

Propuesta para la gestión sostenible de las aguas de escorrentía en el Barrio las Quintas de la Ciudad de Tunja

César Augusto Nomezque Molina
Fabian Esteban Galindo Rojas

Trabajo de grado

Universidad Santo Tomas
Facultad de Ingeniería Ambiental
Tunja
2023

Propuesta para la gestión sostenible de las aguas de escorrentía en el Barrio las Quintas de la Ciudad de Tunja

César Augusto Nomezque Molina
Fabian Esteban Galindo Rojas

Trabajo de grado

Directora
Claudia Roció Suárez Castillo

Codirectora
Alejandra Castro Ortegón

Universidad Santo Tomas
Facultad de Ingeniería Ambiental
Tunja
2023

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla de contenido | |
| Resumen | 8 |
| Palabras clave: | 8 |
| Abstract..... | 8 |
| Key words: Sustainable Urban Drainage Systems, flooding, runoff, urban planning criterios. | 9 |
| Introducción | 9 |
| Planteamiento del Problema | 11 |
| Descripción del Problema | 11 |
| Formulación entorno al problema | 12 |
| 1. Objetivos | 12 |
| Objetivo General..... | 12 |
| Objetivos Específicos | 13 |
| 2. Justificación..... | 13 |
| 3. Pertinencia Social..... | 14 |
| 4. Marco de Teórico | 15 |
| Hidrología e impacto en la sociedad..... | 15 |
| Desarrollo de SUDS en el mundo | 18 |
| Alcance y beneficio de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) | 18 |
| Beneficios de los SUDS | 18 |
| -Beneficios Hidrológicos | 18 |
| -Beneficios Paisajísticos..... | 19 |
| -Beneficios Ambientales | 19 |
| -Beneficios Sociales y Urbanos..... | 19 |
| -Beneficios Económicos | 19 |
| Desarrollo Urbano Social..... | 19 |
| Eco barrios | 20 |
| Urbanismo y Paisajismo | 20 |
| Huella Ecológica..... | 21 |
| Sistemas de Drenaje de urbano sostenible | 21 |
| Criterios para la selección de SUDS | 21 |
| Selección de SUDS..... | 22 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Indicadores en sistemas de construcción sostenible..... | 24 |
| Mantenimiento y costos de los SUDS | 24 |
| Tipologías | 25 |
| Drenes Filtrantes | 25 |
| Zanja Verde..... | 26 |
| Alcorques Inundables..... | 27 |
| Zona de bio-retención | 28 |
| Techos Verdes | 29 |
| Estanques de Retención | 30 |
| Pavimentos Permeables..... | 31 |
| Modelo General Swmm..... | 32 |
| Medidas Preventivas y Consideraciones de Mejoramiento | 32 |
| Determinación del Área de Estudio | 32 |
| Consideración de las ciudades según la Real Academia Española - RAE | 33 |
| Control de Volúmenes de Agua..... | 34 |
| Mejoramiento de Calidad de Agua | 35 |
| Actividades Futuras..... | 36 |
| Aspectos técnicos del sitio de Interés..... | 36 |
| Dimensión de la Cuenca..... | 36 |
| Tipo de Suelo | 37 |
| Aguas Subterráneas..... | 38 |
| Flujo Base | 39 |
| Sistemas de Infiltración | 40 |
| Análisis de Involucrados | 41 |
| Catastro | 41 |
| Marco Normativo..... | 42 |
| Norma Técnica de Servicio NS-166 de 2018 EAAB | 43 |
| Artículo 1-Resolución 6523 de 2011 por la secretaria Distrital de Ambiente- | 44 |
| Artículo 56- Decreto 88 de 2017 por la Alcaldía Mayor de Bogotá | 44 |
| Acuerdo Distrital 418 de 2009 por la Alcaldía Mayor de Bogotá | 44 |

| | | |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| | Resolución 5926 de 2011 por la secretaria Distrital de ambiente | 44 |
| 5. | Metodología..... | 44 |
| | Metodología aplicada para la modelación de curvas IDF o Lluvia de diseño | 48 |
| | Metodología aplicada para realizar el modelo en programa SWMM5vE | 48 |
| | Metodología aplicada en campo para la obtención de ortofotos..... | 49 |
| | Metodología aplicada para el análisis de encuestas | 50 |
| | Estructuración del modelo estadístico | 50 |
| | Metodología aplicada para el análisis de entrevistas | 51 |
| | Metodología para escoger grupos focales..... | 51 |
| | Familia..... | 53 |
| | Entidad | 53 |
| | Profesionales..... | 53 |
| | Estudiantes..... | 53 |
| 6. | Resultados | 53 |
| | Resultados del análisis de precipitaciones | 53 |
| | Resultados de la modelación en SWMM5Ve | 57 |
| | Resultado de la modelación en Swmm para la identificación de nodos y secciones..... | 59 |
| | Convenciones..... | 62 |
| | Resultados de la toma de Ortofotos | 67 |
| | Resultado del análisis de entrevistas | 77 |
| | Resultado del análisis de encuestas | 84 |
| 7. | Propuesta de implementación de Alcorques Inundables..... | 85 |
| | Dimensionamiento de los SUDS | 87 |
| 8. | Conclusiones..... | 89 |
| 9. | Conclusión a la Propuesta..... ¡Error! Marcador no definido. | |
| 10. | Bibliografía | 91 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 1 Zonificación por Nivel de Riesgo | 16 |
| Ilustración 2 Dren Filtrante | 26 |
| Ilustración 3 Zanja Verde | 27 |
| Ilustración 4 Alcorque Inundable..... | 28 |
| Ilustración 5 Zona de bio-retención..... | 29 |
| Ilustración 6 Techos Verdes..... | 30 |
| Ilustración 7 Estanques de Retención..... | 31 |
| Ilustración 8 Pavimentos Permeables..... | 31 |
| Ilustración 9 Dimensiones de una Cuenca..... | 37 |
| Ilustración 10 Tipo de Suelo | 37 |
| Ilustración 11 Aguas Subterráneas | 39 |
| Ilustración 12 Flujo Base..... | 40 |
| Ilustración 13 Sistemas de Infiltración..... | 40 |
| Ilustración 14 Lineamientos de Planificación Urbana..... | 43 |
| Ilustración 15 Plan de vuelo del dron | 49 |
| Ilustración 16 Modelo estadístico..... | 51 |
| Ilustración 17 Lluvia de diseño o curva IDF | 54 |
| Ilustración 18 Curvas IDF | 55 |
| Ilustración 19 Hietograma de diseño..... | 56 |
| Ilustración 20 Hietograma Anual Multianual..... | 57 |
| Ilustración 21 Ejemplo de conexión de los componentes del sistema | 59 |
| Ilustración 22 Resultados de la modelación..... | 62 |
| Ilustración 23 convención escorrentía, nudo, caudal | 63 |
| Ilustración 24 Indicadores | 64 |
| Ilustración 25 Fotos del nudo 35..... | 66 |
| Ilustración 26 Fotos nudo 16..... | 67 |
| Ilustración 27 Ortofoto Barrio Las Quintas | 68 |
| Ilustración 28 Áreas de modelamiento..... | 69 |
| Ilustración 29 Red de Drenaje..... | 71 |
| Ilustración 30 DIAGRAMA 1..... | 80 |
| Ilustración 31 DIAGRAMA 2..... | 81 |
| Ilustración 32 DIAGRAMA 3..... | 82 |
| Ilustración 33 DIAGRAMA 4..... | 83 |
| Ilustración 34 Resultados de Encuestas | 84 |
| Ilustración 35 Ubicación de SUDS | 85 |
| Ilustración 36 Alcorque Inundable..... | 88 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Convenciones nivel de riesgo ante inundaciones. | 17 |
| Tabla 2 Matriz metodológica de objetivos | 47 |
| Tabla 3 Caracterización de Involucrados | 52 |
| Tabla 4 Grupos Involucrados | 52 |
| Tabla 5 Datos Técnicos | 54 |
| Tabla 6 Duración (min) | 54 |
| Tabla 7 Grupo Hidológico y CN de la zona | 58 |
| Tabla 8 Ejemplo de llenado de la cuenca 1 "área aferente" | 60 |
| Tabla 9 Ejemplo de pozo de inspección 2 "nudo" | 61 |
| Tabla 10 Ejemplo de Tramo2"conducto" | 61 |
| Tabla 11. Caudales por nodos | 64 |
| Tabla 12. Tabla de especificaciones de las cuadras | 70 |
| Tabla 13. Distribución del alcantarillado | 72 |
| Tabla 14. Área de aferencia | 76 |
| Tabla 15 Análisis de Involucrados | 77 |
| Tabla 16 Consideraciones para el diseño | 87 |
| Tabla 17 Dimensiones de Alcorques | 87 |

Resumen

Los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS), a través del tiempo han sido implementados para llevar a cabo la recolección, transporte y disposición de las aguas de escorrentía de una forma sostenible. El presente proyecto busca consolidar una propuesta para la gestión sostenible de las aguas de escorrentía en sector del Barrio las Quintas de la ciudad de Tunja, por medio del diagnóstico de las condiciones hidro climáticas del territorio, la identificación de criterios de planeación urbana que influyen en la gestión del agua lluvia, teniendo en cuenta la participación de actores clave del territorio, finalmente la propuesta de alternativas de manejo y la gestión de las aguas de escorrentía que se generan en la zona de estudio.

Para el desarrollo de la investigación, se realizó en primera instancia una revisión de información en fuentes bibliográficas respecto a los Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible y de los criterios para hacer el proceso urbanamente sostenible. De igual forma, se realizó el método de balance hídrico de la zona, se identificó el sector a intervenir, y se llevó a cabo un registro fotográfico por medio de una ortofoto, para el análisis de pendientes, curvas de nivel y visualización de sumideros en el área de estudio. Posteriormente, se establecieron los criterios de planeación urbana con el fin de encontrar el mejor camino de planeación acorde con los intereses y conocimiento de la población. A partir de los resultados obtenidos, se caracterizó el Barrio Las Quintas y se determinó las diferentes problemáticas tales como inadecuada ejecución de obras de alcantarillado y la poca gestión de las entidades territoriales al permitir que se construya en zonas aledañas a los ríos y en humedales, de igual forma, se consolidó una propuesta para la gestión sostenible de las aguas provenientes de fuertes lluvias, proponiendo y ubicando 18 alcorques inundables que almacenarán el 50% de las aguas que van directamente a los alcantarillados y de esta forma se reducir la posibilidad de que ocurran eventos de inundaciones en el sector.

Palabras clave: Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, inundación, escorrentía, criterios de planeación urbana

Abstract

Sustainable urban drainage systems (SUDS) have been implemented over time to carry out the collection, transport and disposal of runoff water in a sustainable manner. This project seeks to consolidate a proposal for the sustainable management of runoff water in the Las Quintas neighborhood of the city of Tunja, through the diagnosis of the hydroclimatic conditions of the territory, the identification of urban planning criteria that influence the rainwater management, taking into

account the participation of key stakeholders in the territory, the proposed management alternatives, and the management of runoff water generated in the study area. For the development of the research, a review of information in bibliographic sources regarding Sustainable Urban Drainage Systems and the criteria to make the process urbanly sustainable was carried out in the first instance. In the same way, the water balance method of the area was carried out, the area of the land was identified and a photographic record was carried out by means of an orthophoto for the analysis of slopes, level curves and visualization of sinkholes in the area. study. Subsequently, urban planning criteria were established in order to find the best planning path according to the interests and knowledge of the population. Based on the results obtained, the Las Quintas neighborhood was characterized and the different problems were determined, such as inadequate execution of sewerage works and the little management of the territorial entities by allowing it to be built in areas adjacent to rivers and in wetlands, Similarly, a proposal for the sustainable management of water from heavy rains was consolidated, proposing and locating 18 floodable ponds that would store 50% of the water that goes directly to the sewers and thus reduce the possibility that flood events occur in the sector.

Key words: Sustainable Urban Drainage Systems, flooding, runoff, urban planning criterios.

Introducción

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, son sistemas complementarios al drenaje pluvial de una zona en particular, se han implementado en los últimos años como una estrategia para la gestión integral del agua lluvia. Los sistemas de drenaje convencionales dirigen el agua de un punto a otro lo cual genera la alteración de las condiciones parciales e iniciales de la dinámica natural del agua de las fuentes receptoras, adicional estos sistemas no tienen la capacidad de recoger y transportar los caudales de escorrentía, lo cual genera que se presenten eventos de inundaciones, déficit en la calidad del agua de las fuentes receptoras, debido a que estos sistemas en la mayoría de zonas combinan las aguas residuales con las aguas de escorrentía. (Franco Calderon, 2015).

Adicional a lo anteriormente expuesto, las inundaciones que se generan en zonas urbanas, son el resultado de cambios climáticos o bien conocidos como fenómenos naturales, en los que se encuentran las altas precipitaciones, los hundimientos de suelos, entre otros; pero junto a esto se ha evidenciado que la actividad humana, generan el desarrollo innovador de grandes urbanizaciones y no se generan medidas de control para eventos de inundaciones, para la misma protección de la comunidad y así el nivel de riesgo va aumentando exponencialmente (Huu Loc , Minh Duyen, Ballatore J, My Lan, & Gupta Das, 2017)

El ciclo natural del recurso hídrico en los lapsos de tiempo de un evento de precipitación, permiten que las plantas capten un porcentaje de las lluvias, así mismo esa función la cumple el suelo, infiltrándose y aumentando la humedad del mismo, lo cual genera acumulación excesiva junto con flujos de escorrentía superficial y sub superficial, en donde se generan recargas en los acuíferos (Sañudo, Rodriguez, & Castro, 2013).

Para los mismos autores (Sañudo, Rodriguez, & Castro, 2013), no en todas las ciudades el ciclo del agua presenta el mismo comportamiento, esto debido al porcentaje de cobertura vegetal, lo cual no permite que se capte el agua en los procesos de transpiración, y así mismo se encuentren zonas con altos niveles de impermeabilidad que generan niveles bajos de escorrentía, lo que la vuelve escorrentía superficial que si al pasar el tiempo se concentran en grande cantidades pueden generar picos de caudales elevados.

Por otra parte, los sistemas de alcantarillado convencionales en la mayoría de ciudades, están elaborados para la captación, el transporte y la distribución de agua en fuentes de recepción para generar lo que se llama recolección de aguas lluvias, así mismo, la seguridad vial, lo que genera una facilidad en la evacuación de niveles de escorrentía durante estos eventos de lluvia , pero al paso del tiempo, con el crecimiento de las ciudades, estos sistemas están siendo obsoletos, ya que las áreas de drenaje aumentan, y vuelven esos sistemas convencionales, poco útiles para la función adecuada (Franco Calderon, 2015).

A partir de la información obtenida anteriormente, la manera correcta de mejorar estos conflictos o eventos de inundación que son asociados a los drenajes urbanos, es proponer ideas novedosas y llevarlas a soluciones efectivas, en donde se incorporen sistemas de aguas lluvias que sean acordes a los objetivos de desarrollo sostenible. De tal forma se han creado sistemas no convencionales que se conocen como (Sustainable Drainage Systems) conocidos como SuDS, así mismo el diseño urbano sostenible (Water Sensitive Urban Desing WSuds), en los que estos sistemas de drenaje de agua superficial que son elaborados en línea, son los esenciales para el cumplimiento de los ODS, y genera el crecimiento de beneficios para la gestión adecuada del recurso hídrico (White, 2015)

Según (Franco Calderon, 2015); menciona que los sistemas urbanos de drenaje sostenible en el momento de la implementación no buscan cambiar el ciclo natural del agua, si no por el contrario su finalidad es disminuir o mitigar los problemas que se generen por los drenajes convencionales y el incremento en urbanizaciones, disminuyendo y transportando de manera correcta los niveles de escorrentía y disminuyendo los impactos que generaban estos eventos de inundaciones.

Teniendo las consideraciones expuestas, se estructura el desarrollo del proyecto, a partir de una búsqueda de información bibliográfica referente a experiencias de

implementación de SUDS en el ámbito internacional y nivel nacional. A partir del análisis de la información secundaria, identificar los principales problemas que se presentan por la gestión de aguas de escorrentía.

Como segunda fase realizar un diagnóstico de la zona de estudio, caracterizando las condiciones hidro climáticas del territorio, así como las condiciones generales del sistema de alcantarillado de la zona. Se llevó a cabo trabajo de campo para identificar las condiciones sociales con el fin de establecer el grado de conocimiento sobre manejo de aguas de escorrentía y la percepción de los habitantes de la zona, con respecto a la problemática evidenciada de inundaciones frecuentes por causa de los eventos de precipitación.

Así mismo se evalúan que beneficios traen consigo la implementación de los SUDS en cuanto a factores hidrológicos, paisajísticos, ambientales, sociales y urbanos. Definición de criterios que se deben tener en cuenta para la selección de los SUDS, y sus posibles costos. Se determinan las diferentes tipologías de SUDS con sus beneficios, y características particulares en cuanto a funcionamiento, se incluye el desarrollo urbano social y un análisis de participación de la comunidad. Teniendo en cuenta todo lo anterior, se implementan herramientas computacionales que permitirán la simulación a escala real del comportamiento hidrológico e hidráulico, teniendo como base la información hidro climática obtenida del IDEAM.

Planteamiento del Problema

Descripción del Problema

El cambio climático genera riesgos para las sociedades y zonas de alta vulnerabilidad, por lo cual es necesario una gestión adecuada y a tiempo de aquellas variaciones medioambientales. El incremento de la precipitación y la ocurrencia constante de la misma, por consecuencia del calentamiento global, genera aumento en la cantidad de escorrentía, la cual es uno de los detonantes del riesgo de inundación debido a la transformación del espacio natural, cambiando las dinámicas del suelo de condiciones permeables a impermeables,

Los fenómenos naturales tales como inundaciones, ha traído consigo desastres a escalas mundiales, para este caso, las temporadas invernales han crecido exponencialmente y desafortunadamente el interés de los gobernantes y habitantes de los distintos países fue expresado muy tarde, por no conocer los temas de Gestión de Riesgo y la manera de manejar situaciones de emergencia. Así mismo

es de suma importancia subrayar que a pesar de todo esto se han venido generando estrategias que pretenden la mitigación de desastres, en donde principalmente la educación o concientización a las comunidades sobre los riesgos es de alto interés para evitar que estas sean expuestas a aquellos desastres, pero el enfoque de educación ambiental no solo en Colombia si no a nivel mundial es medianamente implementado. (IDEAM, 2008).

Teniendo en cuenta el contexto anterior se ha identificado que la ciudad de Tunja en su proceso de crecimiento y expansión se han densificado áreas susceptibles a inundaciones por estar en zonas planas, como es el caso de la parte nororiental de la ciudad, específicamente la Avenida Universitaria y el Barrio las Quintas, donde a través de los años por las condiciones físicas del terreno se tiene mayor vulnerabilidad a inundaciones.

Por la ciudad de Tunja transcurren los Ríos Jordán y la Vega, los cuales se caracterizan por delimitar o definir el orden y la distribución de la zona urbana. En los años de 2010-2011 se presentaron altas precipitación generando inundación de la ciudad en zonas específicas, como Pozo Donato, Las Quintas, Mesopotamia, Santa Inés, El Asís, Los Muiscas, Manzanares, El Curubal, Los Rosales, Quince de Mayo, El Triunfo, La María, Villa Luz, La Avenida Universitaria, generando pérdidas económicas y malestar en la población. (Caro Camargo & Gil Alvarado , 2019).

Formulación entorno al problema

¿De qué forma la comunidad gestiona el uso adecuado del recurso y aporta a la disminución de potenciales inundaciones en el Barrio Las Quintas y Avenida Universitaria?

¿Cuáles son los factores determinantes para que el barrio Las Quintas sea propenso a inundaciones en fenómenos naturales donde se presentan grandes cantidades de precipitación?

1. Objetivos

Objetivo General

Consolidar una propuesta para la gestión sostenible de las aguas de escorrentía en el barrio las quintas de la ciudad de Tunja

Objetivos Específicos

- 1- Diagnosticar las condiciones hidro climáticas del territorio que inciden en la generación de escorrentía.
- 2- Establecer los criterios de planeación urbana que influyen en la gestión del agua lluvia desde la participación de actores clave del territorio.
- 3- Establecer la línea base de los conceptos adquiridos por los actores clave del territorio sobre el manejo de aguas de escorrentía.

2. Justificación

Debido a la ubicación geográfica de Tunja y a la distribución que posee con respecto a los ríos Jordán y la Vega, se hace evidente los riesgos de inundación de algunos barrios, esto teniendo en cuenta que existe una baja gestión de los entes territoriales a la hora de hacer ordenamientos territoriales que respete mínimamente las rondas hídricas de los ríos anteriormente nombrados.

Teniendo en cuenta los fenómenos naturales y cambios climáticos que se producen en zonas bimodales, habitar en zonas cercanas al río incrementa el riesgo ante estas posibles amenazas. A lo largo de los años, se ha evidenciado la presencia de inundación en barrios del municipio de Tunja como Santa Inés y Las Quintas, debido a que, según los mapas de vulnerabilidad, estas zonas presentan un alto índice de inundabilidad (Caro Camargo & Gil Alvarado , 2019).

De igual forma, una de los aspectos que se han identificado es que las zonas de inundación de la ciudad corresponden a áreas planas donde existían terrenos con altos índices de humedad, y que están en cercanías de humedales que tienden a ser grandes aportantes a los caudales presentes en las zonas vulnerables. Esta problemática ha generado graves afectaciones en el ámbito social, económico y hasta político dentro del municipio (Corpoboyaca, 2022) .

A partir de lo anterior, por medio del presente proyecto se brindará información a la población del Barrio las Quintas respecto a la problemática de inundación que presenta el sector, así como las estrategias de gestión del recurso hídrico que involucren el agua pluvial. De igual forma, se busca comunicar a los habitantes cómo se encuentra el barrio en cuanto al sistema de alcantarillado y si este es el adecuado para el correcto recorrido de las aguas para poder evitar futuras afectaciones.

