de Suelos			
	A	B	C	D
Tierra cultivada				
Sin tratamiento de conservación	72	81	88	91
Con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastos y prados				
En malas condiciones	68	79	86	89
En buenas condiciones	39	61	74	80
Pradera				
En buenas condiciones	30	58	71	78
Terreno boscoso				
Poco denso, cubierta forestal pobre o inexistente	45	66	77	83
Buena cubierta forestal ³	25	55	70	77
Espacios abiertos (césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.)				
En buenas condiciones (75% o más de hierba)	39	61	74	80
En pobres condiciones (50-75% de hierba)	49	69	79	84
Zonas comerciales (85% impermeable)	89	92	94	95
Polígonos industriales (72% impermeable)	81	88	91	93
Zona residencial ⁴				
Tamaño medio de la parcela ⁵ (% Impermeabilidad ⁶)				
< 500 m ² (65%)	77	85	90	92
1000 m ² (38%)	61	75	83	87
1500 m ² (30%)	57	72	81	86
2000 m ² (25%)	54	70	80	85
4000 m ² (20%)	51	68	79	84
Aparcamientos pavimentados, tejados, caminos asfaltados, etc. ⁷	98	98	98	98
Calles y carreteras				
Pavimentados, con cunetas y colectores de drenaje	98	98	98	98
Caminos de grava	76	85	89	91
Sucios	72	82	87	89

Fuente: SCS Urban Hydrology for Small Watersheds, 2ª Ed., (TR-55), Junio 1986.

Anexo 10 Coeficiente de manning

A.6 Coeficiente n de Manning para Escorrentía Superficial

Superficie	n
Asfalto liso	0,011
Hormigón liso	0,012
Revestimiento de hormigón basto	0,013
Madera pulida	0,014
Ladrillo con mortero de cemento	0,014
Arcilla vitrificada	0,015
Fundición de hierro	0,015
Tuberías de metal corrugado	0,024
Superficie de escombrera	0,024
Terreno improductivo (libre de residuos)	0,05
Terreno cultivado	
Cubierta de residuos < 20%	0,06
Cubierta de residuos > 20%	0,17
Pasto natural	0,13
Hierba	
Corta, pradera	0,15
Densa	0,24
Hierba <i>Bermuda</i>	0,41
Bosque	
Con cubierta ligera de arbustos	0,40
Con cubierta densa de arbustos	0,80

Fuente: McCuen, R. et al. (1996), Hydrology, FHWA-SA-96-067, Federal Highway Administration, Washington, DC.

A.8 Valores del Coeficiente n de Manning para Flujo en Canales Abiertos

Material del conducto	n
Canales revestidos:	
De asfalto	0,013 - 0,017
De ladrillo	0,012 - 0,018
De hormigón	0,011 - 0,020
De escombros	0,020 - 0,035
De vegetación	0,03 - 0,04
Excavado o en zanja:	
En tierra, recto y uniforme	0,020 - 0,030
En tierra, con curvas o no uniforme	0,025 - 0,040
En roca	0,030 - 0,045
Sin mantenimiento	0,05 - 0,14
Canales o cauces naturales ⁸ :	
Sección más o menos regular	0,03 - 0,07
Sección irregular con charcos	0,04 - 0,10

Fuente: ASCE (1982). Gravity Sanitary Sewer Design and Construction, ASCE Manual of Practice No. 60, New York, NY.


Anexo 11 Datos de SUDS utilizados en el modelo

Tanque de lluvia

LID Control Editor

Control Name:

LID Type:



OK Cancel Help

Storage Drain


Barrel Height (in. or mm)

Covered ☒

LID Control Editor

Control Name:

LID Type:



OK Cancel Help

Storage Drain

Flow Coefficient*

Flow Exponent

Offset (in or mm)

Drain Delay (hrs)

Open Level (in or mm)

Closed Level (in or mm)

Control Curve

[Drain Advisor](#)

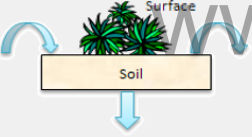
*Flow is in in/hr or mm/hr; use 0 if there is no drain.

Jardín de lluvia

LID Control Editor

Control Name:

LID Type:



OK Cancel Help

Surface Soil Storage

Berm Height (in. or mm)

Vegetation Volume Fraction

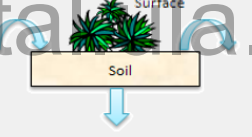
Surface Roughness (Mannings n)

Surface Slope (percent)

LID Control Editor

Control Name:

LID Type:



OK Cancel Help

Surface Soil Storage

Thickness (in. or mm)

Porosity (volume fraction)

Field Capacity (volume fraction)

Wilting Point (volume fraction)

Conductivity (in/hr or mm/hr)

Conductivity Slope

Suction Head (in. or mm)

LID Control Editor

Control Name:

LID Type:



OK Cancel Help

Surface Soil Storage

Thickness (in. or mm)