Esta investigación se desarrolla en el Barrio las Quintas debido a los antecedentes que presenta el sector respecto a eventos de inundaciones. Además, en la zona ya se han venido identificando los causantes de esta problemática como lo son los baches que son provocados por la recarga de agua en los sistemas de alcantarillado y llegan a generar conflicto vehicular al no ser visualizados por los empozamientos que producen al presentarse fuertes lluvias. El proyecto busca a incentivar a la comunidad a la aplicación de nuevas estrategias que permitan una urbanización sostenible y de esta manera contribuir a mejorar las condiciones de vida de sus habitantes.

3. Pertinencia Social

Los fenómenos naturales como las altas precipitaciones, afectan zonas de urbanización por las escalas en las que se presentan, así mismo el impacto social es altamente notable, dado que los crecimientos de inundaciones afectan las zonas residenciales y asimismo vías principales por donde diariamente se transita, la población al no saber que significa la escorrentía y que puede ocasionar, no administra bien el recurso hídrico o las aguas grises las cuales pueden disminuir las inundaciones, el incremento poblacional y la construcción de viviendas en zonas donde inicialmente era cobertura vegetal ha generado un cambio en el uso inicial del suelo, y así aumentan los suelos erosionados junto con la deficiencia de drenajes; por otra parte el incremento de los niveles de agua en estas zonas traen consigo, viviendas que se van deteriorando con el tiempo, incluso viviendas destruidas, pérdidas humanas, bienes personales entre otros.

La inclusión de la población en la investigación va ligada a la información que es suministrada como datos relevantes para la determinación de una propuesta de solución y de re direccionamiento de respuestas para la problemática de inundación, con esto el crecimiento de conocimiento de los ciudadanos puede influir en la gestión con los entes encargados de los problemas de alcantarillado e inundación, dado que puedes ocasionar riesgos para los mismos habitantes, sus viviendas y las vías que hacen parte de la zona de estudio.

Dado que Colombia está ubicado en la zona norte del Sur de América, este país se caracteriza por la diversidad de bosques, flujos de aire y tipos de suelos, también por su gran extensión meteorológica e hidrológica influenciada por factores de

carácter regional y local. Colombia durante 100 años, ha estado trabajando en la implementación de leyes y decretos que contribuyan al manejo adecuado de los recursos naturales; sin embargo, las diferentes actividades productivas y los asentamientos humanos en sectores de inundación han producido el aumento del riesgo ante desastres. Las altas concentraciones de población en las áreas urbanas crecen cada día más, lo cual ubica los fenómenos naturales extremos e indeseados como causa de la inconformidad económica y social (IDEAM, 2008).

En cuanto a la climatología del país, se han registrado valores de precipitación mayores a los datos históricos presentados principalmente para la época de 2010-2011, como consecuencia del fenómeno de la niña, el cual ha generado el aumento tanto de los desastres naturales como de las secuelas en cada uno de los departamentos afectados. Estas manifestaciones de la ola invernal dentro del territorio han estado determinadas por periodos de fuertes lluvias que afectan a las distintas comunidades debido a las avalanchas, inundaciones y remociones en masa que se presentan en varias zonas del país (BID, 2013).

4. Marco de Teórico

Hidrología e impacto en la sociedad

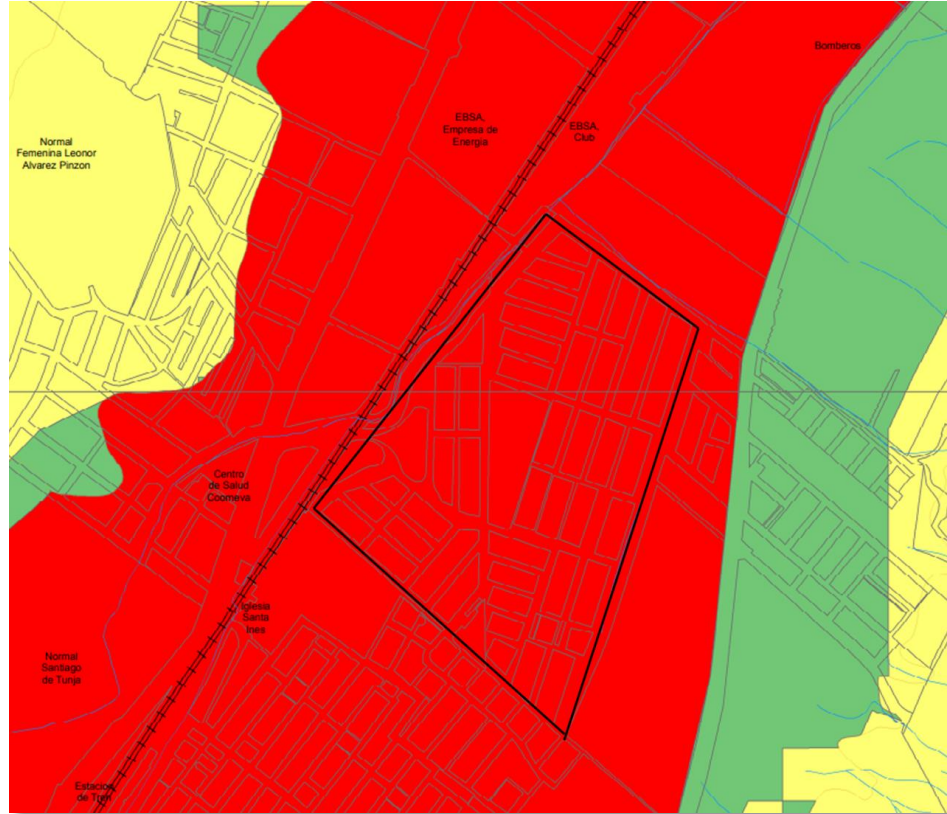
El ciclo hidrológico es el proceso mediante el cual se describe la dinámica del agua, en sus diferentes estados (sólido, líquido, gaseoso), dentro naturaleza. Este ciclo se considera como un punto de partida y un punto final que define dónde se encuentra el agua en ríos, mares, lagos y otras superficies. El agua se evapora a la atmósfera, en donde se condensa y precipita en forma de lluvia, siendo bloqueada por la vegetación y penetrando en el suelo por la escorrentía subterránea. Todos estos se convierten en corrientes superficiales y representan las etapas del ciclo hidrológico (Cano Salazar, 2021).

El crecimiento de las zonas urbanas genera como consecuencia la construcción de nuevas infraestructuras que transforman las superficies naturales en terrenos impermeables. Estos cambios, producen el incremento de la escorrentía directa, puesto que se limita el flujo del agua mediante procesos de infiltración y evapotranspiración, lo cual se convierte en una problemática para los sistemas de drenaje convencional (Cano Salazar, 2021).

En los últimos años, la gestión del agua lluvia se ha llevado a cabo empleando sistemas subterráneos como colectores o sumideros. Sin embargo, estas estructuras presentan una capacidad limitada de drenaje generando afectaciones

en las condiciones de los cuerpos de agua, así como el aumento del riesgo ante posibles inundaciones (Cano Salazar, 2021).



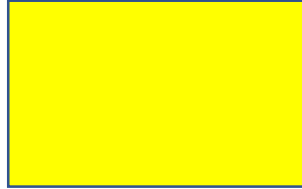
Ilustración 1 Zonificación por Nivel de Riesgo



FUENTE: Alcaldía Mayor de Tunja - Mapa 05 Amenaza por inundación urbano y encharcamiento urbano 2020

En el mapa anterior se ilustra el área de estudio (Barrio Las quintas) especificando sus límites en la zona sur con el barrio Santa Inés, al norte con el centro comercial Viva, al occidente con el Río Jordán y al oriente con la avenida Universitaria. Las convenciones que especifican el nivel de riesgo ante inundaciones en cada zona del mapa se observan en la Tabla 1. A partir de esta información se puede establecer que el barrio Las Quintas presenta un riesgo es alto dado que se localiza en un sector cercano al Río y además presenta pendientes reducidas.

Tabla 1. Convenciones nivel de riesgo ante inundaciones.

| Amenaza por inundación y encharcamiento | Ubicación | Convención |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Alta | Valles del río Jordán y la Vega, afectando la totalidad de los barrios de Villa Olímpica, La María, Villa Universitaria, Pozo Donato, Santa Inés, Remanso de la Sabana, Ciudadela Comfaboy, Doña Eva, El Jordán, Los Patriotas, Quince de Mayo, Las Quintas |  |
| Media | Sectores de los barrios Balcones de Terranova, Altagracia, Fuente Higueras |  |
| Baja | El resto del área urbana del municipio |  |

FUENTE: Alcaldía Mayor de Tunja - Mapa 05 Amenaza por inundación urbano y encharcamiento urbano

Desarrollo de SUDS en el mundo

Los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) corresponden a sistemas complementarios de drenaje del agua lluvia que tienen la finalidad de realizar una gestión integral del agua pluvial. En países como Singapur, Japón, Alemania e incluso Inglaterra, el agua captada de las precipitaciones, es empleada tanto para riego de la vegetación que se encuentra en las edificaciones, así como suministro para el manejo de incendios. Además, en otras naciones como Australia y Estados Unidos, el agua recolectada de las lluvias es utilizada para abastecer la demanda del consumo doméstico y de la actividad ganadera (Sandoval Leon, 2015).

Alcance y beneficio de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)

Al zonificar el área de estudio, es necesario definir el alcance de la implementación de los SUDS en el presente proyecto. En la primera etapa del procesamiento metodológico, se establecen los objetivos que se esperan lograr durante la construcción y operación del SUDS, considerando la escala y la magnitud de la investigación. De manera similar, se determina el impacto de esos sistemas de drenaje en la población de estudio con el fin de evaluar el tipo de estructura necesaria ante los requerimientos de la zona, evitando la presencia de fallas presupuestales o técnicas a causa de una sobreestimación o subestimación del alcance del mismo.

Frecuentemente, los objetivos establecidos en un proyecto incluyen más de uno, ya que la implementación de SUDS puede brindar un beneficio simultáneo de varias variables del área urbana. Sin embargo, la manera correcta para obtener un beneficio de estos parámetros en particular dependerá en último momento del cual es su estructura y su correcta implementación en el área de intervención. A partir de lo anterior, se plantea desde el inicio definir los resultados iniciales que se obtendrían tras la implementación del SUDS para cada hipotético objetivo. Además, es importante especificar el volumen de agua residual que se pretende reducir, al igual que el % de disminución de flujo máximo, el porcentaje de eliminación de contaminantes y el grado de satisfacción de la comunidad ante la implementación del SUDS (USAQUEN, 2020).

Beneficios de los SUDS

-Beneficios Hidrológicos

- Sostenimiento del flujo natural de las corrientes urbanas.
- Disminución en cruce del flujo natural con las corrientes de aguas de escorrentía provocadas por precipitaciones.
- Precaución frente a inundaciones.

- Recarga de acuíferos subterráneos y redirigiendo el flujo hacia sus cursos naturales a causa del proceso de infiltración (Sandoval Leon, 2015).

-Beneficios Paisajísticos

- Creación de espacios naturales como lo pueden ser los humedales
- De manera visual, la mejora estética de la zona urbana aumentando el valor de las zonas residenciales (Sandoval Leon, 2015)

-Beneficios Ambientales

- Reducción de cargas contaminantes.
- Aumento de biodiversidad.
- Mejora de calidad de las aguas de escorrentía.
- Prevención de inundaciones y mejora en almacenamiento de aguas (Sandoval Leon, 2015)

-Beneficios Sociales y Urbanos

- Protección frente a inundaciones.
- Desarrollo Urbano.
- Desarrollo de sistemas de alcantarillado.
- Soluciona la poca capacidad hidráulica de retención de agua.

-Beneficios Económicos

- Sistemas pluviales de bajo coste.
- Disminuye pérdidas económicas por danos provocados por inundaciones.
- Incremento urbano.
- Reducción de costos de funcionamiento de depuradoras de calidad de agua (Sandoval Leon, 2015).

Desarrollo Urbano Social

El contexto urbano y social en el que se desarrollan dichos sistemas es una variable que influirá tanto en la elección del lugar de intervención como en los planes futuros para monitorear y mantener los tipos establecidos. Primero, porque uno de los objetivos de implementar SUDS es en cierta medida mejorar la mejora de los territorios infiltrados por estas estructuras. Uno de los criterios de selección que se pueden emplear es el bajo porcentaje de zonas verdes en el área urbana analizada. Además, la gran escasez de espacios verdes en un área de la ciudad está en

muchos casos relacionada con áreas urbanas con poblaciones de bajos ingresos y las dinámicas sociales tienden a ser complejas. Por esta razón, la implementación de sistemas de drenaje urbano sostenible mejorará la calidad de vida en estas áreas de la ciudad al crear espacios urbanos más adecuados y propicios para la recreación de los visitantes frecuentes y generará el aumento del valor paisajístico del lugar (Univesidad de los Andes, 2016).

Es necesario tener en cuenta el contexto social en el que se desarrollan estos proyectos, de manera que se pueda determinar la cohesión social de la población aledaña y desarrollar maneras adecuadas y estratégicas que puedan orientar y fortalecer a los distintos focos sociales del proyecto. Por lo tanto, desde el inicio de la investigación, es necesario determinar el nivel de preparación e interés de la comunidad en el cuidado y supervisión de este tipo de sistemas, para que estas obras se realicen en el nivel más adecuado. A pesar que la implementación de estas estrategias puede requerir inicialmente recursos significativos y personal capacitado, el objetivo es garantizar que la comunidad misma haga el mejor trabajo en la iniciativa durante mucho tiempo (Univesidad de los Andes, 2016).

Eco barrios

Un eco barrio hace referencia a un barrio urbano que implementa estrategias y proyectos para poder disminuir su huella ecológica. Además, estas zonas buscan mejorar las condiciones de vida de sus habitantes por medio de una relación sostenible con el medio ambiente. (Gamboa, 2014)

Urbanismo y Paisajismo

El segundo de los objetivos complementarios por los que se desarrollan los proyectos SUDS se centra en la mejora de los valores paisajísticos y urbanos del área de intervención. Esto está en línea con el objetivo de belleza mencionado anteriormente y se usa a menudo en proyectos comunitarios a gran escala. Sin embargo, en algunos proyectos privados altamente eficientes (por ejemplo: edificación de centros de ocio, centros comerciales, zonas industriales, parques privados, etc.), se puede agregar de manera correcta este componente con los municipios responsables del área de interés. Este objetivo busca fomentar el desarrollo urbano de la zona y su entorno mediante la implementación de SUDS para aumentar la calidad en mejora de la ordenación tiempo/espacio del sector urbano de acuerdo con las necesidades de las personas de la zona. Por lo tanto, se espera mejorar simultáneamente la percepción paisajística de la instalación

mejorando la parte visual paisajística del sitio en consecuencia con el medio ambiente.

A partir de esto, para que sea más selectivo y priorizado la determinación de estos sitios con una buena tasa potencial, la determinación de cada una de estas variables, como la belleza (parte visual) del sitio, las zonas verdes y sus coberturas, el uso del suelo y el tipo de normatividad de la ciudad que lo cubre, deben utilizarse, entre otras cosas, para priorizar las áreas que carecen de planificación urbana y paisajística, con base en los datos obtenidos. Sin embargo, en cuanto a las características de los tipos propuestos para lograr este objetivo, vale la pena señalar que tienden a parecerse mucho a los utilizados para lograr el objetivo de conveniencia. No obstante, para aumentar la composición urbana de esta área, se propone utilizar edificios compactos prácticos que se pueden implementar en áreas altamente urbanizadas con limitaciones de espacio significativas (como vías esenciales como conectoras, senderos peatonales e intersecciones urbanas). Por otro lado, debido a la percepción del paisaje de la zona, se recomienda utilizar un sistema de drenaje que asuma la presencia de una infraestructura vegetal conspicua (por ejemplo, bonsáis y árboles de tamaño mediano) (Univesidad de los Andes, 2016).

Huella Ecológica

El concepto de "huella ecológica" de la ciudad, se refiere de manera general a la expansión de la tierra que una determinada ciudad de manera que perita conservar todas sus funciones productivas y de vida. La huella de una ciudad consiste en los materiales y la energía que utiliza directa o indirectamente, teniendo en cuenta el espacio requerido para recibir los recursos, transformarlos, utilizarlos o consumirlos, y depositar o asimilar sus residuos (Gobierno Vasco , s,f).

Sistemas de Drenaje de urbano sostenible

Las inundaciones son eventos naturales, que se presentan frecuentemente y generan consigo corrientes de agua basado en las precipitaciones de alta intensidad las cuales producen que el suelo sobrepase la capacidad de retención de agua y así mismo el sistema de alcantarillado, causando inundaciones que afectan los bienes de la comunidad, y los sistemas viales, por lo cual es importante generar conciencia para mitigar el riesgo y generar atención rápida a eventos de emergencia. Los sistemas de drenaje urbanos convencionales tienen como finalidad el tránsito del recurso hídrico a través de la ciudad, debido a esto los cauces han sido canalizados y rediseñados para poder captar así volúmenes grandes de agua (Bermudez Valero, 2021)

Criterios para la selección de SUDS

En primera instancia, para la sección del SUDS es primordial establecer las zonas aptas para la implementación de este tipo de sistemas. De igual manera, se debe garantizar que la aplicación de los SUDS genere de manera exponencial impactos positivos tanto a la comunidad, como en el medio ambiente. Teniendo en cuenta esta información, se evalúa que la implementación de los SUDS no produzca ninguna afectación en los drenajes ya existentes (Univesidad de los Andes, 2016).

Selección de SUDS

El método de selección es un proceso que debe ir acompañado de un análisis exhaustivo de toda la información disponible en un área determinada. Este proceso debe ser flexible ante el contexto en que se desarrolla para poder determinar la ubicación más adecuada en la cual se pueda implementar el SUDS. De acuerdo a la metodología, el alcance de un estudio tiene en cuenta la estructura de referencia que permite establecer los objetivos de rendimiento para determinar si el uso de SUDS es una alternativa adecuada para cumplir con el rango especificado o no. En este sentido, para fines de manejo de inundaciones, entre otras cosas, causadas por desbordamiento de lechos de ríos o canales, aumento del nivel de las aguas subterráneas y regulación de mareas, no se debe utilizar este tipo de sistema de drenaje recomendado debido a que se enfoca específicamente en el manejo de aguas pluviales. Posteriormente, a la toma de decisiones se debe realizar una recopilación de información que permita identificar las áreas potenciales para la intervención de SUDS (Univesidad de los Andes, 2016).

Tras desarrollar esta fase inicial, la siguiente fase consiste en distinguir y priorizar las áreas previamente alcanzadas según el nivel de consecución de los objetivos establecidos en el alcance propuesto. Por lo tanto, es más probable que las áreas potenciales sirvan para un propósito particular (por ejemplo: gestionar caudales, mejorar la calidad del agua, mejorar los servicios in situ, promover la planificación urbana y la ecologización de las ciudades y/o rehabilitar las masas de agua). De esta manera, es posible enfocar la evaluación de sitios adecuados en áreas cada vez más limitadas. Luego, se recopila la mayor información disponible sobre todos los factores que influyen en las áreas prioritarias para comparar y seleccionar los sitios más adecuados para implementar estructuras de drenaje sostenibles. Como las áreas de intervención pueden aclararse nuevamente en un grupo cada vez más reducido, la siguiente fase consiste en el desarrollo de planes de viajes y visitas a diferentes áreas prioritarias para identificar las características y dinámicas reales en esa área que aparecen en el acto. Esta prueba de campo es primordial para poder seleccionar el sitio de intervención, al confirmar o reconsiderar el verdadero potencial del sitio para la implementación de SUDS (Univesidad de los Andes, 2016).

Es importante mencionar que se puede indicar en un número limitado de las posibles direcciones de implementación SUDS más convenientes. Cada uno de ellos propone desarrollar diferentes pruebas técnicas de campo (Levantamiento de infiltración, levantamiento de suelo, inspección de campo de redes de drenaje y aguas residuales, medición de lluvia en sitio y cuantificación de escorrentía, etc.), brindando antecedentes sobre las condiciones reales y actuales del área de interés. Esta información recopilada en el campo no solo será útil para comparar la utilidad de las intervenciones en las diferentes regiones especificadas en el segundo grupo, sino también para permitir la validación de los datos recopilados. Como resultado, la base de datos de información técnica se puede utilizar para futuros proyectos de implementación de SUDS. Por lo tanto, esta etapa de comparación de información es fundamental para seleccionar la ubicación más conveniente (Univesidad de los Andes, 2016).

Sin embargo, el siguiente paso de este enfoque es el proceso de toma de decisiones del cual son responsables los propietarios del proyecto. En esta etapa, se aplicaron criterios técnicos completos para determinar los lugares más convenientes para implementar SUDS en varias variantes. Para finalmente elegir cuál de estos es el lugar adecuado de intervención teniendo en cuenta sus características. Por tal motivo, los aspectos de diseño y tipo de servicio tiene en cuenta el espacio para almacenar escombros, la facilidad de acceso de maquinaria, la accesibilidad espacial a lugares de interés, la seguridad de los lugares, la integración social, el nivel educativo de las personas, entre otros factores. Al aplicar estos criterios, se puede seleccionar la zona más óptima para implementar las estructuras de drenaje sostenible. Finalmente, se evalúa el elemento resultante del paso anterior con el fin de garantizar el cumplimiento de los requisitos establecidos en el alcance propuesto. Por lo tanto, si el sitio obtenido cumple con los requisitos, se elige claramente como el sitio óptimo para el despliegue de SUDS. Una vez que se logre esto, se puede implementar el siguiente tipo de tren y método de selección para determinar qué sistema de drenaje y configuración sería el diseño de SUDS más adecuado para cumplir con el volumen propuesto. Por otro lado, si el establecimiento seleccionado no cubre completamente el alcance definido, debe volverse a revisar el alcance de la intervención y redefinir si implementación de los SUDS es la alternativa más adecuada teniendo en cuenta la finalidad del proyecto. Si se determina que los sistemas de drenaje urbano sostenible no son la opción más viable, se deben revisar los manuales técnicos y los manuales de drenaje tradicional para acomodar completamente el volumen específico que el proyecto busca alcanzar (Univesidad de los Andes, 2016).

Indicadores en sistemas de construcción sostenible

El objetivo principal para el que se desarrolla SUDS es el gestionar tanto la cantidad y mejorar las condiciones del recurso hídrico que fluye hacia los cuerpos de agua. Sin embargo, hay tres objetivos adicionales que pueden estar involucrados en la realización de este tipo de proyecto. El primero es mejorar la belleza de un determinado lugar mediante la introducción de este tipo de sistema de alcantarillado urbano. Además, busca la creación de nuevos espacios urbanos útiles y atractivos para la población que vive cerca del establecimiento de intervención, que pueden mejorar significativamente la evaluación del bienestar social y ambiental de la comunidad afectada por el desarrollo de SUDS. Sin embargo, para lograr este objetivo, es recomendable implementar tipos con configuraciones superficiales en el diseño que incluyan la infraestructura de la empresa, a satisfacción de las personas. Por ello, para priorizar áreas potenciales con base en este objetivo, es necesario integrar variables como tasa de cobertura vegetal, evaluación ambiental y social del territorio, tasa de impermeabilización, entre otros factores, para seleccionar áreas con deficiencias significativas de mejora. En este sentido, los sistemas de drenaje, como las áreas de almacenamiento biológico o los estanques inundados, pueden funcionar de manera efectiva en áreas muy urbanizadas con cobertura vegetal parcial o total (Univesidad de los Andes, 2016).

Estos conceptos teóricos combinan tanto las iniciativas especificadas como las propuestas. La planificación de construcciones sostenibles se ha llevado a cabo por medio del establecimiento de criterios científicos y aspectos especiales que influyen en una construcción estable. Estos conceptos han desarrollado innumerables sistemas de certificación en el campo de construcción sostenible. En consecuencia, el establecimiento de estos criterios de diseño y comportamiento de la infraestructura sostenible se presenta como un incentivo para la certificación en términos de soporte tecnológico, medio ambiente y calidad, lo cual permite demostrar que este tipo de estructuras cumplen con los parámetros de sostenibilidad en cuanto a la protección del medio ambiente y la tasa de rendimiento del consumo de recursos naturales (Gamboa Medrano, 2014).

Mantenimiento y costos de los SUDS

Es uno de los factores más importantes para el correcto funcionamiento del SUDS. Es importante tener en cuenta la frecuencia del mantenimiento, los equipos necesarios para este proceso y el personal adecuado para realizarlo correctamente (Univesidad de los Andes, 2016).

Los SUDS presentan altos costos para las comunidades en las que se implementan, no obstante, estos costos deben soportarse de acuerdo con los

beneficios que brindan al controlar la contaminación, permite la reposición de acuíferos y contribuye a la integridad del paisaje. Los alcantarillados urbanos que transportan metales, grasas, aceites y nutrientes son conducidos por el sistema colector hasta los cuerpos receptores. Algunos factores como la intensidad y duración de la lluvia, el tipo de instalación, el mantenimiento y las condiciones específicas del sitio determinarán cómo se eliminan estos contaminantes o cómo se reducen los caudales máximos. Dado que los factores de similitud varían entre ubicaciones, se recomienda que, cuando se disponga de información, se estimen los costos asociados a cada tipo de sitio.

A pesar de la información limitada sobre los costos de construcción y mantenimiento de las estructuras SUDS, estos valores varían de acuerdo a las condiciones locales, como el acceso al sitio, la topografía, el área, el método de construcción, el costo de los materiales, el trabajo adicional requerido, etc. En general, las condiciones específicas de cada lugar tienden a aumentar o disminuir cada tipo de costo (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental , 2016)

Tipologías

Drenes Filtrantes

Estos drenes de filtración son franjas con una pendiente leve, que se encuentra cubierto por vegetación. Estos sistemas tratan los niveles de escorrentía que ingresan de las zonas prominentes impermeables, reduciendo los niveles de velocidad del flujo y disminuyendo la filtración de SS y otros contaminantes (Vega & Piña, 2015).

Ilustración 2 Dren Filtrante



Fuente: Tomado de (Coriano, Parra, Matute, Barreto, Véliz) 2017

Zanja Verde

Las zanjas o pozos de infiltración son un depósito subterráneo, constituidos por un material drenante y permeable, que permite captar y almacenar el agua producto de la escorrentía hasta lograr su infiltración al terreno natural (Bermudez Valero, 2021).

Las zanjas verdes al tener dimensiones anchas transportan el agua y proporcionan un almacenamiento temporal que permite la infiltración, evaporación y evapotranspiración del recurso hídrico. Estas zanjas trabajan con gradientes o niveles pequeños tanto en las pendientes longitudinales como transversales, para así evitar la erosión y que sea más fácil el proceso de filtración (Castro Fresno, Rodriguez Bayon, Rodriguez Hernandez, & Ballester Muños , 2005)

Ilustración 3 Zanja Verde



Fuente: Regalías Zanja – 2023

Alcorques Inundables

Los alcorques inundables son estructuras que requieren un control continuo y el gestionamiento adecuado de las áreas aledañas, con el fin de controlar los sedimentos que pueden ingresar a la estructura y así prevenir que partículas pequeñas, causen molestia el personal encargado debe estar debidamente instruido para la ejecución de las actividades de mantenimiento. (Univesidad de los Andes, 2016)

A partir de esto la escorrentía por esta tipología de SUDS ingresa por sistemas de rejillas, y un porcentaje de la misma, queda retenida en el suelo, otra se evapotranspira y otra se infiltra, estas son implementadas en los andenes y ocupan un porcentaje pequeño de área en su implementación. Además, son buenos gestores de niveles de agua y no presentan altos costos para su implementación (Borrero Garcia , Gonzalez Giraldo , & Salazar Vega , 2016)

Ilustración 4 Alcorque Inundable



Fuente: Alcaldía de Bogotá - 2021

Zona de bio-retención

Estas zonas de bio-retención, presentan beneficios ya que generan que la escorrentía presente, se infiltre en zonas con desniveles y niveles de permeabilidad elevadas, junto con distintos niveles de capas de arena o gravilla, también presentan vegetación en el nivel superficial, para procesos de calidad del agua. Este tipo de sistemas intercepta la lluvia produciendo que se reduzcan los niveles de volúmenes de agua en la zona (Trapote Jaime & Rodríguez Fernández , 2016)

Ilustración 5 Zona de bio-retención



Fuente: Sud Sostenible – 2014

Techos Verdes

Estos sistemas de techos verdes, cuentan con vegetación delgada en forma de sustrato que es implementada en los techos de las edificaciones con presencia de bajas pendientes. Este sistema regula los niveles de temperatura en las viviendas, además de tratar y mejorar los niveles de agua reduciendo el caudal pico de la escorrentía transformando esos volúmenes de agua en evapotranspiración (Vega & Piña, 2015)

Ilustración 6 Techos Verdes



Fuente: Bio Estructuras - 2020

Estanques de Retención

Los sistemas de estanques de retención se componen de un volumen almacenado disponible en una zona específica la cual se encuentra sin niveles de agua en periodos del transcurso del año, a excepción de temporadas de altas precipitaciones con grades intensidades, como ventaja tiene que su almacenamiento es rápido al igual que su vacío por lo que se puede utilizar para alguna otra actividad (Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile , 1996)

Ilustración 7 Estanques de Retención



Fuente: Sud Sostenible – 2014

Pavimentos Permeables

Estas son superficies con gran porcentaje de permeabilidad. Son altamente resistentes al tráfico y presentan unas capas de sección que resisten el paso de agua, junto a esto, la sub base permite el almacenamiento del agua para que después sea reutilizada o infiltrada en acuíferos naturales (Bermudez Valero, 2021).

Ilustración 8 Pavimentos Permeables



Fuente: breincosmart - 2022

Modelo General Swmm

La modelación en el software Swmm es un modelo dinámico para la simulación de precipitaciones para un evento periódico de lluvia, permitiendo calcular la cantidad de agua evacuada especialmente en alcantarillados, estimando la escorrentía generada por subcuenca, el recorrido a través del sistema de alcantarillado a demás permite analizar la evolución del caudal, su cantidad y el nivel de agua en sus pozos (instagua, 2022)

A demás de esto, el Software presenta un componente hidrológico que modela la precipitación por sub cuencas, convirtiéndola en términos de escorrentía con añadiduras teniendo en cuenta parámetros de contaminantes. El modelo Swmm monitorea las cantidades y la calidad del recurso hídrico, junto con sus caudales en distintos eventos de simulación (Grupo Multidisciplinar de Modelacion de Fluidos , 2005)

Medidas Preventivas y Consideraciones de Mejoramiento

La principal función de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), es disminuir considerablemente la escorrentía superficial, minimizando así las superficies que son permeables para prever altas cantidades de volumen de agua en un punto con el fin de drenar así estos niveles de agua. Así mismo, es recomendado almacenar aguas pluviales y reutilizarlas en el riego y el mantenimiento o lavado de las calles obteniendo así mismo un doble beneficio para el recurso hídrico.

La participación de la población es de suma importancia por la concientización que pueden adquirir para la reutilización de aguas lluvia, evitando de este modo que se presenten fenómenos de inundaciones sobre todo en zonas de alto riesgo (Castro Fresno, Rodriguez Bayón , Rodriguez Hernandez , & Ballester Muñoz , 2005).

Determinación del Área de Estudio

La localización del proyecto se lleva a cabo por medio de aplicación de un sistema de referencia espacial que limita la zona de interés a un área de estudio en particular. Una vez que se ha establecido un marco de referencia, el área limitada se puede dividir en unidades analíticas más pequeñas para una evaluación más completa y detallada. Estas unidades de análisis ya se pueden crear según el alcance del proyecto.

Por ejemplo, para un proyecto de barrio o ciudad que requiera un análisis de toda el área urbana en términos de población; El marco de referencia puede ser el cinturón urbano de la comuna, y las unidades de análisis pueden ser: manzana, distrito, sector, localidad o cualquier tipo de unidad urbana preexistente. Por otra parte, si una investigación que implementa SUDS se desarrolla a una escala local específica (por ejemplo: proyectos residenciales, comerciales y de ocio), la estructura de referencia puede ser el área disponible del proyecto, y las unidades de análisis pueden ser diferentes relaciones de diseño (Zona comercial, zona administrativa, calle peatonal, zona de ocio) (Univesidad de los Andes, 2016).

Dicho alcance y unidad de análisis permitirán el proceso de evaluación del área del proyecto cuando tenga un alcance sustancial, así como también identificar rápidamente qué áreas son potenciales y están disponibles para la intervención de SUDS. Sin embargo, es posible que el proyecto no tenga información de referencia previamente definida dentro del área del proyecto, en cuyo caso el área definida por la estructura de referencia debe dividirse en una serie de unidades analíticas para optimizar la descripción detallada del sitio, teniendo en cuenta el tamaño y el alcance del proyecto. Si un área se divide en un número muy grande de unidades, evaluarlas puede ser un desperdicio e ineficiente y, por otro lado, si esta división se hace en números muy pequeños, la evaluación implementada puede ser genérica y poco práctica. Por esta razón, la selección del número correcto de Unidades Analíticas debe considerarse cuidadosamente, teniendo en cuenta el tamaño y la importancia del proyecto (Univesidad de los Andes, 2016).

Consideración de las ciudades según la Real Academia Española - RAE

De acuerdo con la Real academia española - RAE, una ciudad es un conjunto de edificios y calles regidas por un consejo de una población numerosa y densa la cual generalmente realiza actividades no agrícolas y que busca el establecimiento de un desarrollo sostenible. De este modo, el campo ecológico surge de procesos tales como físicos (Clima, relieve, aire, agua, suelo y vegetación) y que está involucrado en procesos tanto económicos, políticos y sociales. La sociedad cree que la industria de la construcción es responsable de más del 50% consumo de energía a nivel global, por lo que debe ser visto como un agente estratégico en el cambio o transformación para el desarrollo futuro del planeta.

A lo largo del tiempo, el urbanismo se ha entendido como una herramienta técnica y jurídica regulación del uso del suelo en áreas urbanas. Este campo de estudio combina geografía, arquitectura y urbanismo de manera interdisciplinaria. Debido al rápido crecimiento de las ciudades latinoamericanas, el urbanismo ha presentado problemas de hacinamiento, falta de infraestructura y vivienda. En la mayoría de las

ciudades de la región, sumado al retraso en la aplicación de nuevas medidas de urbanización, se han presentado conflictos sociales debido a la usurpación territorial, apropiación, diferencias sociales y cuestiones económicas, ecológicas y médicas (Molina Escobar).

En Colombia y especialmente en Bogotá, la planificación urbana ha tomado protagonismo. En la década de 1920, Karl Brunner comenzó a contribuir en el diseño urbano para la ciudad de Bogotá de una manera que se aleja de su urbanismo. A lo largo de los años y en la década de 1950, los arquitectos y urbanistas como Jorge Gaitán Cortés se sumaron a la visita y aportaron Wiener, Sert y Le. Corbusier, introdujeron el urbanismo moderno en la capital del país. A partir de entonces desarrollar varios consejos y alianzas que serán comunes en el norte urbanismo basado en la planificación y desarrollo de los territorios existentes para fortalecer la estructura de la ciudad, independientemente y a pesar de los diversos cambios socioeconómicos que representan los países y ciudades, el concepto de planificación por el cual se han logrado principales eventos de la ciudad (Gamboa Medrano, 2014).

Control de Volúmenes de Agua

Al regular la calidad del agua en la entrada, el tamaño de la corriente de descarga se convierte en un parámetro importante. Un aumento en la escorrentía de las áreas urbanizadas significa un aumento en la cantidad de contaminante transportado, al igual que un incremento en los picos de flujo máximo significa mayor energía, lo que resulta en más energía que en los receptores y un mayor potencial de erosión. Junto con un aumento de la superficie impermeable en las cuencas, se producen cambios en el régimen hidrológico natural de la zona, aumentando la cantidad de agua superficial transportada. Algunos tipos de SUDS ayudan a reducir el volumen a través de la infiltración y la transpiración, lo cual es una parte importante de la protección de los embalses mismos e incluso de la reducción de la contaminación del agua receptora. Las reducciones de volumen que se muestran en estas estimaciones se refieren a la porción de agua gestionada por este tipo y no vertida a las aguas receptoras (infiltración, evaporación, transpiración o reutilización). Por otro lado, la filtración y la absorción son parte del mecanismo de eliminación de contaminantes. En este sentido, se entiende por filtración un proceso definido por el paso de partículas a través de un medio poroso. Por otro lado, la absorción se refiere a procesos únicos separados de absorción y adsorción. Finalmente, la reducción de la descarga máxima se refiere a las características de los sistemas que reducen la descarga hidrológica máxima a través de procesos de contención y contención (Univesidad de los Andes, 2016).

Mejoramiento de Calidad de Agua

Durante las tormentas, se transporta una gran cantidad de contaminantes, especialmente en áreas con concentraciones relativamente altas debido a la gran cantidad de fuentes de contaminación, y se transportan con el sistema de aguas residuales hasta el punto de descarga en el alcantarillado, tanque. Este impacto en el agua receptora puede minimizarse mediante la implementación de sistemas de drenaje urbano sostenibles. El diseño, la construcción y el mantenimiento adecuados de estas instalaciones pueden eliminar eficazmente grandes cantidades de contaminantes de las aguas residuales municipales; La remoción de estos contaminantes ocurre a través de mecanismos tales como deposición, filtración, permeación, adsorción, descomposición, biotransformación y degradación.

Los sedimentos, los nutrientes, los metales y los patógenos son algunos de los contaminantes más comunes que se encuentran en las alcantarillas. En términos de calidad o eficiencia de eliminación de contaminantes, los diferentes tipos exhiben diferentes comportamientos dependiendo de sus componentes y configuración clasifica el desempeño como un porcentaje de eliminación de contaminantes, con calificaciones de calidad "Alta", "Media" y "Baja" para cada una. La evaluación de cada categoría se realizó de acuerdo con el informe de la Comisión de Agua y Drenaje de Boston "Best Rainwater Management: A Guide" (1999). Esta clasificación difiere de la versión presentada en el informe anterior debido a la información recopilada recientemente. (Univesidad de los Andes, 2016)

El editor de control LID se utiliza para establecer las propiedades el diseño capa por capa constituye los métodos de drenaje. estabilidad (como espesor, volumen vacío, conductividad hidráulica, características de drenaje del fondo, etc.). diseño de controles producido por unidad de área para que pueda ser colocado cualquier número de subpartículas de diferente tamaño o número de repeticiones. (Jimenez & Joya , 2015)

- Nombre de control. Un nombre utilizado para identificar el control de LID en particular
- Tipo de capa. El tipo genérico de LID que se está definiendo (jardín de lluvia, celda de bioretención, zanjas de infiltración, cubiertas verde, depósitos de lluvia, pavimentos permeables).

- Capas de Proceso. Corresponde a la ventana que contiene una serie de pestañas en donde se presentan diferentes campos para ingresar la información requerida en las diferentes capas verticales y la estera.
- Altura de las bermas. Para el caso en que haya bermas, estas hacen referencia a la profundidad máxima a la que el agua puede estancarse por encima de la superficie antes de que se produzca un desbordamiento (Jimenez & Joya , 2015).

Actividades Futuras

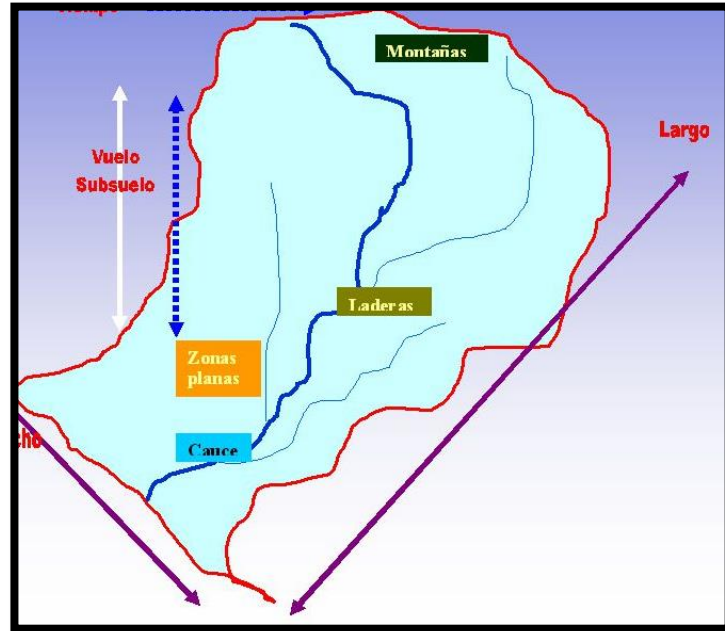
Es importante realizar la gestión de la cuenca por medio de la identificación de las zonas que necesitan ser evaluadas más de cerca durante el procesamiento (diseño y construcción) de instalaciones de drenaje, ya que estas zonas son más resistentes a los sedimentos durante eventos extremos de lluvia. Además, dicha evaluación de cuencas ayuda a establecer y predecir cambios en las áreas permeables e impermeables y en los posibles flujos de escorrentía (Univesidad de los Andes, 2016).

Aspectos técnicos del sitio de Interés

Dimensión de la Cuenca

Para la selección de la tipología es de gran relevancia determinar el tamaño de la cuenca para poder dimensionar la capacidad mínima que debe tener tanto la estructura como el drenaje de la misma. Existe una escala en la cual la variable permite limitar el área máxima de drenaje en la zona de estudio y de manera adecuada garantizar el almacenamiento adecuado de agua que ingrese por la estructura (Univesidad de los Andes, 2016).

Ilustración 9 Dimensiones de una Cuenca

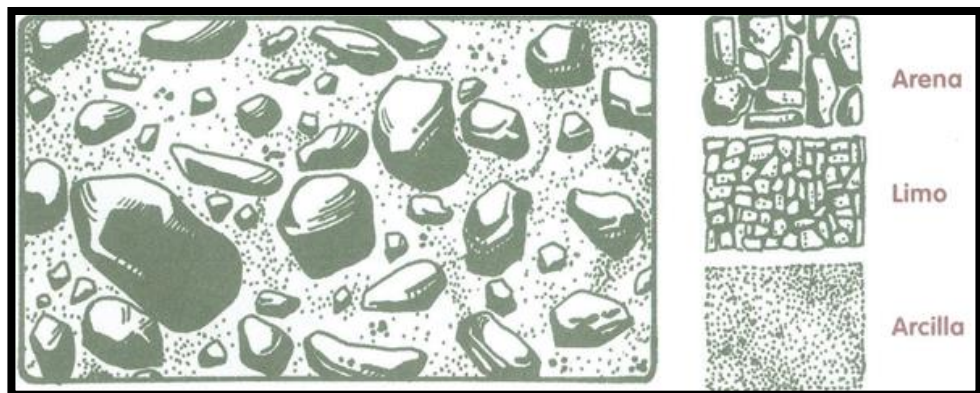


Fuente: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza 2020

Tipo de Suelo

Los suelos que presentan una alta permeabilidad tienen el potencial de implementar tipologías que permitan el movimiento del agua dentro del suelo por medio de la infiltración. Sin embargo, si el suelo cuenta con bajas condiciones de permeabilidad es posible incluir sistemas complementarios (Univesidad de los Andes, 2016).

Ilustración 10 Tipo de Suelo



Fuente: Fao.org 2018

Aguas Subterráneas

Debido a la profundidad del nivel freático en el área de construcción, es necesario evaluar los casos de niveles de agua subterránea poco profundos, ya que esta característica plantea serios problemas en el diseño y construcción de estructuras teniendo en cuenta el método de construcción permeable y debe completamente drenar el agua que se acumula entre las lluvias. El nivel freático está muy cerca de la superficie limitando la infiltración de aguas residuales y/o evitando la acumulación de masa de diseño. No obstante, en el caso de algunos tipos de retención de agua, la proximidad del nivel freático a la superficie del suelo puede asegurar la saturación efectiva de la rizosfera de las plantas acuáticas que ocurren en esta categoría (por ejemplo: estanques húmedos), además de ayudar a recargar los acuíferos y mantener los flujos de referencia.