Void Ratio (Voids / Solids)

Seepage Rate (in/hr or mm/hr)

Clogging Factor

Desconexión de techos

LID Control Editor

Control Name: desconexiontechos

LID Type: Rooftop Disconnection

OK Cancel Help

Surface Roof Drain

Storage Depth (in. or mm) 1000

Surface Roughness (Mannings n) 0.1

Surface Slope (percent) 12

LID Control Editor

Control Name: desconexiontechos

LID Type: Rooftop Disconnection

OK Cancel Help

Surface Roof Drain

Flow Capacity (in/hr or mm/hr) 150

Enter the maximum flow rate that the roof's drain system (gutters, downspouts, and leaders) can handle before overflowing. Use 0 if not applicable.

Celdas bio-retención

LID Control Editor

Control Name: canchas

LID Type: Bio-Retention Cell

OK Cancel Help

Surface Soil Storage Drain

Berm Height (in. or mm) 50

Vegetation Volume Fraction 0.9

Surface Roughness (Mannings n) 0.16

Surface Slope (percent) 5

LID Control Editor

Control Name: canchas

LID Type: Bio-Retention Cell

OK Cancel Help

Surface Soil Storage Drain

Thickness (in. or mm) 80

Porosity (volume fraction) 0.5

Field Capacity (volume fraction) 0.2

Wilting Point (volume fraction) 0.1

Conductivity (in/hr or mm/hr) 50

Conductivity Slope 10.0

Suction Head (in. or mm) 3.5

LID Control Editor

Control Name: canchas

LID Type: Bio-Retention Cell

OK Cancel Help

Surface Soil Storage Drain

Thickness (in. or mm) 50

Void Ratio (Voids / Solids) 0.75

Seepage Rate (in/hr or mm/hr) 50

Clogging Factor 0

LID Control Editor

Control Name: canchas

LID Type: Bio-Retention Cell

OK Cancel Help

Surface Soil Storage Drain

Flow Coefficient* 3

Flow Exponent 0.5

Offset (in or mm) 6

Open Level (in or mm) 0

Closed Level (in or mm) 0

Control Curve

Drain Advisor

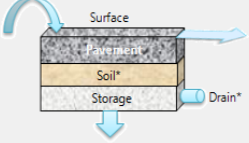
*Flow is in in/hr or mm/hr; use 0 if there is no drain.

Pavimento filtrante

LID Control Editor

Control Name: **PAVIMENTO PERMEABLE**

LID Type: **Permeable Pavement**



*Optional

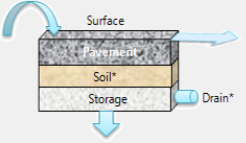
OK Cancel Help

Soil	Storage	Drain
Surface	Pavement	
Berm Height (in. or mm)	50	
Vegetation Volume Fraction	0.5	
Surface Roughness (Mannings n)	0.16	
Surface Slope (percent)	2.0	

LID Control Editor

Control Name: **PAVIMENTO PERMEABLE**

LID Type: **Permeable Pavement**



*Optional

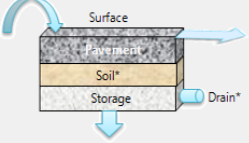
OK Cancel Help

Soil	Storage	Drain
Surface	Pavement	
Thickness (in. or mm)	50	
Void Ratio (Voids / Solids)	0.15	
Impervious Surface Fraction	0	
Permeability (in/hr or mm/hr)	100	
Clogging Factor	0	
Regeneration Interval (days)	0	
Regeneration Fraction	0	

LID Control Editor

Control Name: **PAVIMENTO PERMEABLE**

LID Type: **Permeable Pavement**



*Optional

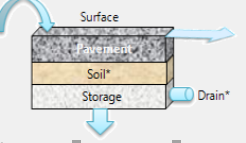
OK Cancel Help

Soil	Storage	Drain
Surface	Pavement	
Thickness (in. or mm)	50	
Porosity (volume fraction)	0.5	
Field Capacity (volume fraction)	0.2	
Wilting Point (volume fraction)	0.1	
Conductivity (in/hr or mm/hr)	0.5	
Conductivity Slope	10.0	
Suction Head (in. or mm)	3.5	

LID Control Editor

Control Name: **PAVIMENTO PERMEABLE**

LID Type: **Permeable Pavement**



*Optional

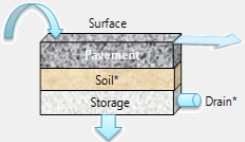
OK Cancel Help

Soil	Storage	Drain
Surface	Pavement	
Thickness (in. or mm)	50	
Void Ratio (Voids / Solids)	0.75	
Seepage Rate (in/hr or mm/hr)	0.5	
Clogging Factor	0	

LID Control Editor

Control Name: **PAVIMENTO PERMEABLE**

LID Type: **Permeable Pavement**



*Optional

OK Cancel Help

Surface	Pavement
Soil	Storage
Flow Coefficient*	0
Flow Exponent	0.5
Offset (in or mm)	6
Open Level (in or mm)	0
Closed Level (in or mm)	0
Control Curve	

[Drain Advisor](#)

*Flow is in in/hr or mm/hr; use 0 if there is no drain.