La protección de la calidad del agua subterránea es uno de los principales temas a considerar para aquellos tipos con potencial de retraso y/o retraso en el acceso a los cuerpos de agua. En este sentido, si un área se ve afectada por la contaminación del suelo en diversos grados debido a su proximidad a un sitio de disposición de residuos peligrosos (por ejemplo: estaciones de servicio), materiales utilizados o residuos generados que pueden contaminar las aguas subterráneas (por ejemplo: obras de construcción y minas), deben evitarse los tipos que permiten la filtración para prevenir cualquier evento imprevisto en estas inmediaciones. Por otro lado, si el agua subterránea o el suelo del área ya están contaminados y no se pueden eliminar, entonces es necesario elegir tipos que sean impermeables al agua o, en algunos casos, cubiertos con una gruesa capa de impermeabilización (por ejemplo: geomembranas) para evitar que el agua entre en áreas contaminadas (Univesidad de los Andes, 2016).

Ilustración 11 Aguas Subterráneas

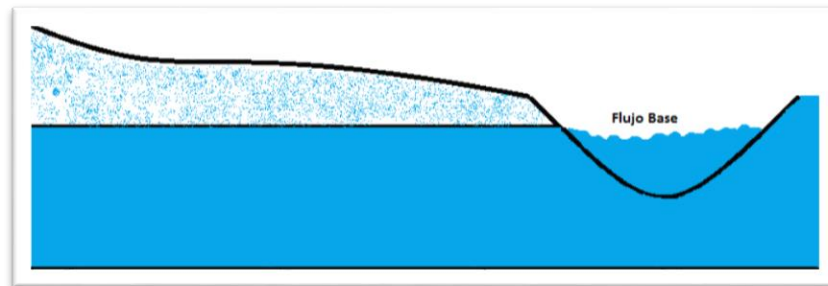


Fuente: Iagua 2023

Flujo Base

La presencia de escorrentía primaria en el sitio de intervención es necesaria para el buen funcionamiento de los tipos destinados a la retención de aguas residuales, tales como: humedales artificiales, lagunas húmedas y canales húmedos. En ausencia de escorrentía de referencia en estas estructuras, existe la posibilidad de que se sequen, lo que afectará directamente la vegetación acuática que se pueda formar durante la temporada de lluvias, afectando la eficiencia de remoción de escombros. Los contaminantes de las aguas residuales ingresan a las instalaciones durante el siguiente aguacero y, por lo tanto, su eficacia para mejorar la calidad del agua disminuye (Univesidad de los Andes, 2016).

Ilustración 12 Flujo Base



Fuente: Tomado de Carlos Caro 2016

Sistemas de Infiltración

Los sistemas de infiltración son una serie de elementos que constituyen el cuerpo que tiene como trabajo la infiltración de la escorrentía superficial para que accione ante eventos de precipitación. Estas áreas con presencia de un embalse superficial generan que se almacene el recurso hídrico hasta que llegue a su punto de infiltración, siendo esta una zona delimitada por una superficie con vegetación que recoge tanto el agua proveniente de las precipitaciones como la escorrentía que se genera en su entorno (Bermudez Valero, 2021).

Ilustración 13 Sistemas de Infiltración



Fuente: SudSostenible 2014

Análisis de Involucrados

La implementación del análisis de involucrados es la manera de analizar o identificar los focos (actores clave) del proyecto en curso, los cuales aportan a la investigación por medio de sus opiniones en cuanto a sus necesidades, expectativas e intereses (Betancourt, 2017).

Catastro

Catastral se define como una lista de bienes inmuebles, asociado a un área en particular. El inventario designado contiene información de extensión, ubicación y límites junto con planos respectivamente, a los que se añade una valoración económica de cada uno para recaudar impuestos sobre la propiedad recaudados por los gobiernos locales. Además, cada objeto catastral debe tener un certificado. El supuesto propietario es responsable del pago de impuestos. La función o gestión catastral consta de tres procesos: creación, actualización y mantenimiento catastral (Decreto 720 de 2011). El entrenamiento incluye levantar y fijar información de la propiedad a nivel físico (mapa), legal, fiscal y económico del registrante del mapa (municipio). Este proceso finaliza con la emisión de una resolución que ordena el registro de nuevas entidades. inmuebles en catastral, es decir, en expedientes inmobiliarios, gráficos de apoyo y formatos estadísticos (León & Davila , 2020).

En 1983, la Ley 14 y el Decreto 3496 del mismo año establecieron las bases legales y técnicas para el cálculo del valor de los inmuebles a efectos fiscales, que incluye el 'método de valoración catastral' volumen", así como introducir mejoras en los registros catastrales; Además, se estableció un periodo de cinco años de formación y perfeccionamiento catastral. Impuestos sobre la propiedad y gravámenes centralizados en un proceso contra el Impuesto a la Propiedad Ley 44 de 1990 único y eliminar el recargo de levantamiento catastral mediante reembolso mecanismo único de recaudación para financiar obras directamente catastrales, En cuanto a la relación entre los libros catastrales y de registro, con la publicación de las normas sobre escrituración y libros de registro (Decreto 1250 de 1970), se decidió vincular el libro de propiedad con el registro catastral mediante la presentación de la información elaborada por los registros y oficinas catastrales a un tercer organismo: el Servicio Nacional de Registros. El servicio especificado ha dejado de realizar esta función con el Decreto 1711 de 1984, que establece que el catastro y el registro está

obligado a intercambiar información sobre la propiedad. A partir de esto, la información obtenida en peticiones de planos de alcantarillado del Barrio las Quintas, genero un déficit en actualización de datos al momento de comparar con información tomada en campo, la difícil obtención de información que de ante mano, los proyectos de implementación de SUDS surgían en distintos países, para nivel Colombia, y en secciones regionales es muy complicado obtener datos de la actualización de las condiciones de las zonas para la posible puesta en marcha de sistemas como los SUDS (León & Davila , 2020).

Marco Normativo

Según el Artículo N° 4 de la Ley 1523 de 2012, la meta a cumplir propende de la implementación de procesos de gestión del riesgo de desastre, en donde se tiene en cuenta:

- Conocimiento del Riesgo: Hace referencia a la identificación del riesgo bajo distintos escenarios, además de su evaluación, monitoreo y seguimiento teniendo en cuenta diferentes componentes con el objetivo de promover los procesos de reducción del riesgo y el manejo de los desastres.
- Reducción del Riesgo: Hace referencia a la modificación o disminución de las condiciones de los riesgos existentes, así como la mitigación del mismo y la prevención de uno nuevo en el territorio (Caro Camargo & Gil Alvarado , 2019).

Estos Sistemas de Drenaje Urbanos Sostenibles y su diseño son principalmente utilizados en Australia, en donde los sistemas de planificación y de diseño en las ciudades buscan reducir los impactos de la urbanización sobre el ciclo natural del agua, planteando así unos objetivos:

- Manejar adecuadamente el balance de agua sobre la urbanización
- Preservar y si es posible, mejorar la calidad de las aguas
- Enfocarse en la conservación del agua, disminuyendo así el consumo de agua potable y aumentando la utilización de las aguas grises
- Preservar las actividades recreacionales y los servicios ecosistémicos que van ligados al recurso (Patagua, 2021)

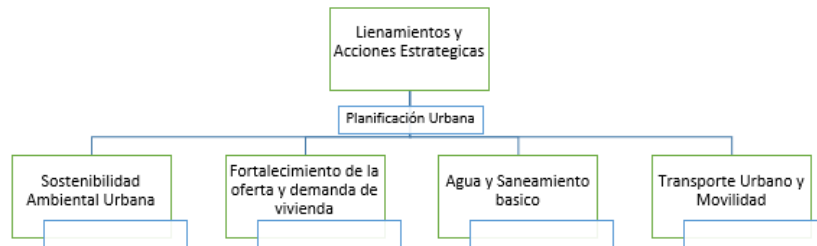
La construcción de urbanizaciones, edificaciones trae consigo el criterio de cumplimiento de preservación de las áreas de reserva, y así mismo el manejo de o

la gestión adecuada del sistema hídrico, en donde se aprovecha la topografía del terreno, líneas en forma de canales y conductores naturales de escorrentía (Gamboa Medrano, 2014)

Por otra parte, en la identificación del terreno y los sistemas de conducción del Barrio las Quintas, se identifican problemas en los conductores naturales de escorrentía y a partir de esto se generan manchas de inundación en tramos identificados.

A partir de los criterios de análisis de urbanismo sostenible se tienen en cuenta características esenciales de sistemas LEED e indicadores CAT MED, por lo que para el parámetro de escorrentía la localización LEED trae consigo según el código GIB8 de manejo de escorrentías que menciona que el proyecto a realizar debe para poder localizarse en áreas mínimas y una producción urbanística contar con un 80 y 90 de percentil de infiltración.

Ilustración 14 Lineamientos de Planificación Urbana



Fuente: Departamento Nacional de Planeación 2020

De igual forma, las plataformas gubernamentales como la Plataforma intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES) o las Metas AICHI, se han centrado en reconocer a las ciudades como entornos donde se relacionan los diferentes aspectos que involucran un desarrollo social, económico y ambiental. Esta visión integradora permite facilitar el alcance de los objetivos de equidad, resiliencia y sostenibilidad (Bermudez Valero, 2021).

Norma Técnica de Servicio NS-166 de 2018 EAAB

Esta norma expone los diferentes criterios que se tienen en cuenta para el diseño y construcción de los SUDS (Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible). De igual

manera, especifica los materiales, los diferentes mantenimientos de acuerdo a las tipologías y las estructuras anexas. (Cano Salazar, 2021)

Artículo 1-Resolución 6523 de 2011 por la secretaria Distrital de Ambiente-

Estipula los lineamientos técnicos para los SUDS en el plan de ordenamiento zonal norte (POZN). De esta manera, contribuye a reducir los impactos generados como consecuencia del desarrollo urbano por medio de la disminución del riesgo de inundaciones producto de los caudales punta de escorrentía y la reducción de aguas contaminadas en las fuentes receptoras (Cano Salazar, 2021).

Artículo 56- Decreto 88 de 2017 por la Alcaldía Mayor de Bogotá

Este artículo expone el sistema urbano de drenaje sostenible debe garantizar la retención del 30% de las aguas lluvias (Cómo porcentaje mínimo) dentro de los predios sujetos a Planes Parciales y a licencias de urbanización, en un periodo de retorno de 25 años. De este porcentaje de retención obligatoria, el 10% deberá hacerse al interior de las áreas útiles, un 10% para las cesiones de parques, vías y zonas verdes. El 10% restante, deberá presentarse en cualquier área neta urbanizable del proyecto urbanístico (Cano Salazar, 2021)

Acuerdo Distrital 418 de 2009 por la Alcaldía Mayor de Bogotá

Por medio del Acuerdo Distrital 418 de 2009, la Administración Distrital fomentará el urbanismo sostenible por medio del conocimiento, comunicación y aplicación de manera progresiva de terrazas verdes y otro tipo de tecnologías en proyectos inmobiliarios públicos y privados, que sean nuevos o existentes en la ciudad, como estrategia para la mitigación de problemáticas como el cambio climático (Cano Salazar, 2021).

Resolución 5926 de 2011 por la secretaria Distrital de ambiente

Esta resolución crea y regula el Programa de Reconocimiento Ambiental a Edificaciones Ecoeficientes – PRECO- para promover proyectos constructivos con infraestructura eco eficiente que sea sostenible y promueva la aplicación de nuevas tecnologías (Ambiente, 2017).

5. Metodología

Para la fase metodológica se implementaron distintas fases que son importantes al momento de desarrollar los objetivos:

Fase 1. Para la fase 1, la recopilación de información, referente a que son los Sistemas Urbanos de Drenaje sostenible, para definir puntualmente que beneficios podrían traer a la problemática en cuestión, a partir de la revisión de fuentes bibliográficas en diferentes revistas, documentos, o paginas digitales (Perez Hurtado, 2020); Seguido a esto la Fase 2. Que comprende la identificación de la zona y búsqueda de información estrictamente de la misma, como datos históricos de eventos de lluvia que trajeron consigo inundaciones, así misma información catastral, planos y registros de niveles de riesgo, para continuar, la Fase 3. Se compone de la identificación de herramientas como softwares que se puedan utilizar para la modelación de datos que inicialmente serán obtenidos de los datos abiertos del IDEAM y la estación meteorológica de la zona (U P T C), la implementación de Swmm, AutoCAD, y aplicaciones para procesamiento y organización de datos en cuadros de Excel, esto para cumplir con los objetivos iniciales de condiciones hidro climáticas y después la parte de participación urbana, y significados compartidos llegando a la Fase 4. De implementación de entrevistas de método cualitativo aplicada a focos poblaciones a conveniencia.

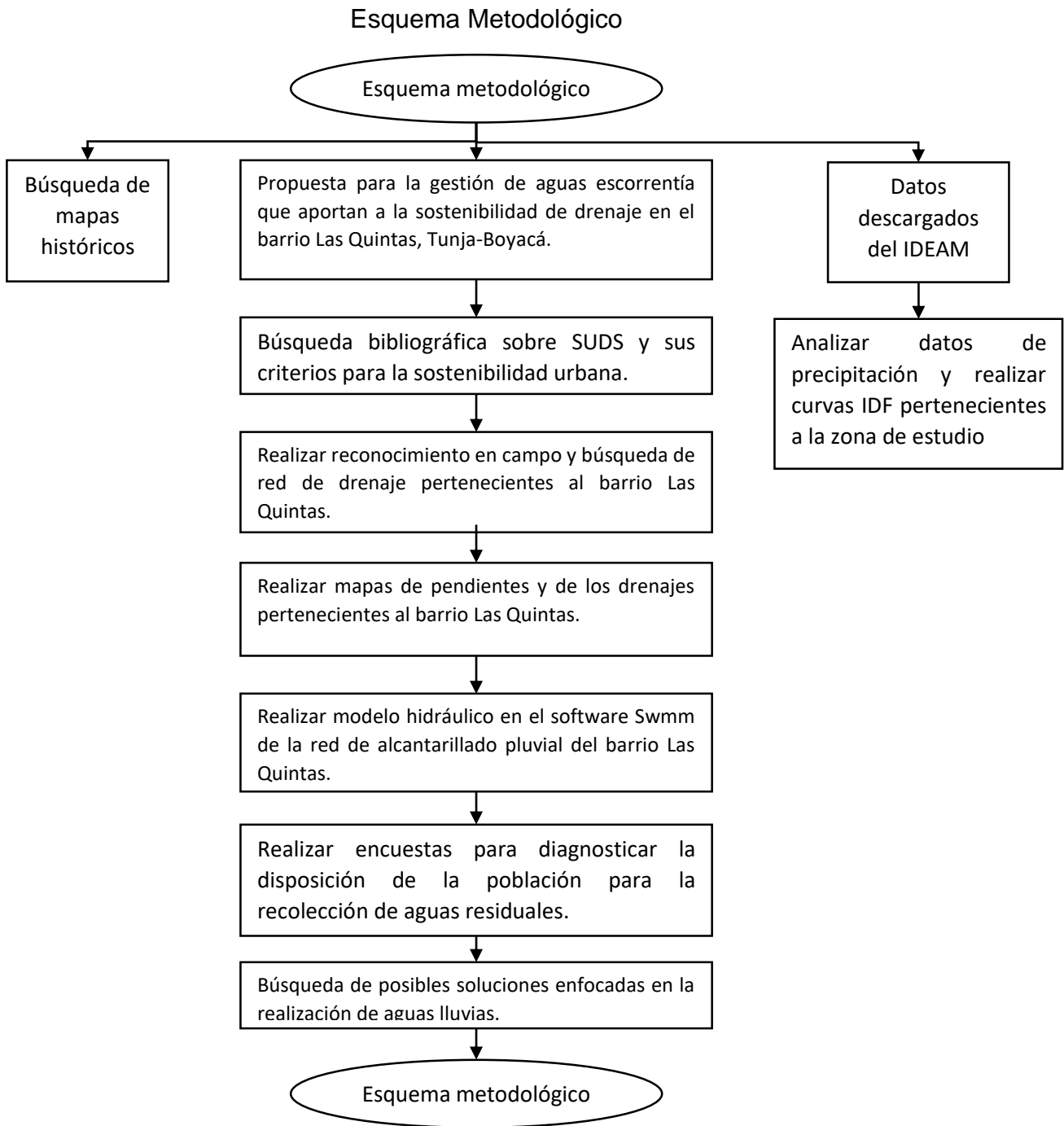


Tabla 2 Matriz metodológica de objetivos

| Objetivos específicos | Actividades Metodológicas | Variables de Trabajo | Técnicas de tratamiento de la información | Resultados esperados |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 1 diagnosticar las condiciones hidro climáticas del territorio entorno a las aguas de escorrentía | revisión bibliográfica de datos históricos de precipitación en Tunja | Desarrollo teórico sobre datos obtenidos a través de la estación del IDEAM | Revisión documental | Comprensión de criterios de sostenibilidad y desarrollo sostenible |
| | Búsqueda bibliográfica y lectura crítica del concepto de escorrentía | Desarrollo teórico sobre la escorrentía | Revisión documental | comprensión de conceptos |
| | Análisis de las condiciones climáticas de la zona | Desarrollo teórico sobre modelos matemáticos basados en modelos de lluvia escorrentía | Implementación del método lluvia escorrentía | apropiación del conocimiento modelo digital del método lluvia escorrentía |

| | | | | |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------|
| Establecer los criterios de planeación urbana | Búsqueda Bibliográfica y lectura crítica de referentes teóricos | Desarrollo teórico de factores determinantes de planificación urbana | Revisión documental | Definición de factores determinantes y conceptos |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------|

Fuente: Autor 2023

Metodología aplicada para la modelación de curvas IDF o Lluvia de diseño

Para iniciar con la recolección de información, se llevó a cabo el análisis detallado de los datos históricos diarios, reportados y medidos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), de los cuales se recolecto datos de precipitación, de la estación perteneciente a la zona de estudio. A partir de esto se digitalizaron 20 años de descarga analizando periodos de retorno de 2,5,10,25, 50 y 100 años y junto a ello los hietogramas de diseño que abordan la intensidad máxima en 23 horas.

Metodología aplicada para realizar el modelo en programa SWMM5vE

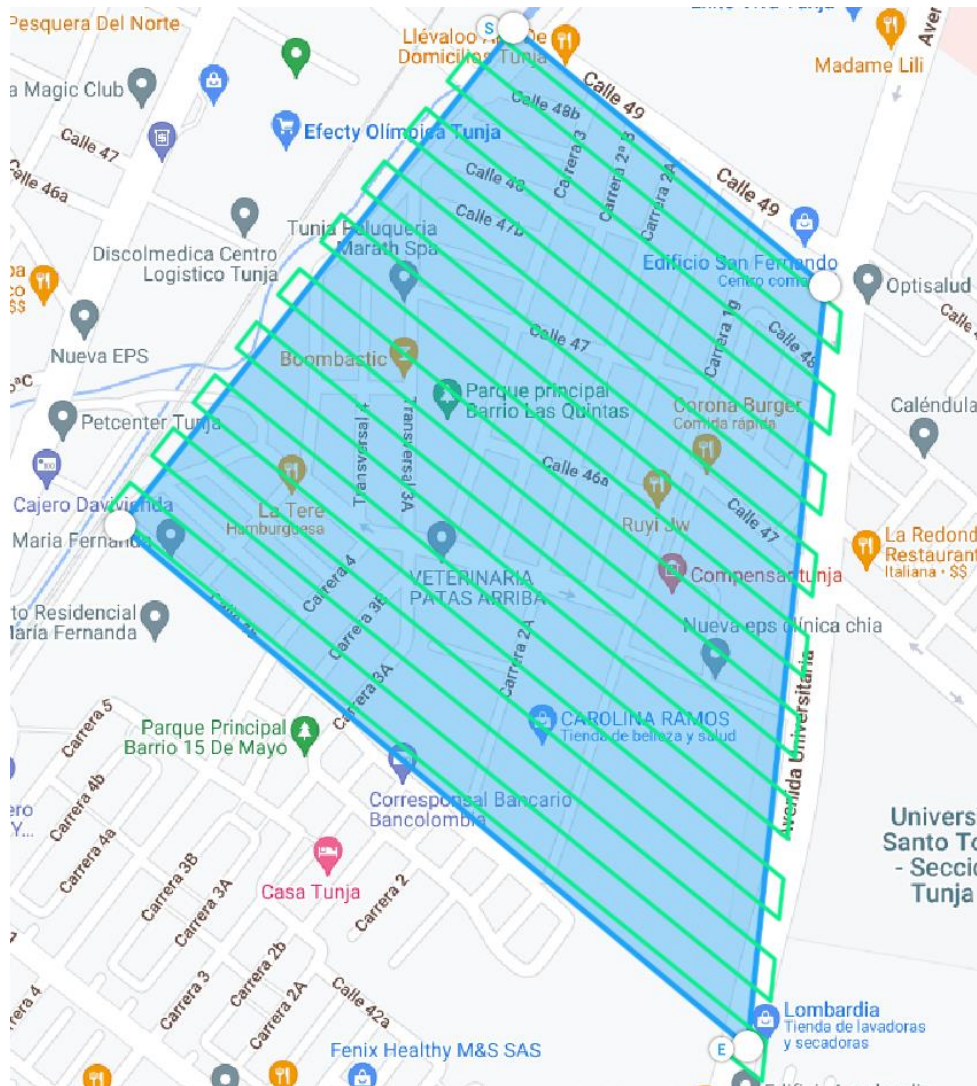
Se recolectaron los datos necesarios para la modelación por varias fuentes, en primer lugar, se solicitaron los planos a Veolia, la cual es la empresa encargada de administrar el sistema de alcantarillado y acueducto en Tunja, de esta forma se conoció la distribución y funcionamiento del alcantarillado del Barrio Las Quintas.

También se aprovecharon algunas metodologías anteriormente descritas con el fin de suministrarle al programa la información necesaria la cual es: Precipitaciones, áreas, forma del alcantarillado, direcciones del alcantarillado, pendientes del alcantarillado, tipo de suelo de la zona, diámetros de tubería y curvas de nivel del suelo. Con base en lo anterior se obtienen caudales, imágenes de funcionamiento de la zona teniendo en cuenta los calificadores digitales implícitos en el programa, cantidades de agua que pasan hora a hora por cada uno de los pozos de inspección y tubos.