Zanja de infiltración

LID Control Editor

Control Name:

LID Type:

Surface Storage Drain

Berm Height (in. or mm)

Vegetation Volume Fraction

Surface Roughness (Mannings n)

Surface Slope (percent)

*Optional

OK Cancel Help

LID Control Editor

Control Name:

LID Type:

Surface Storage Drain

Thickness (in. or mm)

Void Ratio (Voids / Solids)

Seepage Rate (in/hr or mm/hr)

Clogging Factor

*Optional

OK Cancel Help

LID Control Editor

Control Name:

LID Type:

Surface Storage Drain

Flow Coefficient*

Flow Exponent

Offset (in or mm)

Open Level (in or mm)

Closed Level (in or mm)

Control Curve

[Drain Advisor](#)

*Flow is in in/hr or mm/hr; use 0 if there is no drain.

*Optional

OK Cancel Help

www.bdigital.ula.ve

Anexo 12 Modelo numérico

Se puede evaluar las características del modelo y verificar su comportamiento para lo cual se facilita toda la información en el cd anexo y en enlace digital:

https://drive.google.com/drive/folders/1dIcnH83ZbcRUbch7l5dpM0NRREHNUEk8?usp=share_link

Contenido.

- Instalador del software para modelado SWMM Ver 5.2 de EPA
- Modelo correspondiente al colector en estudio para cuatro momentos específicos: 1940-1990-2020-2030.
- Modelo de drenaje para condiciones actuales,
- Modelo de drenaje modificación de techos en 10%
- Modelo de drenaje modificación de techos en 50%.
- Construcción de curvar IDF para Mérida.
- Construcción de hietogramas de diseño para Mérida

REFERENCIAS

- Amaya, C. A. (1989). *Geografía urbana de una ciudad: el caso de Mérida*. Merida-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). Revision 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., & Perez 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*. Merida.
- CESAP, C. a. (2018). *Zonificación de niveles de susceptibilidad de la ciudad de Mérida desde la perspectiva hidrogeomorfológica*. Merida: CESAP.
- CIRIA, a. e. (2018). <https://www.susdrain.org/>. Obtenido de <https://www.susdrain.org/>
- Corrales, M. E. (2008). *Infraestructura pública y servicios asociados*. Caracas . Venezuela: Universidad Catololica Andres Bello.
- Delgado Ramos, G. C. (2019). *Ciudad Agua y cambio climatico: una aproximacion desde el metabolismo urbano*. Mexico: Universidad Nacional de Mexico. UNAM.

- Díaz Álvarez, C. J. (2014). Metabolismo urbano: herramienta para la sustentabilidad de las ciudades. (Universidad Central de Colombia, Ed.) *Interdisciplina*, 2(2), 51-70.
- Díaz Carvajal, A., & Mercado Fernández, T. (2017). Determinación del número de curva en la subcuenca 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). *EOSIberica*. Obtenido de <https://eosiberica.es/blog-ciudades-inteligentes/>
- Erbes y otros. (2019). *Industria 4.0 oportunidades y desafíos para el desarrollo productivo de la provincia de Santa Fé*. Santiago, Chile: Comisión Económica Para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Estación meteorológica de Mérida, A. A. (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.
- Hernández, R., Fernández, C., & Batista, P. (2010). *Metodología de la investigación*. México: 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 Barera, J. (2000). *Metodología de la Investigación Holística*. Caracas, Venezuela: Servicios y Proyecciones para América Latina.
- Instituto Nacional de Obras Públicas. (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 protección de infraestructura crítica en caso de desastre natural*. Estados Unidos: Organización de Estados Americanos (OEA).
- Maldonado Pinto, J. E. (2018). *Metodología de la Investigación Social. Paradigmas: cuantitativo, socio crítico, cualitativo, complementario*. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.
- Naciones Unidas. (2012). Río +20 Conferencia de las Naciones Unidas sobre desarrollo sostenible. (pág. 59). Río-Brasil: Naciones Unidas.

- Naciones Unidas. (2016). Nueva Agenda Urbana Habitación 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 Imerida*. Merida.
- Real Academia Española. (15 de junio de 2021). *Real Academia Española*. Obtenido de <https://dle.rae.es/>
- Rodriguez Y, 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*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-39292013000400004&lng=es&tlng=es.
- Wolman, A. (1965). The metabolism of Cities. *Scientific American*, 179-190.

www.bdigital.ula.ve

Esta página se ha dejado en blanco intencionalmente

Reconocimiento

www.bdigital.ula.ve

MARR diciembre 2022
Malejandrarojo@gmail.com

Reconocimiento