Metodología aplicada en campo para la obtención de ortofotos

Se realiza imágenes satelitales a través de la implementación del uso de un dron el cual capturaba imágenes de determinadas áreas haciendo un recorrido planeado en la herramienta DJI Terra, la cual se encarga de diseñar el vuelo de forma ordenada y teniendo en cuenta las zonas permitidas en Tunja para realizar este tipo de levantamientos topográficos, teniendo en cuenta lo anterior se define una elevación a la cual se establece el sistema y procesa a tomar las respectivas fotos, como se muestra a continuación.

Ilustración 15 Plan de vuelo del dron



Fuente: Autor 2023

El vuelo diseñado para el Barrio las Quintas cuenta con una duración de 48 minutos en la totalidad de su recorrido a partir de esta metodología se obtuvo la topografía del terreno, permitiendo observar el estado del alcantarillado y además confrontar con la información del catastro de Veolia.

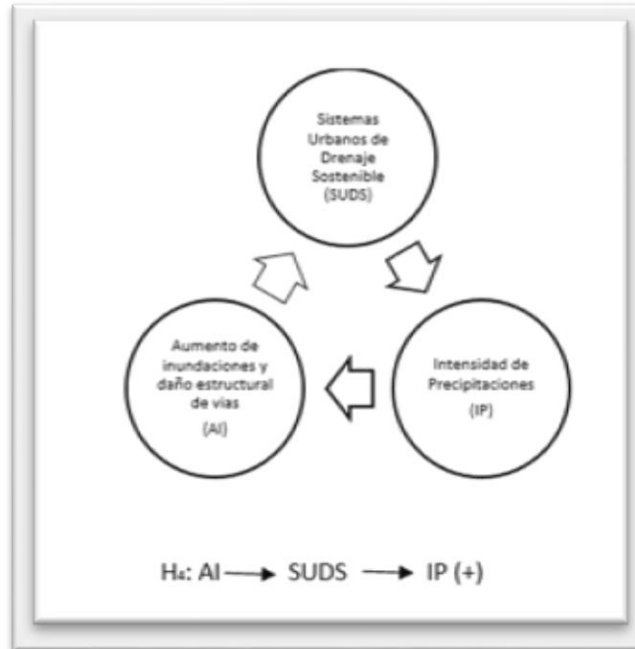
Metodología aplicada para el análisis de encuestas

A fin de establecer una base fundamental de información respecto a las incidencias de inundación en el Barrio Las Quintas, Tunja-Boyacá, se parte del efecto mediador de conceptos como: Escorrentía, Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible e Inundación. A partir de esto se realiza como primer paso hacer una revisión documental entorno a los conceptos básicos para el diseño de un instrumento e tipo cuantitativo para identificar el nivel de satisfacción de las personas de la zona del Barrio Las Quintas, dadas las variables de estudio; información que seguida a la primera fase se analiza estadísticamente mediante un modelo de ecuaciones estructurales basado en la varianza (PLS-SEM), que trae como objetivo examinar el efecto mediador de la sostenibilidad y los significados compartidos para la zona de estudio.

Estructuración del modelo estadístico

A partir del enfoque en Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, como alternativa de mejoramiento que proporciona a la población la generación de su bienestar, se diseñó una encuesta dirigida a dicha comunidad del Barrio Las Quintas, Tunja-Boyacá, a partir de conceptos claves para la integración de los agentes afectados. Lo cual permitió, establecer el método cuantitativo de encuestas bajo la valoración de escala Likert y su análisis estadístico.

Ilustración 16 Modelo estadístico



Fuente: Autor 2023

Metodología aplicada para el análisis de entrevistas

Se establece partir de la lectura crítica de los principales referentes teóricos sobre sistemas de drenaje, sostenibilidad, a fin de lograr de manera inicial una comprensión y apropiación de las variables de estudio, por medio de la aplicación de entrevistas semiestructuradas se busca establecer los conocimientos generales de las personas sobre manejo y aprovechamiento del agua lluvia, en donde se inicia con la identificación de actores clave del territorio siendo los habitantes de la zona quienes a manera de entrevista participan en la recopilación de información evaluando: Escorrentía, Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible y la Inundación, a fin de establecer conceptos y su relación con el área de estudio, toda la realización se obtiene de la colaboración del conjunto que compone la junta de acción comunal y su representante, que por medio digital se otorgó información y se recibieron respuestas de lo que sabían ellos respecto a los temas mencionados anteriormente.

Metodología para escoger grupos focales

Familias, profesionales y estudiantes de los programas de ingeniería civil, arquitectura, ingenieros de minas y de ingeniería ambiental

De los cuales se tomaron a conveniencia (2 personas por grupo), por definición de conocimientos en sus campos, juntos con la actividad de la vida cotidiana, se direcciono las encuestas a una empresa constituida por cada uno de estos profesionales obteniendo respuestas con características similares en algunos casos, y en otras no por la innovación y desconocimiento de los sistemas urbanos de drenaje sostenible

A partir de esto se plantea un análisis de involucrados:

- El primer paso es definir los involucrados, observando focos que puedan suministrar información detallada de la investigación, sus opiniones, intereses, problemas, mandatos y recursos
- Al definir los involucrados, obtener al menos un tamaño de muestra alrededor de cada grupo focal determinado para sintetizar el total de entrevistas
- Como parte final, la información obtenida será esquematizada

Tabla 3 Caracterización de Involucrados

| Grupos | Intereses | Problemas | Mandatos y recursos |
|--------|-----------|-----------|---------------------|
|--------|-----------|-----------|---------------------|

Fuente: Autor: 2023

- Tamaño de Muestra:

Tabla 4 Grupos Involucrados

| |
|---------------|
| Familia |
| Entidad |
| Profesionales |
| Estudiantes |

Fuente: Autor 2023

Familia

Se seleccionan personas de un grupo familiar ya que residen en la zona de estudio, y han presenciado eventos de inundación

Entidad

Las entidades cuentan con la opinión más a fondo debido a que son aquellas que se encargan de los ámbitos sociales, culturales, económicos, ambientales

Profesionales

Los profesionales tienen un punto de vista innovador en cuanto a lo que acontece en la actualidad, y pueden generar nuevas ideas u opiniones respecto a los proyectos

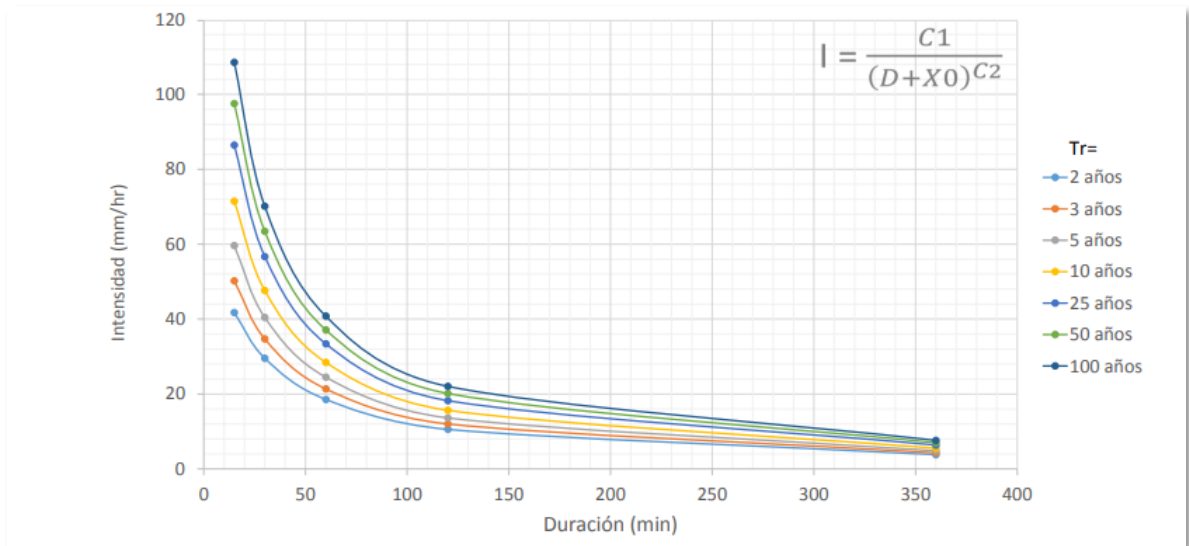
Estudiantes

Los estudiantes que están siendo formados para ser profesionales, cuentan con conocimiento propio de sectores donde residen, de información retenida en sus campos de estudio profesional y como personas civiles.

6. Resultados**Resultados del análisis de precipitaciones**

La información obtenida de los datos abiertos del IDEAM, los análisis de las curvas IDF, brindaron la información necesaria para calcular los caudales de diferentes periodos de retorno: 2 años, 3 años, 5 años, 10 años, 25 años, 50 años y 100 años.

Ilustración 17 Lluvia de diseño o curva IDF



Fuente: IDEAM 2023

Tabla 5 Datos Técnicos

| TR (años) | C1 | X0 | C2 |
|-----------|----------|--------|--------|
| 2 | 1788.790 | 22.800 | 1.0034 |
| 3 | 1918.463 | 19.685 | 1.027 |
| 5 | 2117.390 | 17.561 | 1.025 |
| 10 | 2406.590 | 15.888 | 1.025 |
| 25 | 2803.777 | 14.574 | 1.027 |
| 50 | 3111.325 | 13.912 | 1.029 |
| 100 | 3423.420 | 13.415 | 1.031 |

Fuente: IDEAM 2023

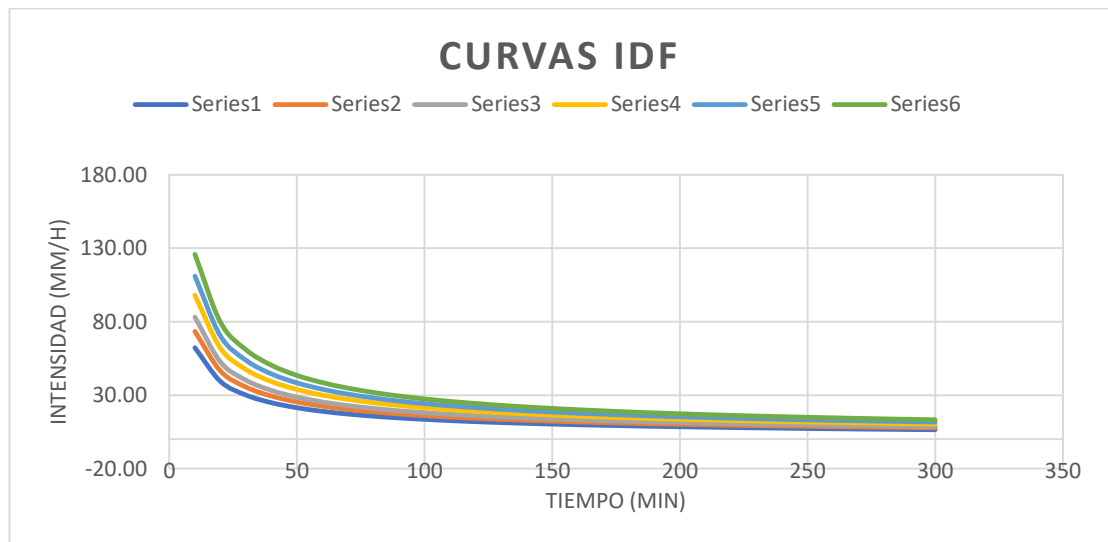
Tabla 6 Duración (min)

| D (min) | I Tr2 | I Tr3 | I Tr5 | I Tr10 | I Tr25 | I Tr50 | I Tr100 |
|---------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|
| 15 | 41.7 | 50.2 | 59.6 | 71.5 | 86.5 | 97.6 | 108.6 |
| 30 | 29.7 | 34.8 | 40.5 | 47.6 | 56.6 | 63.3 | 70.0 |
| 60 | 18.4 | 21.3 | 24.5 | 28.5 | 33.6 | 37.4 | 41.1 |
| 120 | 10.5 | 12.0 | 13.6 | 15.6 | 18.1 | 20.0 | 21.8 |
| 360 | 3.9 | 4.4 | 4.9 | 5.6 | 6.4 | 7.0 | 7.6 |

Fuente: IDEAM 2023

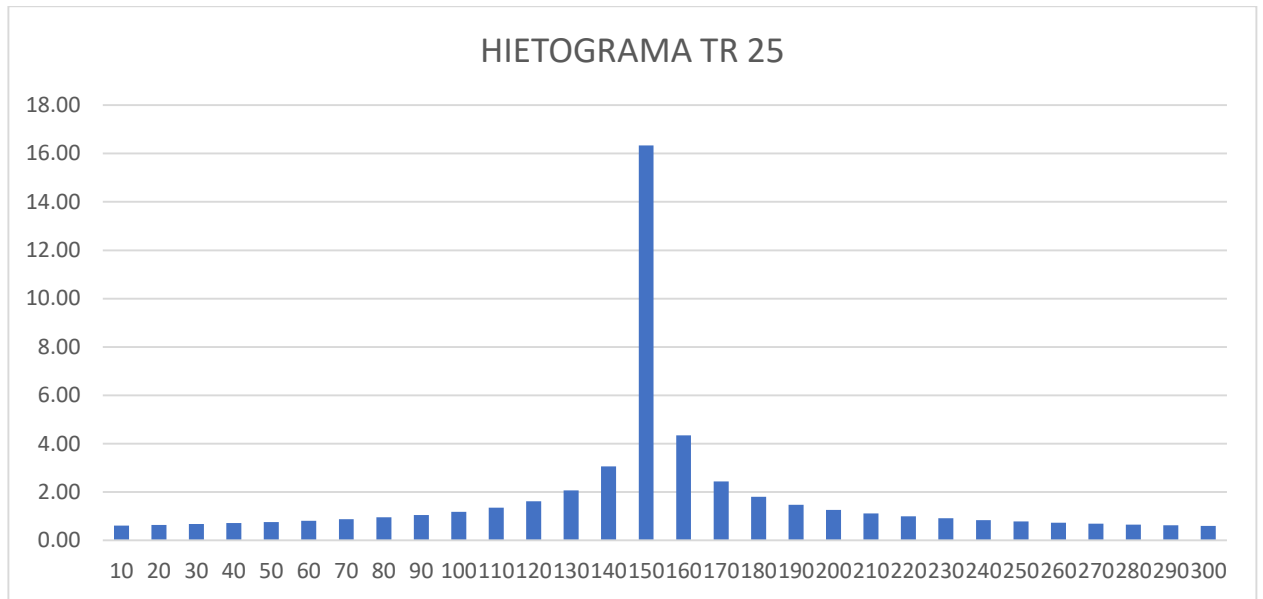
Como parte del trabajo desarrollado en el estudio, se construyeron las curvas IDF , a partir de la metodología de Mario Diaz granados; y la comparación con los datos obtenidos y simulados, a escalas similares, el comportamiento de las curvas obtenidas en el presente trabajo tuvieron el mismo comportamiento que las presentadas por Mario Diaz, dándonos una idea de que con herramientas simplificadas como el uso del método estadístico para el análisis de las precipitaciones con el modelo matemático en este caso la distribución probabilística de Gumbel y la formulación teórica se puede llegar a modelar datos y compararlos con la realidad para poder llegar a una toma de decisiones, teniendo en cuenta que en la hidrología aplicada por ven te chow (Ven Te Chow , 1994), menciona en el capítulo de análisis de frecuencia que los grados a escala magnitud de eventos de alto nivel son paralelos al nivel de ocurrencia, y todo la resolución de esos datos permite adquirir una idea de toma de decisiones para la ingeniera en este caso, de construcción de estructuras como presas, puentes y en este proyecto como estructuras de control de crecientes (sistemas urbanos de drenaje sostenible).

Ilustración 18 Curvas IDF



Fuente: Autor 2023

Ilustración 19 Hietograma de diseño



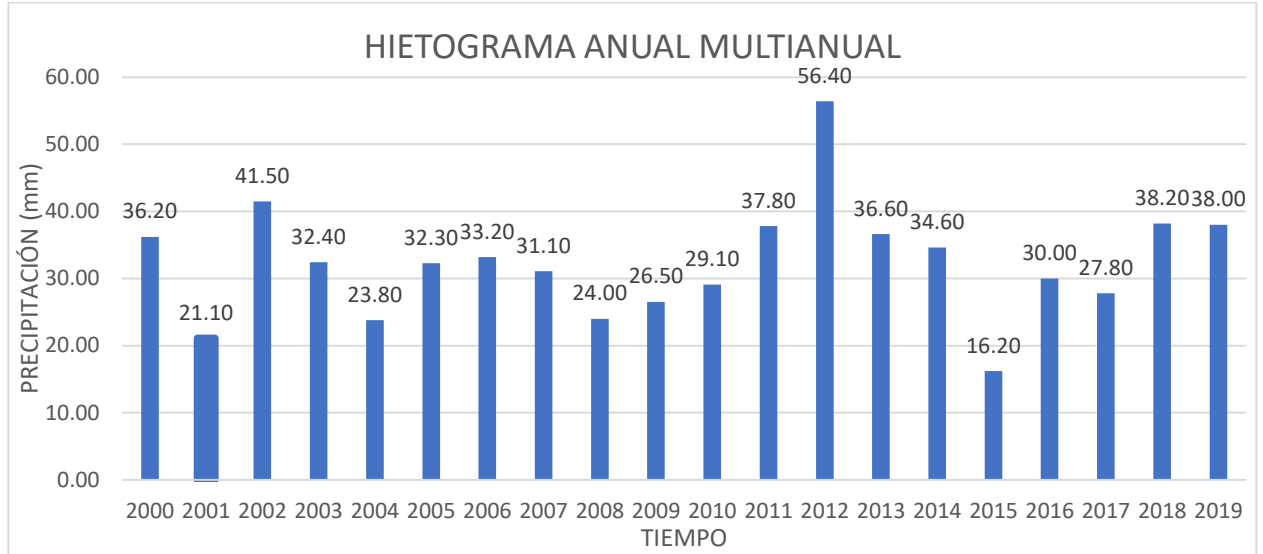
Fuente: Autor 2023

En la ilustración 22, se muestra el hietograma donde se evidencian valores máximos de 16.34 mm de precipitación por metro cuadrado de suelo y se analizan dentro de un rango de 300 minutos continuos de lluvia, obteniendo el valor máximo en el minuto 150 y los valores mínimos en la hora 1 y 17. Después de esto se da orden al modelo conectando áreas de aferencia con pozos de inspección, dándole valores de pendiente media a las áreas, para luego conducir el agua por la red de alcantarillado teniendo en cuenta las direcciones de flujo. Este procedimiento se ejemplificará en la siguiente imagen.

De acuerdo con los datos descargados a través de la página oficial del IDEAM, se relacionan la información de las precipitaciones de una serie de 19 años, comprendidos entre el año 2000 a 2019, en donde se obtienen los valores máximos anuales de precipitación, estos valores son, 56.40 mm para el año 2012

demonstrando que es un año donde ocurrió anomalías en cuanto a el promedio de precipitación el cual tiene un valor de 32.34 mm.

Ilustración 20 Hietograma Anual Multianual



Fuente: Autor 2023

De acuerdo con la información anterior se descargaron las curvas IDF que es representativa de la zona de estudio, teniendo en cuenta que estas curvas son la representa la intensidad de una lluvia fuerte expresada en milímetros y contemplada para diferentes duraciones que van desde 10 minutos hasta 360 minutos para de esta forma estimar la probabilidad de ocurrencia o la frecuencia expresada en diferentes tiempos de retorno que fueron evaluadas en un periodo de 19 a 20 años, se evidencio que los datos cumplían históricamente con los niveles de precipitación (mm) para los años de eventos de inundaciones en los barrios de la ciudad de Tunja entre los años de 2010 a 2012.

Resultados de la modelación en SWMM5Ve

Inicialmente se ingresan los datos generales de la zona, tales como CN el cual se determinó por medio de la tabla de uso del suelo la cual se encuentra en el libro de hidrología aplicada de Ven Te Chow.

Tabla 7 Grupo Hidrológico y CN de la zona

| Descripción uso de la tierra | | Grupo hidrológico del suelo | | | |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------|----|----|----|
| | | A | B | C | D |
| Tierra cultivada: | sin tratamiento de conservación | 72 | 81 | 88 | 91 |
| | con tratamiento de conservación | 62 | 71 | 78 | 81 |
| Pastizales: | condiciones pobres | 68 | 79 | 86 | 89 |
| | condiciones óptimas | 39 | 61 | 74 | 80 |
| Vegas de ríos: | condiciones óptimas | 30 | 58 | 71 | 78 |
| Bosques: | troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas, | 45 | 66 | 77 | 83 |
| | cubierta buena | 25 | 55 | 70 | 77 |
| Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc. | | | | | |
| | óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más | 39 | 61 | 74 | 80 |
| | condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75% | 49 | 69 | 79 | 84 |
| Áreas comerciales de negocios (85% impermeables) | | 89 | 92 | 94 | 95 |
| Distritos industriales (72% impermeables) | | 81 | 88 | 91 | 93 |
| Residencial: | | | | | |
| Tamaño promedio del lote | Porcentaje promedio impermeable | | | | |
| 1/8 acres o menos | 65 | 77 | 85 | 90 | 92 |
| 1/4 acre | 38 | 61 | 75 | 83 | 87 |
| 1/3 acre | 30 | 57 | 72 | 81 | 86 |
| 1/2 acre | 25 | 54 | 70 | 80 | 85 |
| 1 acre | 20 | 51 | 68 | 79 | 84 |
| Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc. | | 98 | 98 | 98 | 98 |
| Calles y carreteras: | | | | | |
| | Pavimentos con cunetas y alcantarillados | 98 | 98 | 98 | 98 |
| | Grava | 76 | 85 | 89 | 91 |
| | Tierra | 72 | 82 | 87 | 89 |

Fuente: Ven Te Chow 1994

De acuerdo con la tabla anterior se define que el CN de la zona es de 98 dado que son suelos con altos valores de escurrimiento, pero bajos valores de infiltración, ya que en su mayoría tienden a ser pavimentos, techos, vías adoquinadas, etc.

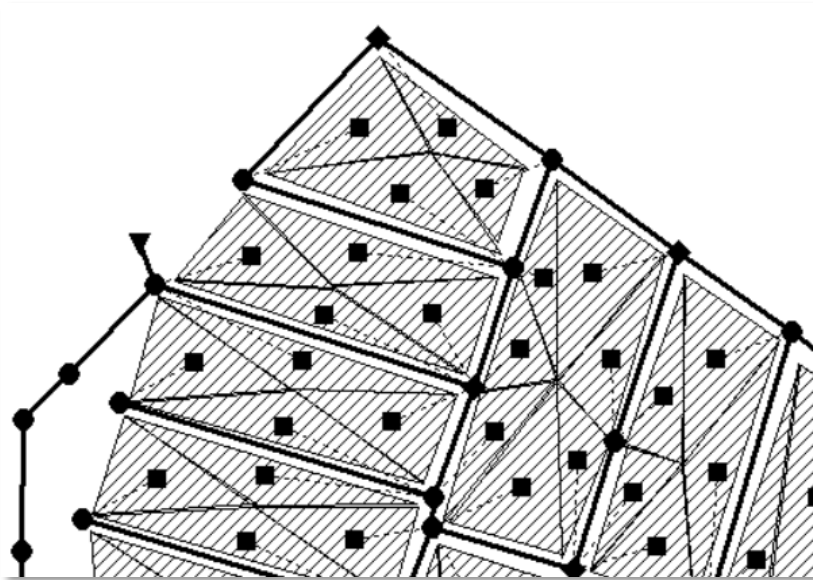
Resultado de la modelación en Swmm para la identificación de nodos y secciones de tuberías de alcantarillado

A partir de la información suministrada por la Empresa de Servicios Públicos VEOLIA E.S.P, específicamente el catastro de redes del sistema de alcantarillado de la zona, se logró identificar las características topológicas del sistema, tales como: pozos, sumideros, longitud y pendientes de las tuberías, la dirección del flujo de agua.

El análisis de dicha información se contrastó con lo observado en las visitas de campo, a partir de la información recolectada con la ortofoto e inspección visual de las estructuras que hacen parte del sistema

A partir de esto se planteó la implementación del software Swmm que será explicada de la siguiente manera: La aplicación del software Swmm5v3 permite a escala digital, conocer las secciones de la urbanización, por manzanas o cuadras, mostrando los nudos, intersecciones y el aporte que presentan las subcuencas a las salidas que recogen el recurso hídrico desde tramos anteriores o compartidos.

Ilustración 21 Ejemplo de conexión de los componentes del sistema



Fuente: Autor 2023

La anterior imagen muestra líneas punteadas que muestran la dirección hacia donde se dirige el agua de cada área, también la conexión de los pozos “Nudos” y la conexión de estos con los Tramos “conductos”. En la siguiente imagen se observa la forma en la que se completan las variables dentro del programa.

Tabla 8 Ejemplo de llenado de la cuenca 1 “área aferente”

| Propiedad | Valor |
|----------------------------|----------|
| Nombre | C-01 |
| Coordenada X | 6043.800 |
| Coordenada Y | 9328.783 |
| Descripción | |
| Marca | |
| Pluviómetro | 1 |
| Descarga | 2 |
| Área | 0.044 |
| Ancho | 100 |
| Pendiente (%) | 0.5 |
| Área Impermeable (%) | 25 |
| Coef. N (impermeable) | 0.02 |
| Coef. N (permeable) | 0.1 |
| Alm. Dep. (impermeable) | 0.05 |
| Alm. Dep. (permeable) | 0.05 |
| Área cuenca hectáreas (ha) | |

Fuente: Autor 2023

Teniendo en cuenta la ilustración anterior muestra que la pendiente del área es del 0.5% teniendo en cuenta que los techos de las casas tienen mayor pendiente que la probable del terreno, también se muestra el ancho de área que es lo que por catastro mide una cuadra, de muestra que hace una descarga en el pozo de inspección denominado como “2”, se toma la lluvia del hietograma mostrado anteriormente y por último se ingresa el área en hectáreas. Y de esta forma se llenaron las 208 áreas de aferencia, una vez completado estos datos se procede a llenar las características de los pozos de la siguiente forma.

Tabla 9 Ejemplo de pozo de inspección 2 "nudo"

| Propiedad | Valor |
|------------------------------------|----------|
| Nombre | 2 |
| Coordenada X | 6314.788 |
| Coordenada Y | 9444.437 |
| Descripción | |
| Marca | |
| Aportes | NO |
| Tratamiento | NO |
| Cota Fondo | 2681.68 |
| Profundidad Máxima | 0 |
| Nivel inicial | 0 |
| Altura de sobrepresión | 0 |
| Área de inundación | 0 |
| Cota de la base de la conexión (m) | |

Fuente: Autor 2023

Se observa el correcto llenado mostrando que se le inserto la cota base del pozo la cual hace referencia a la profundidad máxima de estructura. Luego de esto se llena los valores por cada conducto, como se muestra en la siguiente ilustración ejemplo.

Tabla 10 Ejemplo de Tramo2"conducto"

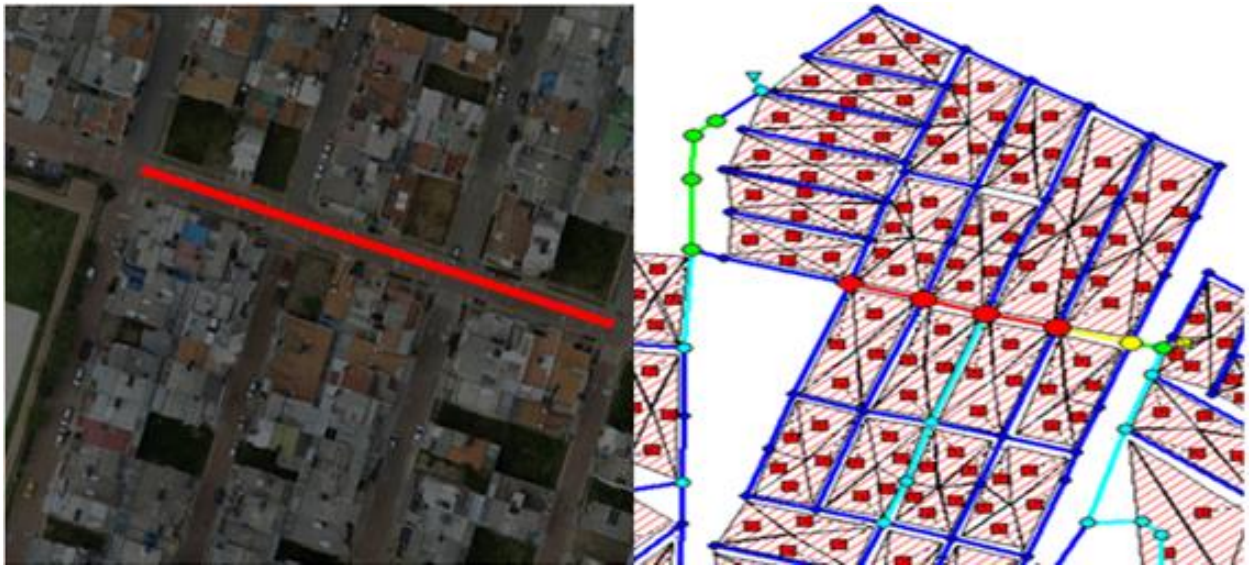
| Propiedad | Valor |
|-----------------------|----------|
| Nombre | 2 |
| Nudo inicial | 2 |
| Nudo final | 12 |
| Descripción | |
| Marca | |
| Forma | CIRCULAR |
| Altura | 0.3048 |
| Longitud | 33.81 |
| Coef. Manning | 0.01 |
| Desnivel Entrada | 0 |
| Desnivel Salida | 0 |
| Caudal inicial | 0 |
| Caudal Máximo | 0 |
| Coef. Perdida entrada | 0 |

| | |
|---------------------------|---|
| Coef. Perdida salida | 0 |
| Longitud del conducto (m) | |

Fuente: Autor 2023

En la ilustración anterior observamos que los valores necesarios de funcionamiento son, ubicar espacialmente el nudo de salida y el nudo de llegada, informarle al programa si hay más de una salida, longitud en metros coeficiente de Manning el cual nos indica la rugosidad del material, la forma de los tramos, que en este caso al ser alcantarillado es un tubo circular, y el diámetro del tubo. Con esta información ya solo queda observar el comportamiento de la cuenca y sus diferentes resultados para este caudal de ingreso. Esto se muestra en la siguiente imagen

Ilustración 22 Resultados de la modelación



Fuente: Autor 2023

Convenciones







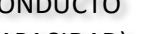











Ilustración 23 convención escorrentía, nudo, caudal



Fuente: Autor 2023

En la ilustración anterior se observa que todas las áreas de aferencia se encuentran saturadas debido a que están ocurriendo escorrentías con valores superiores a los 50 L/s, siendo una zona plana y no existe la velocidad de evacuación del agua, también se muestra que tres de las tuberías más importantes y de alto flujo se mantienen saturadas como se muestra en los resultados, ya que muestran caudales de 100 L/s en tuberías que no cuentan con especificaciones técnicas, ni de tamaño para permitir el flujo de dicha cantidad, por otra parte los nudos tienen buen comportamiento a excepción de los nudos que se encuentran en rojo, los cuales se encuentran en los lugares que más presentan inundación en las visitas a la zona de estudio como se muestra en la imagen a escala real y de digitalización. A continuación, se muestra el método de análisis del modelo por medio de una tabla.

Ilustración 24 Indicadores

| NOMBRE | FIGURA | COLOR | INDICATIVO | VALORES(LPS) |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|
| POZO (APORTE TOTAL) |  |  | EXCELENTE | 0-25 |
| | |  | BUENO | 25-50 |
| | |  | ACEPTABLE | 50-75 |
| | |  | INSUFICIENTE | 75-100 |
| | |  | DEFICIENTE | > 100 |
| CONDUCTO (CAPACIDAD) |  |  | EXCELENTE | 0 - 0.25 |
| | |  | BUENO | 0.25 - 0.50 |
| | |  | ACEPTABLE | 0.50 - 0.75 |
| | |  | INSUFICIENTE | 0.75 - 1 |
| | |  | DEFICIENTE | > 1 |
| ÁREA (ESCORRENTIA) |  |  | EXCELENTE | 0 - 0.01 |
| | |  | BUENO | 0.01 - 0.05 |
| | |  | ACEPTABLE | 0.05 - 0.10 |
| | |  | INSUFICIENTE | 0.10 - 0.50 |
| | |  | DEFICIENTE | > 0.50 |

Fuente: Autor 2023

En esta tabla se muestra la forma en la que deben ser analizados los resultados del modelo, teniendo en cuenta que cuando está en rojo es porque el alcantarillado está saturado o inundado, de igual manera cuando está en azul oscuro la estructura está teniendo bajas cantidades de caudal.

De esta forma se hace énfasis en los caudales que están presentes en todos los pozos de la zona de estudio, donde se pueden relacionar zonas puntuales de inundación.

Tabla 11.Caudales por nodos

| Nodos | Caudal LPS | Nodos | Caudal LPS | Nodos | Caudal LPS |
|-------|------------|-------|------------|-------|------------|
| 1 | 1.14 | 42 | 7.29 | 83 | 18.31 |
| 2 | 0.93 | 43 | 54.19 | 84 | 27.48 |
| 3 | 4.28 | 44 | 3.6 | 85 | 1.32 |
| 4 | 7.87 | 45 | 2.03 | 86 | 4.19 |
| 5 | 3.13 | 46 | 46.5 | 87 | 2.02 |
| 6 | 3.09 | 47 | 1.03 | 88 | 3.84 |
| 7 | 3.97 | 48 | 1.31 | 89 | 1.62 |
| 8 | 2.5 | 49 | 1.65 | 90 | 4.02 |
| 9 | 3.25 | 50 | 16.30 | 91 | 1.85 |
| 10 | 11.7 | 51 | 42.14 | 92 | 25.54 |

| | | | | | |
|--------|--------|----|-------|-----|-------|
| 11 | 6.58 | 52 | 15.54 | 93 | 12.68 |
| 12 | 8.09 | 53 | 11.71 | 94 | 16.18 |
| 13 | 4.15 | 54 | 9.37 | 95 | 25.33 |
| vert14 | 35.73 | 55 | 2.94 | 96 | 1.77 |
| 15 | 35.94 | 56 | 26.01 | 97 | 0 |
| 16 | 13.91 | 57 | 25.99 | 98 | 25.33 |
| 17 | 23.68 | 58 | 31.3 | 99 | 27.97 |
| 18 | 17.94 | 59 | 10.27 | 100 | 15.10 |
| 19 | 51.06 | 60 | 13.1 | 101 | 18.44 |
| 20 | 5.17 | 61 | 26.40 | 102 | 33.71 |
| 21 | 2.11 | 62 | 7.29 | 103 | 9.32 |
| 22 | 13.70 | 63 | 5.59 | 104 | 0.93 |
| 23 | 12.33 | 64 | 3.51 | 105 | 3.92 |
| 24 | 5.95 | 65 | 19.43 | 106 | 19.12 |
| 25 | 50.65 | 66 | 9.47 | 107 | 1.93 |
| 26 | 1.6 | 67 | 5.69 | 108 | 45.54 |
| 27 | 51.06 | 68 | 4.27 | 109 | 23.22 |
| 28 | 1.64 | 69 | 6.87 | 110 | 9.71 |
| 29 | 51.85 | 70 | 5.12 | 111 | 5.62 |
| 30 | 1.55 | 71 | 2.7 | 112 | 6.72 |
| 31 | 53.29 | 72 | 2.67 | 113 | 5.18 |
| 32 | 6.68 | 73 | 2.78 | 114 | 3.41 |
| 33 | 1.57 | 74 | 0 | 115 | 3.04 |
| 34 | 1.6 | 75 | 4.72 | 116 | 0.57 |
| 35 | 199.53 | 76 | 2.76 | 117 | 17.13 |
| 36 | 186.39 | 77 | 0.65 | 118 | 11.49 |
| 37 | 155.27 | 78 | 9.22 | 119 | 4.45 |
| 38 | 110.52 | 79 | 0.99 | 120 | 1.46 |
| 39 | 7.6 | 80 | 3.05 | 121 | 1.16 |
| 40 | 6.56 | 81 | 1.18 | 122 | 0.85 |
| 41 | 77.37 | 82 | 13.46 | | |

Fuente: Autor 2023

De acuerdo con la información de la tabla 5, toda la información recopilada y modelada se procede a hacer visitas de campo en los lugares que el modelo indica inundaciones los días lluviosos o días posteriores a un día de precipitaciones normales, el aporte del modelo Swmm al ingresar los datos, genero una cantidad de nodos por donde transita el agua de los distintos alcantarillados, el punto final de vertimiento, el caudal en LPS de la totalidad de tuberías.

Ilustración 25 Fotos del nudo 35



Fuente: Autor 2023

En la imagen anterior se muestra el nodo 35 el cual es uno de los que tienen más alto flujo de agua, y la foto fue tomada 3 horas después del final de la lluvia, de esta forma se observa la falta de eficiencia al momento de evacuar caudales de gran magnitud, lo anterior es debido a la falta de pendiente y falta de una buena distribución del alcantarillado del barrio Las Quintas.

En otro orden de ideas en la siguiente imagen donde se evidencia el nodo 16 se muestra alto grado de encharcamiento pero para este caso de estudio, se debe a la falta de buena ejecución de obras de alcantarillado ya que se encuentra en un lugar que tiene presencia de contrapendientes y esto determina que el agua no tenga conducto de evacuación efectivo. Por lo tanto se tiende a rebozar el nudo.

Ilustración 26 Fotos nudo 16



Fuente: Autor 2023

Resultados de la toma de Ortofotos

Se obtuvieron imágenes satelitales a través de la implementación del uso de un dron el cual capturaba imágenes en determinadas áreas haciendo un recorrido a la totalidad del Barrio las Quintas que duraría 48 minutos en total su recorrido.

Ilustración 27 Ortofoto Barrio Las Quintas



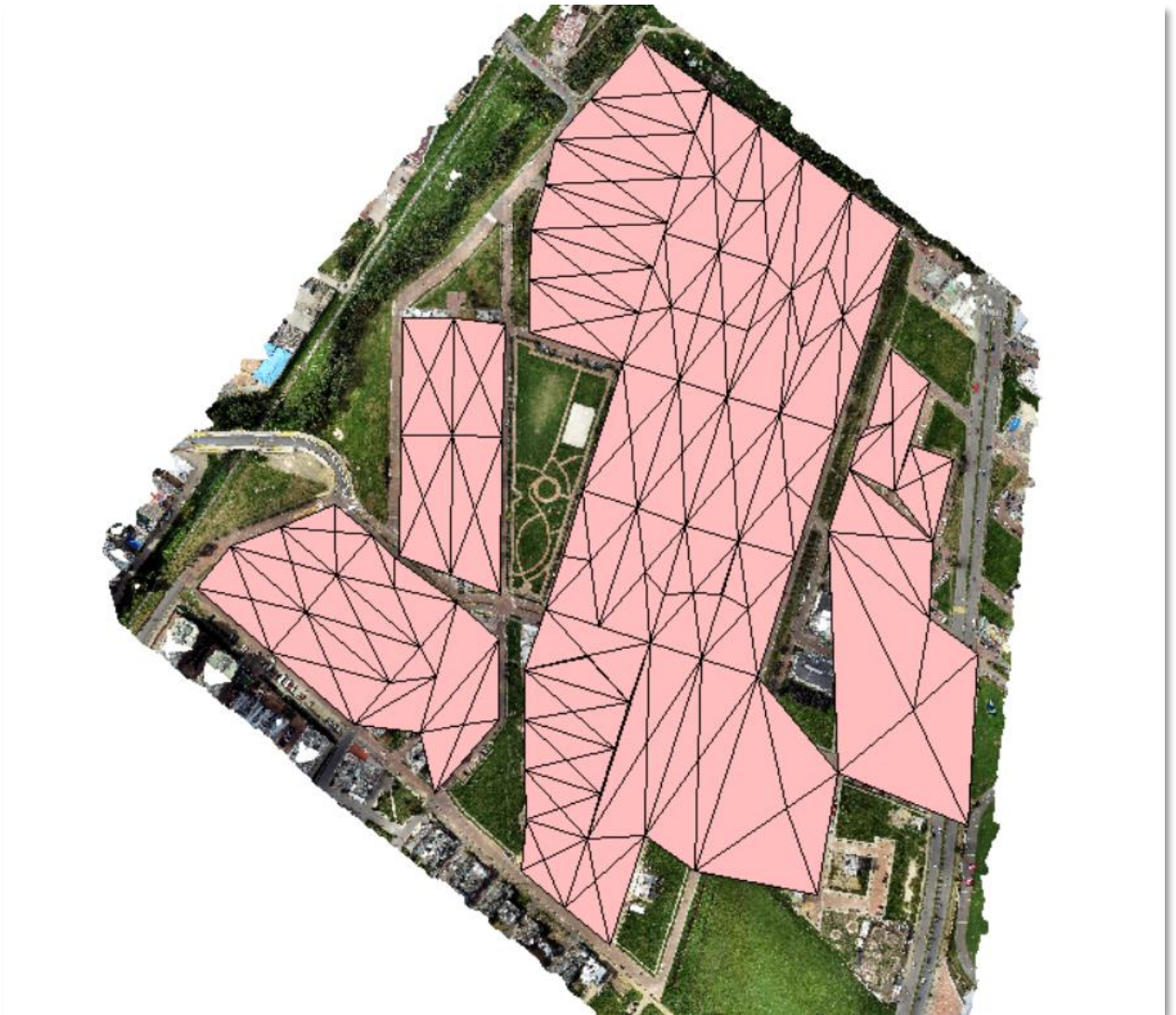
Fuente: Autor 2023

Con base en la ortofoto se determina que el barrio Las Quintas consta de 283720 metros teniendo en cuenta que solo se evalúa las zonas donde hay construcciones, se determinaron 44 cuadras las cuales se tabularon con sus respectivas áreas y número de rejillas que recogen aguas de escorrentía por cuadras, cabe aclarar que durante la recolección de características del barrio se evidenció una problemática por la ausencia de rejillas en la mayoría de las cuadras lo que hace poco eficiencia

la recolección de las aguas y puede generar problemas en el suelo del barrio Las Quintas.

También se dividieron la cuadra teniendo en cuenta las áreas de aferencia por cada pozo de inspección para de esta forma saber el área de aferencia y escorrentía para cada conducto como se muestra en la siguiente imagen.

Ilustración 28 Áreas de modelamiento



Fuente: Autor 2023

Tabla 12. Tabla de especificaciones de las cuadras

| N°-Cuadra | Área (m) | Numero Rejillas | Áreas Totales | N°-Cuadra | Área (m) | Numero Rejillas | Áreas Totales |
|-----------|----------|-----------------|---------------|-----------|----------|-----------------|---------------|
| 0 | 1673.075 | 0 | 2803.302 | 23 | 1149.423 | 2 | 2003.168 |
| 1 | 3101.135 | 0 | 4160.9 | 24 | 2203.709 | 2 | 3253.524 |
| 2 | 2654.575 | 0 | 3578.247 | 25 | 3721.051 | 2 | 5407.179 |
| 3 | 5502.232 | 1 | 7056.491 | 26 | 2537.595 | 1 | 3619.2 |
| 4 | 4981.43 | 1 | 6953.933 | 27 | 2513.341 | 1 | 4296.245 |
| 5 | 3395.443 | 1 | 4355.654 | 28 | 1799.978 | 1 | 3355.664 |
| 6 | 2961.414 | 0 | 3949.126 | 29 | 1529.691 | 1 | 2499.819 |
| 7 | 2686.537 | 1 | 3628.926 | 30 | 1178.187 | 0 | 2307.531 |
| 8 | 2675.708 | 1 | 3683.147 | 31 | 1197.986 | 0 | 2281.199 |
| 9 | 2700.209 | 0 | 3661.751 | 32 | 1586.069 | 0 | 3459.495 |
| 10 | 3019.879 | 1 | 3956.056 | 33 | 2991.33 | 3 | 4246.384 |
| 11 | 3012.386 | 2 | 3951.18 | 34 | 2924.716 | 0 | 4456.393 |
| 12 | 3071.453 | 2 | 4027.245 | 35 | 2853.432 | 0 | 4026.781 |
| 13 | 2974.978 | 2 | 3933.227 | 36 | 1535.018 | 0 | 2427.078 |
| 14 | 2249.803 | 0 | 2943.093 | 37 | 2170.887 | 1 | 3335.423 |
| 15 | 2583.99 | 0 | 3572.526 | 38 | 1975.889 | 0 | 2827.83 |
| 16 | 2601.08 | 1 | 4176.418 | 39 | 2253.974 | 1 | 3248.663 |
| 17 | 2446.869 | 2 | 3959.876 | 40 | 2558.921 | 0 | 3710.98 |
| 18 | 2291.557 | 2 | 3691.004 | 41 | 1245.97 | 0 | 2028.074 |
| 19 | 2770.958 | 0 | 4170.865 | 42 | 2598.796 | 0 | 3915.749 |
| 20 | 2569.03 | 0 | 4239.956 | 43 | 10488.93 | 0 | 12907.54 |
| 21 | 2765.373 | 0 | 3865.179 | 44 | 3924.599 | 2 | 6854.706 |
| 22 | 3480.428 | 2 | 4704.344 | | | | |

Fuente: Autor 2023

Por otra parte, se define la forma del alcantarillado, teniendo en cuenta la información subministrada por el catastro que dispone la empresa Veolia, de esta forma se conocen las pendientes, tuberías, tipo de tubo y diámetros de la tubería, como se identifica en la tabla 6, se estimaron los números de cuadras, las áreas correspondientes, el número de rejillas que se encontraron en la Ortofoto y en la vista en campo.

Ilustración 29 Red de Drenaje



Fuente: Autor 2023

Se define que existen 36 rejillas para el ingreso de las aguas lluvia provenientes de la escorrentía sobre las calles, 122 pozos de inspección, 145 conductos o tuberías y 1 vertimiento. De igual manera se enumeraron los pozos y se tabularon las direcciones de los diferentes tramos, la siguiente tabla determina el correcto funcionamiento del barrio y determinar si los errores encontrados pueden ser los causantes de las inundaciones.

Tabla 13. Distribución del alcantarillado

| | | ALCANTARILLADO POR COTAS | | | |
|-------------|----------------|-----------------------------|---------------|----------|-----------------|
| ID TRAMO | CARACTERISTICA | POZO INICIAL | POZO FINAL | LONGITUD | SENTIDO |
| 1 | Tramo Inicial | 1 | 2 | 62.79 | bien |
| 2 | | 2 | 12 | 33.81 | bien |
| 3 | | 1 | 13 | 68.9 | bien |
| 4 | | 13 | 12 | 81.17 | bien |
| 5 | | 12 | 16 | 35.1 | bien |
| 6 | | 16 | 15 | 97.02 | contra flujo |
| 7 | | 17 | 16 | 34.72 | contra flujo |
| 8 | Vertimiento | 15 | 14 | 20 | bien |
| 9 | | 25 | 15 | 36.3 | bien |
| 10 | | 26 | 17 | 93.81 | bien |
| 11 | | 18 | 17 | 7.73 | bien |
| 12 | | 23 | 18 | 27.22 | bien |
| 13 | | 28 | 23 | 93.77 | bien |
| 14 | | 30 | 24 | 82.89 | bien |
| 15 | | 24 | 23 | 35.16 | bien |
| 16 | Tramo Inicial | 32 | 31 | 10.26 | bien |
| 17 | | 35 | 32 | 72.26 | bien |
| 18 | | 31 | 29 | 60.27 | bien |
| 19 | | 29 | 27 | 37.12 | contra flujo |
| 20 | | 27 | 25 | 21.83 | bien |
| 21 | | 35 | 24 | 38.58 | bien |
| 22 | | 3 | 2 | 45.19 | bien |
| 23 | | 4 | 3 | 39.94 | bien |
| 24 | Tramo Inicial | 3 | 11 | 57.6 | bien |
| 25 | | 11 | 10 | 39.88 | bien |
| 26 | | 10 | 18 | 43.05 | bien |
| 27 | | 10 | 22 | 50.02 | bien |
| 28 | | 22 | 36 | 50.85 | bien |
| 29 | | 36 | 35 | 41 | bien |
| 30 | Tramo Inicial | 5 | 4 | 41.9 | bien |
| 31 | | 9 | 4 | 85.01 | bien |
| 32 | | 9 | 21 | 49.96 | bien |
| 33 | | 21 | 37 | 50.58 | bien |

| | | | | | |
|----|---------------|----|----|-------|-----------------|
| 34 | | 37 | 36 | 38.28 | bien |
| 35 | | 5 | 6 | 41.9 | bien |
| 36 | | 5 | 8 | 57.86 | bien |
| 37 | | 8 | 20 | 63.89 | bien |
| 38 | | 20 | 38 | 49.98 | bien |
| 39 | | 38 | 37 | 40.62 | bien |
| 40 | | 6 | 7 | 44.75 | bien |
| 41 | | 7 | 19 | 52.9 | bien |
| 42 | | 19 | 41 | 61.45 | bien |
| 43 | | 41 | 38 | 43.49 | bien |
| 44 | Tramo Inicial | 48 | 45 | 46.75 | bien |
| 45 | | 45 | 44 | 34.49 | bien |
| 46 | Tramo Inicial | 47 | 44 | 35.99 | bien |
| 47 | | 44 | 40 | 48.71 | bien |
| 48 | | 40 | 39 | 35.57 | bien |
| 49 | | 39 | 42 | 61.42 | bien |
| 50 | | 42 | 43 | 10 | bien |
| 51 | Tramo Inicial | 49 | 46 | 81.91 | bien |
| 52 | | 46 | 43 | 23.38 | contra flujo |
| 53 | Tramo Inicial | 55 | 54 | 54.19 | bien |
| 54 | | 54 | 51 | 98.38 | bien |
| 55 | Tramo Inicial | 70 | 66 | 67.41 | bien |
| 56 | | 66 | 65 | 75.13 | bien |
| 57 | Tramo Inicial | 71 | 72 | 28.58 | bien |
| 58 | | 72 | 69 | 34.96 | bien |
| 59 | Tramo Inicial | 68 | 69 | 37.87 | bien |
| 60 | | 69 | 65 | 56.91 | bien |
| 61 | Tramo Inicial | 64 | 65 | 32.99 | bien |
| 62 | | 65 | 61 | 37.98 | bien |
| 63 | Tramo Inicial | 62 | 61 | 37.34 | bien |
| 64 | | 61 | 56 | 39.88 | bien |
| 65 | | 56 | 57 | 10.42 | bien |
| 66 | | 57 | 58 | 30.97 | bien |
| 67 | Tramo Inicial | 63 | 58 | 91.11 | bien |
| 68 | | 58 | 51 | 75.1 | bien |
| 69 | | 51 | 46 | 49.32 | bien |
| 70 | | 43 | 41 | 22.42 | bien |
| 71 | Tramo Inicial | 74 | 75 | 46.71 | bien |
| 72 | | 74 | 73 | 89.46 | bien |
| 73 | | 73 | 67 | 74.9 | bien |

| | | | | | |
|-----|---------------|-----|-----|--------|-----------------|
| 74 | | 67 | 59 | 76.16 | bien |
| 75 | | 60 | 59 | 43.73 | bien |
| 76 | | 59 | 53 | 61.87 | bien |
| 77 | | 53 | 52 | 30.38 | bien |
| 78 | | 101 | 52 | 43.69 | bien |
| 79 | | 52 | 50 | 39.86 | bien |
| 80 | | 50 | 41 | 59.27 | bien |
| 81 | | 75 | 76 | 43.82 | bien |
| 82 | | 75 | 60 | 222.85 | bien |
| 83 | | 95 | 60 | 29.54 | bien |
| 84 | | 60 | 100 | 49.87 | bien |
| 85 | | 100 | 101 | 42.03 | bien |
| 86 | | 101 | 38 | 99.4 | bien |
| 87 | Tramo Inicial | 77 | 76 | 42.4 | bien |
| 88 | Tramo Inicial | 79 | 78 | 47.3 | bien |
| 89 | | 76 | 78 | 53.45 | bien |
| 90 | | 78 | 82 | 35.34 | bien |
| 91 | | 81 | 82 | 58.86 | bien |
| 92 | | 82 | 83 | 34.93 | bien |
| 93 | Tramo Inicial | 85 | 83 | 70.16 | bien |
| 94 | Tramo Inicial | 91 | 84 | 81.25 | bien |
| 95 | | 83 | 84 | 35.24 | bien |
| 96 | | 84 | 95 | 47.1 | bien |
| 97 | | 96 | 95 | 40.51 | bien |
| 98 | | 95 | 99 | 37.5 | bien |
| 99 | | 99 | 102 | 53.88 | bien |
| 100 | | 103 | 102 | 37.93 | bien |
| 101 | | 102 | 101 | 41.2 | contra flujo |
| 102 | | 102 | 37 | 100.11 | contra flujo |
| 103 | Tramo Inicial | 97 | 96 | 40.59 | bien |
| 104 | | 96 | 103 | 91.83 | bien |
| 105 | | 97 | 104 | 42.18 | bien |
| 106 | | 104 | 105 | 50.08 | bien |
| 107 | | 105 | 103 | 42.72 | bien |
| 108 | | 103 | 36 | 99.49 | bien |
| 109 | | 105 | 35 | 99.53 | bien |
| 110 | Tramo Inicial | 120 | 119 | 72.84 | bien |
| 111 | | 121 | 118 | 74.4 | bien |
| 112 | | 119 | 118 | 39.32 | bien |

| | | | | | |
|-----|---------------|-----|-----|-------|-----------------|
| 113 | Tramo Inicial | 122 | 121 | 39.4 | bien |
| 114 | | 118 | 117 | 35.25 | bien |
| 115 | | 122 | 117 | 56.16 | bien |
| 116 | | 122 | 116 | 43.43 | bien |
| 117 | | 116 | 115 | 35.96 | bien |
| 118 | | 117 | 115 | 38.41 | bien |
| 119 | | 115 | 114 | 23.16 | contra flujo |
| 120 | | 119 | 89 | 81.22 | bien |
| 121 | | 89 | 80 | 79.01 | bien |
| 122 | | 89 | 90 | 40.41 | contra flujo |
| 123 | | 118 | 90 | 80.75 | contra flujo |
| 124 | | 90 | 92 | 34.89 | bien |
| 125 | | 117 | 92 | 80.42 | bien |
| 126 | | 92 | 94 | 39.16 | bien |
| 127 | | 114 | 113 | 3.96 | bien |
| 128 | | 114 | 94 | 56.69 | bien |
| 129 | | 80 | 86 | 72 | bien |
| 130 | | 87 | 88 | 40.54 | bien |
| 131 | | 88 | 93 | 50.35 | bien |
| 132 | | 86 | 93 | 69.96 | bien |
| 133 | | 93 | 98 | 33.07 | contra flujo |
| 134 | | 94 | 98 | 35.11 | bien |
| 135 | Tramo Inicial | 107 | 111 | 52.97 | bien |
| 136 | | 113 | 112 | 39.49 | bien |
| 137 | | 112 | 110 | 50.09 | bien |
| 138 | | 34 | 110 | 87.02 | bien |
| 139 | | 110 | 109 | 37.67 | bien |
| 140 | | 111 | 109 | 49.96 | bien |
| 141 | | 33 | 109 | 86.98 | bien |
| 142 | | 98 | 106 | 59.71 | contra flujo |
| 143 | | 106 | 108 | 59.63 | bien |
| 144 | | 109 | 108 | 37.37 | bien |
| 145 | | 108 | 31 | 83 | bien |

Fuente: Autor 2023

En la tabla anterior, se definieron los tramos iniciales, y finales, por secciones o cuadras, las cuales aportan en el sentido de flujo, que normalmente debería tener

el sistema de alcantarillado correcto, y así se observan que hay tramos que están funcionando a contra flujo y cuando llueve y se hace visita en campo son las zonas que están saturadas por las precipitaciones, de esta forma se define que el modelo que se desarrolla en el programa SWMM5Ve se corregirá estos errores para determinar si el alcantarillado es capaz de evacuar ciertos caudales en máximos.

De acuerdo con las áreas dispuestas en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se obtienen las áreas de aferencia, las intersecciones, y manzanas; junto a esto las areas de aporte que se van a distribuir a los pozos en un siguiente análisis.

Tabla 14. Área de aferencia

| NOMBRE | ÁREA He | NOMBRE | ÁREA He | NOMBRE | ÁREA He | NOMBRE | ÁREA He |
|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|
| 0 | 0.0552 | 52 | 0.099 | 104 | 0.071 | 156 | 0.27 |
| 1 | 0.0438 | 53 | 0.093 | 105 | 0.073 | 157 | 0.152 |
| 2 | 0.0947 | 54 | 0.081 | 106 | 0.073 | 158 | 0.04 |
| 3 | 0.1194 | 55 | 0.094 | 107 | 0.07 | 159 | 0.041 |
| 4 | 0.066 | 56 | 0.096 | 108 | 0.072 | 160 | 0.049 |
| 5 | 0.0772 | 57 | 0.094 | 109 | 0.069 | 161 | 0.058 |
| 6 | 0.0939 | 58 | 0.096 | 110 | 0.081 | 162 | 0.038 |
| 7 | 0.0802 | 59 | 0.095 | 111 | 0.08 | 163 | 0.029 |
| 8 | 0.0806 | 60 | 0.096 | 112 | 0.082 | 164 | 0.038 |
| 9 | 0.0853 | 61 | 0.096 | 113 | 0.081 | 165 | 0.041 |
| 10 | 0.0841 | 62 | 0.096 | 114 | 0.107 | 166 | 0.054 |
| 11 | 0.0795 | 63 | 0.065 | 115 | 0.192 | 167 | 0.055 |
| 12 | 0.083 | 64 | 0.068 | 116 | 0.075 | 168 | 0.048 |
| 13 | 0.0816 | 65 | 0.078 | 117 | 0.095 | 169 | 0.048 |
| 14 | 0.0819 | 66 | 0.056 | 118 | 0.061 | 170 | 0.06 |
| 15 | 0.0832 | 67 | 0.056 | 119 | 0.077 | 171 | 0.04 |
| 16 | 0.0783 | 68 | 0.057 | 120 | 0.058 | 172 | 0.048 |
| 17 | 0.0874 | 69 | 0.047 | 121 | 0.046 | 173 | 0.048 |
| 18 | 0.0781 | 70 | 0.067 | 122 | 0.036 | 174 | 0.09 |
| 19 | 0.07 | 71 | 0.101 | 123 | 0.046 | 175 | 0.053 |
| 20 | 0.0842 | 72 | 0.09 | 124 | 0.03 | 176 | 0.054 |
| 21 | 0.0752 | 73 | 0.102 | 125 | 0.036 | 177 | 0.057 |
| 22 | 0.0639 | 74 | 0.115 | 126 | 0.069 | 178 | 0.063 |
| 23 | 0.0715 | 75 | 0.08 | 127 | 0.058 | 179 | 0.05 |
| 24 | 0.1094 | 76 | 0.084 | 128 | 0.141 | 180 | 0.065 |
| 25 | 0.112 | 77 | 0.079 | 129 | 0.159 | 181 | 0.072 |
| 26 | 0.0865 | 78 | 0.075 | 130 | 0.148 | 182 | 0.056 |
| 27 | 0.0754 | 79 | 0.101 | 131 | 0.067 | 183 | 0.046 |

| | | | | | | | |
|----|--------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|
| 28 | 0.0865 | 80 | 0.103 | 132 | 0.131 | 184 | 0.055 |
| 29 | 0.1079 | 81 | 0.103 | 133 | 0.042 | 185 | 0.062 |
| 30 | 0.1083 | 82 | 0.101 | 134 | 0.066 | 186 | 0.043 |
| 31 | 0.0957 | 83 | 0.108 | 135 | 0.105 | 187 | 0.064 |
| 32 | 0.0964 | 84 | 0.109 | 136 | 0.158 | 188 | 0.044 |
| 33 | 0.1804 | 85 | 0.108 | 137 | 0.145 | 189 | 0.052 |
| 34 | 0.1833 | 86 | 0.097 | 138 | 0.158 | 190 | 0.051 |
| 35 | 0.1803 | 87 | 0.088 | 139 | 0.172 | 191 | 0.035 |
| 36 | 0.1781 | 88 | 0.1 | 140 | 0.077 | 192 | 0.038 |
| 37 | 0.0913 | 89 | 0.101 | 141 | 0.087 | 193 | 0.054 |
| 38 | 0.0906 | 90 | 0.101 | 142 | 0.073 | 194 | 0.05 |
| 39 | 0.0791 | 91 | 0.026 | 143 | 0.049 | 195 | 0.042 |
| 40 | 0.1047 | 92 | 0.04 | 144 | 0.027 | 196 | 0.046 |
| 41 | 0.0832 | 93 | 0.067 | 145 | 0.064 | 197 | 0.055 |
| 42 | 0.0824 | 94 | 0.045 | 146 | 0.035 | 198 | 0.046 |
| 43 | 0.0823 | 95 | 0.077 | 147 | 0.084 | 199 | 0.04 |
| 44 | 0.0815 | 96 | 0.09 | 148 | 0.101 | 200 | 0.05 |
| 45 | 0.1059 | 97 | 0.085 | 149 | 0.101 | 201 | 0.018 |
| 46 | 0.1083 | 98 | 0.056 | 150 | 0.122 | 202 | 0.051 |
| 47 | 0.1052 | 99 | 0.042 | 151 | 0.518 | 203 | 0.135 |
| 48 | 0.1076 | 100 | 0.056 | 152 | 0.338 | 204 | 0.291 |
| 49 | 0.1006 | 101 | 0.074 | 153 | 0.288 | 205 | 0.054 |
| 50 | 0.0958 | 102 | 0.073 | 154 | 0.211 | 206 | 0.006 |
| 51 | 0.091 | 103 | 0.075 | 155 | 0.376 | 207 | 0.025 |

Fuente: Autor 2023

De acuerdo con toda la información recopilada se procede a realizar el modelo corregido en el programa SWMM5Ve el cual determina caudales de paso por los conductos y comportamiento hidráulico del Barrio Las Quintas, además como se evidencia en la Tabla 14. Área de aferencia por la utilización del dron para la toma de la Ortofoto se analizaron las secciones que fueron enumeradas manualmente y los datos obtenidos de la ortofoto arrojaron las áreas pertenecientes a la zona en general desde el tramo 0 hasta el tramo 207.

Resultado del análisis de entrevistas

Tabla 15 Análisis de Involucrados

| Descripción | Grupos | Intereses | Problemas | Mandatos y Recursos |
|-------------|--------|-----------|-----------|---------------------|
|-------------|--------|-----------|-----------|---------------------|

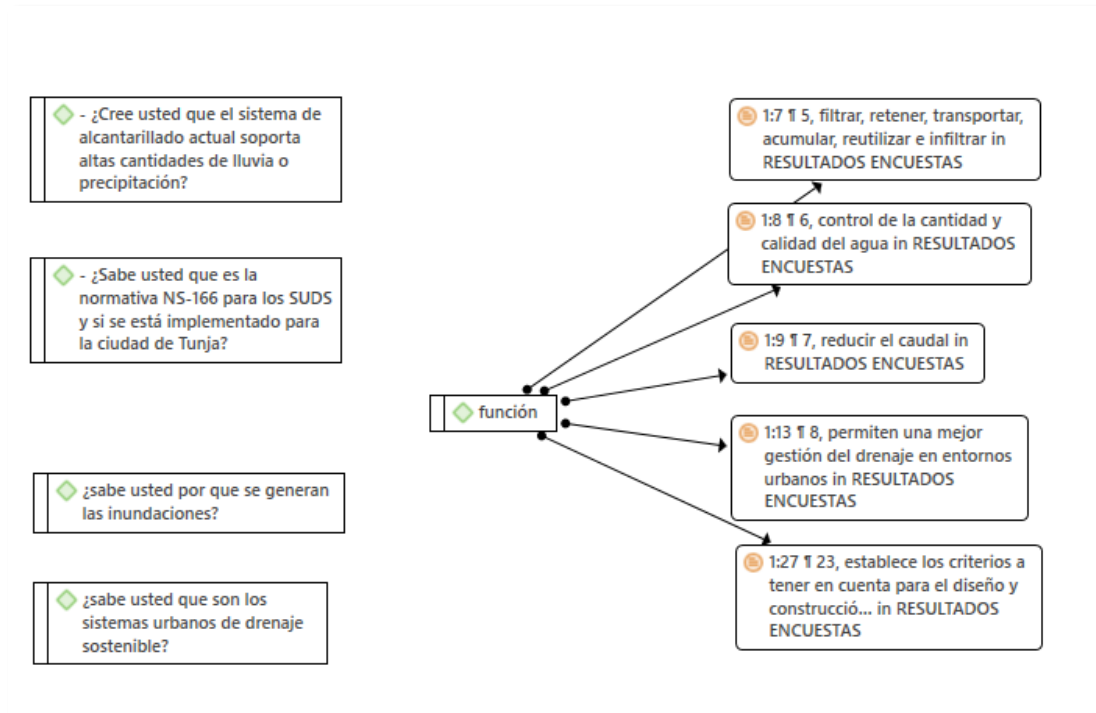
| | | | | |
|---------------|---|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Familia | 1 | mejoramiento de las vías, debido a los empozamientos o inundaciones | Les está afectando en el tránsito peatonal y vehicular, debido a los baches que se general y los pozos | Deberían mejorar el sistema vial |
| | | mejoramiento de calidad de agua | Se están deteriorando algunas estructuras de viviendas | Las entidades correspondientes deben hacerse cargo de las inundaciones |
| Entidad | 2 | Que la gente almacene lo que más se pueda de las aguas lluvias | Altas precipitaciones, tuberías de drenaje pequeñas | La administración municipal en los sistemas de drenaje |
| | | | tuberías con residuos, área de aportación del sector | la comunidad debe cuidar los sistemas y evaluar el alcance de implementación de SUDS |
| Profesionales | 3 | Que se implementen SUDS para la mejora de calidad de vida | El cambio de sistemas de alcantarillado, por demoras (tiempo), por costos | las comunidades deberían aportar a la disminución de inundaciones |
| | | La innovación de SUDS | la poca afinidad con profesionales que están surgiendo y el conocimiento de los SUDS | los municipios deberían determinar cómo mejoraría su ciudad con estas mejoras |
| Estudiantes | 4 | Aprender sobre la implementación de los SUDS | Complejidad de la implementación de los | Las entidades municipales deberían adquirir SUDS |

| | | | | |
|-------|---|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | SUDS por costos | para el mejoramiento de sus ciudades |
| | | conocer más respecto a que son los SUDS | que no se apoyen proyectos con sistemas innovadores como los SUDS | Si se inculcara mejor los SUDS, las entidades educativas podrían incentivar hacia el futuro nuevos profesionales |
| TOTAL | 8 | | | |

Fuente: Autor 2023

El análisis de entrevistas a través del método de involucrados para las personas seleccionadas a conveniencia, entre los cuales están focos, familiares donde se analizaron las opiniones de dos de ellos, que para sus intereses después de la información otorgada, se enfocaron en que las vías debían ser mejoradas junto con la calidad del agua, quizá información que para ellos al no tener una idea más clara de las problemáticas por las inundaciones fueron sus respuestas, y así mismo otorgaron mandatos y recursos a quienes debía recaerles la responsabilidad, el siguiente foco de entidades, al ser los entes que soportan la sistematización de la ciudad en general aportaron información sutil per concreta como que el apoyo para el mejoramiento y prevención de inundaciones también podría ser apoyada por gestiones que pueden hacer las personas o familias de la zona, la parte profesional del siguiente foco, aporta información como innovación, como que quizá sería bueno pero consta de procesos que son complicados que los aprueben, y comprenden más que como entidades, familias son igual de importantes para el mejoramiento de estas condiciones, y finalmente la participación del grupo estudiantil, que no comprenden bien significados de SUDS pero que se pusieron interesar en que beneficios traen estos y como podrían implementarse.

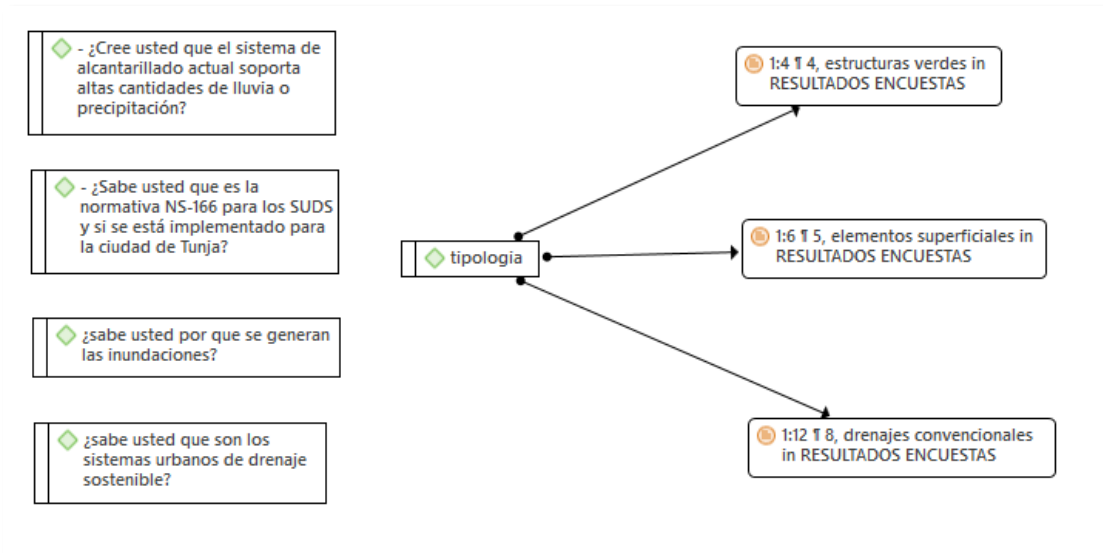
Ilustración 30 DIAGRAMA 1



Fuente: Autor 2023

FUNCIÓN: en cuanto a función, se compilaron distintos temas, como el funcionamiento de los SUDS, cuestionando a las personas si saben cuál es su finalidad, obteniendo respuestas óptimas, como la filtración, retención, reutilización entre otras, la regulación de volúmenes de agua, y la gestión de los distintos drenajes, por otra parte, la técnica o normativa, es muy poca la información que tienen al respecto, al no saber qué criterios normativos se deben implementar para la utilización de SUDS, lo cual definimos como investigadores, que la Concepción de normatividad para SUDS es muy poca conocida en ciudades como Tunja, de poca población en comparación a grandes ciudades, pero que también viven y presentan eventos de inundación y lluvias de gran intensidad

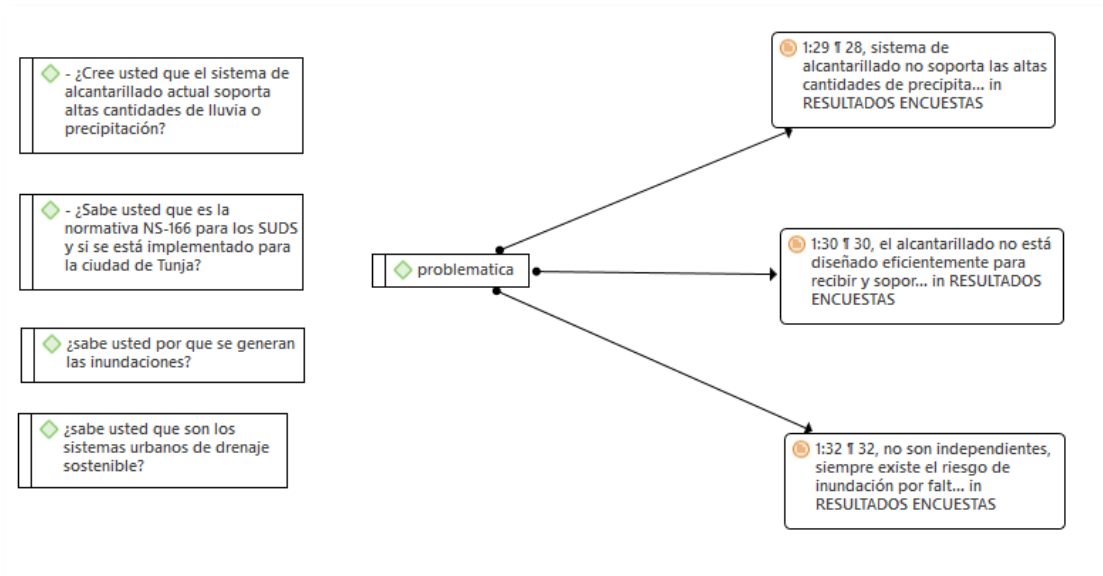
Ilustración 31 DIAGRAMA 2



Fuente: Autor 2023

TIPOLOGÍA: Para el análisis de tipología, los resultados fueron menos eficientes, primero por la poca información de cuáles podrían ser los sistemas que ayuden al mejoramiento de altos niveles de escorrentía y caudal, pero entre las opiniones encontradas, se mencionaron como simples sistemas convencionales, y elementos superficiales, lo cual a nosotros como investigadores, nos causa curiosidad y quizá dudas del por qué, en profesiones en las cuales competen recurso hídrico, sistemas de alcantarillado, no se profundiza en los SUDS, sabiendo que al crecimiento poblacional sigue en crecimiento, y los fenómenos naturales van en aumento, juntos a esto los eventos de precipitación que son los más frecuentes, y esos sistemas son de las soluciones más eficientes para controlar este tipo de problemáticas

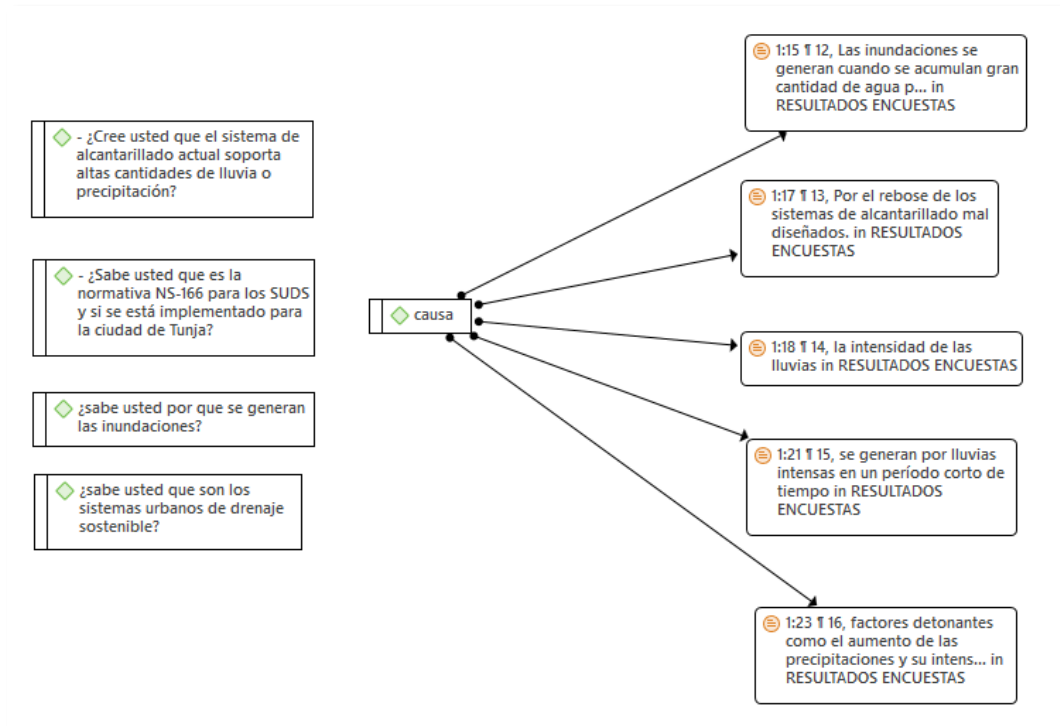
Ilustración 32 DIAGRAMA 3



Fuente: Autor 2023

PROBLEMÁTICA: Para el análisis de la problemática, a través de las encuestas y la esquematización, en la recopilación de información y opiniones, se evidenció que en la mayoría de comentarios se dirigieron a los sistemas de alcantarillado, siendo estos el problema por el cual el recurso hídrico no transita de manera adecuada, eso por qué al aumentar la urbanización, los sistemas ya no presentan la misma capacidad de soportar estos niveles nuevos, y para opinión de los investigadores: la instalación de los sistemas convencionales en periodos antiguos era el adecuado para la gestión esencial del agua que podía recoger en su momento, pero a través del tiempo el crecimiento poblacional, ha generado que las urbanizaciones que constaban de 100 casas, hoy en día sean de 1000, generando una necesidad de mejorar los sistemas de alcantarillado para el soporte de nuevos niveles de escorrentía y picos de caudales por la lluvia

Ilustración 33 DIAGRAMA 4



Fuente: Autor 2023

La obtención de información basados en encuestas que se realizaron a focos grupales, arroja un ponderado de palabras, respuestas similares, e incluso falta de información al no tener claridad del tema, como se encontraron resultados que compilan información de suma importancia en la definición de sistemas urbanos de drenaje sostenible, como se evidencian en el diagrama 1, diagrama 2, diagrama 3, diagrama 4.

La implementación del software Atlas.ti, permitió el análisis de las respuestas acumuladas por profesionales y parámetros específicos, como causa: que fueron las causales para ellos lo que generan las inundaciones, como se acumulan, la identificación de problemas en los sistemas de alcantarillado, los altos niveles de lluvia en lapsos de tiempo cortos; otra parte que nos permite analizar el software es la identificación de problemáticas, cabe recalcar que son opiniones ofrecidas por los entrevistados, como el diseño de sistemas de alcantarillado, y que no soportan de manera adecuada los niveles de lluvia, las tipologías, que fue de los resultados más complicados de obtener, por la poca información de los mismos, y la identificación de parte normativa esencial para la implementación de los SUDS en la ciudad de Tunja.

Resultado del análisis de encuestas

Ilustración 34 Resultados de Encuestas

| Dirección de su vivienda | ¿Sabe por qué se generan inundaciones en el Barrio las Quintas? | ¿Sabe usted como se distribuye las aguas por el alcantarillado del barrio las Quintas? | ¿Estaría dispuesto a reutilizar el agua lluvia para evitar inundaciones? | ¿Qué tan correcta considera usted la gestión del recurso hídrico de su vivienda? | ¿Cuántos años lleva viviendo en el barrio las Quintas? | ¿Recuerda usted la inundación del año 2011 en el sector norte de la ciudad, afectando así al Barrio las Quintas? | ¿ De qué manera cree que las inundaciones afectan las vías y las viviendas? | ¿Cree usted que es necesario un control de las zonas de inundación del barrio las Quintas? | ¿Cree usted que ha mejorado la gestión de inundaciones en el barrio las Quintas a lo largo del tiempo? | ¿Sabe usted que son los sistemas urbanos de drenaje sostenible ? |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| | No | No | Si | Regular | De 5 a 10 años | SI | Arruina estructuras y el mobiliario | SI | SI | NO |
| Transversal 4 46A 65 | Si | No | Si | Regular | De 5 a 10 años | SI | En la circulación vehicular | SI | SI | NO |
| Calle 45 b no 2a 41 | Si | No | Si | Bueno | De 2 a 5 años | SI | Muy grave | SI | NO | NO |
| Calle 45A#4-03 | No | No | Si | Bueno | Menos de 2 años | NO | Bastante es un riesgo grande | SI | SI | NO |
| Calle 45B N 05-19 | Si | No | Si | Bueno | De 5 a 10 años | SI | Destrucción material y vial | SI | SI | NO |
| Cra 2 47-25 | Si | Si | Si | Bueno | De 11 o más años | SI | La inundación no fue en el | SI | SI | NO |
| Transversal 4 #46 A -41 | No | No | Si | Bueno | De 5 a 10 años | SI | | SI | SI | NO |
| Cra 2 A 47 65 | Si | Si | Si | Bueno | De 11 o más años | SI | Levanta el ladrillo de la vía | SI | SI | NO |
| Calle 48#3-59 | No | No | Si | Bueno | De 5 a 10 años | SI | Daña los pavimentos y los pisos | SI | SI | NO |
| Cra 2 #47-127 | No | No | Si | Regular | De 11 o más años | SI | Debilitan la estructura | SI | SI | NO |
| Tranv 4 46 77 | No | No | Si | Bueno | De 2 a 5 años | NO | Se crea lodo y niñera | SI | SI | NO |
| | Si | Si | Si | Regular | De 5 a 10 años | SI | La humedad afecta los | SI | | NO |
| Calle 49#3-25 | No | No | Si | Bueno | De 11 o más años | SI | | SI | SI | NO |
| Carrera 2b 47-42 | No | No | Si | Bueno | De 5 a 10 años | NO | Trae rodeores | SI | NO | NO |

Fuente: Autor 2023

El análisis de encuestas que de primera mano se realizaron estrictamente a la comunidad del Barrio las Quintas, con la ayuda de una gestora de la acción comunal de la localidad, trajo consigo información de mano en la que la mayoría de la población estimando que sean más de 3.500 habitantes (Tunja, 2022), en la zona, la colaboración de las personas fue de menos de 50 habitantes del sector, siendo complejo el análisis de información e interés por la problemática pero la poca información permitió el análisis de si sabían el por qué se generan estos eventos de inundaciones, si es adecuada la gestión del recurso hídrico en las viviendas propias, en si a través del tiempo se ha mejorado el manejo de estos problemas y los sistemas de alcantarillado y primordial, si tenían conocimiento de que eran los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible.

7. Propuesta de implementación de Alcorques Inundables

Ilustración 35 Ubicación de SUDS



Fuente: Autor 2023

Estos alcorques también son ubicados en zonas verdes de uso público, de tal forma que no se generen problemáticas por afectación de a propietarios de lotes.

Por otro lado, con esto se solucionarían los problemas de inundación al reducir en un 50% el agua y la velocidad de llenado del alcantarillado en el barrio las quintas, ya que el agua llegara al vertimiento de forma más controlada y de igual forma los alcorques tienen árboles en su interior, los cuales embellecerán la zona estudiada, a partir de esto la propuesta específica en los puntos seleccionados se brinda ya que el rendimiento de las zonas de mayor afectación pueden mejorar en cuanto al rendimiento y disminuir caudales específicamente en temporadas de altas precipitaciones, si se habla de la reducción de velocidad máxima hídrica no es normalmente considerada en el uso de los SUDS, pero generan que la escorrentía sea un poco más pausada y los sistemas de lluvias soporten estos niveles.

Si se implementan los SUDS se generará una alteración o modificación visuales urbanísticas de la zona de manera benéfica en cuanto a que en costos de viviendas serán crecientes, por otra parte, el re direccionamiento de los sentidos de flujo que no causara empozamientos en las zonas de afectación y evitara problemas para niños, adultos mayores y tránsito vehicular que no pueden identificar estos baches por las manchas de inundación.

Teniendo en cuenta los resultados de la caracterización de la zona y los resultados de la modelación, se procede a calcular la cantidad de agua que cae en la zona tras un a lluvia fuerte durante los 10 min con más milímetros de precipitación, pero con respecto a el caudal de 199.53 L/s que pasa por el nodo 35 al momento de estar saturado en el minuto 150. A continuación, se muestran los cálculos.

$$0.19953 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 60\text{min} * 10\text{min} = 119.718\text{m}^3$$

Teniendo en cuenta que cae un volumen de 119.718 m³ en un tiempo de 10 min es necesario proponer una solución que ayude a disminuir la cantidad de agua que pasa por los diferentes conductos y nudos del modelo de esta forma, se estudia la viabilidad de la instalación de 18 alcorques inundables que tengan la capacidad de 3.375m³, con medidas de 1.5m*1.5m*1.5m para de esta forma alivianar la capacidad del alcantarillado en general.

$$3.375\text{m}^3 * 18 = 60.75\text{m}^3$$

La ecuación anterior de muestra que los 18 alcorques inundables son capaces de contener un volumen de 60.75m³, estas estructuras estarán distribuidas en todo del barrio, pero priorizando las zonas con alto flujo y propensas a ser inundadas. En la siguiente ilustración se muestra la ubicación de los mismos.

Dimensionamiento de los SUDS

Tabla 16 Consideraciones para el diseño

| Consideraciones de diseño de Alcorques Inundables | |
|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Tipo | Descripción |
| Vegetación | Tipología de árbol por encima de capa de sustrato |
| Adecuación del Sitio | Construcción de cunetas y sardineles para la conducción de la escorrentía |
| Elementos de entrada | Vados |
| Disipador de energía (si se requiere) | Enrocados |
| Estructura de pretratamiento (si se requiere) | Filtro de sumideros |
| Estructura de control de flujo y excesos (si se requiere) | Tipo de orificio, culvert, y vertedero de excesos |

Fuente: Elaboración a partir de revisión (centro de investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA) (2017)

La selección de los SUDS para este proyecto, siendo los alcorques inundables, que pueden ser implementados en los andenes o aceras presentes en la ilustración 30, permite el control y la gestión adecuada del manejo de grandes volúmenes de agua y escorrentía, durante grandes periodos de tiempo, para que sea re direccionado a los sistemas de alcantarillado (Perez Hurtado, 2020)

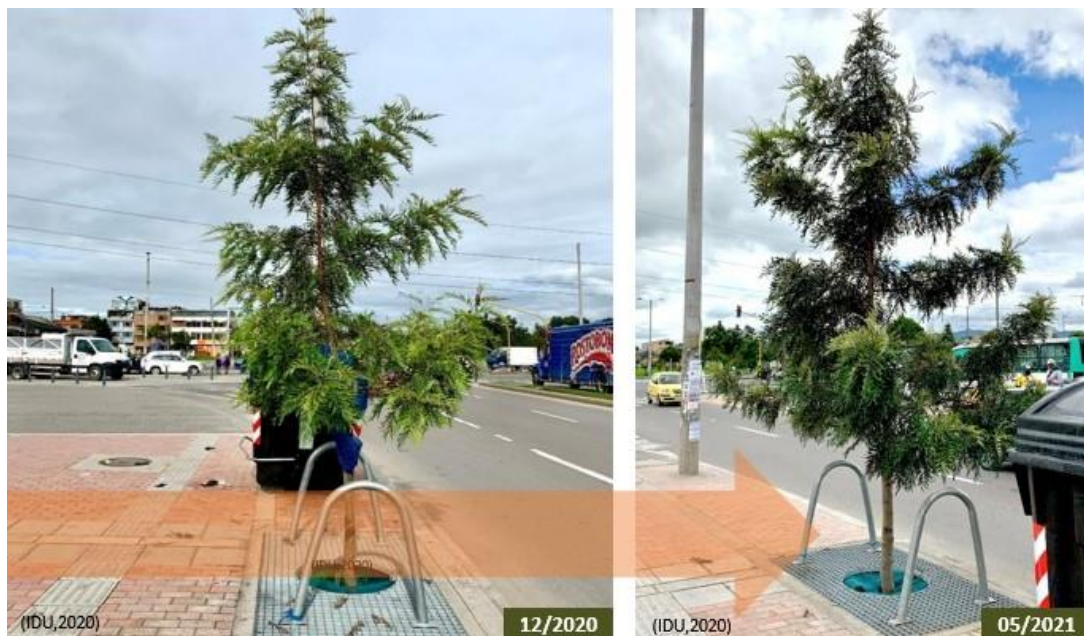
Tabla 17 Dimensiones de Alcorques

| Dimensiones de Alcorques | | | |
|-----------------------------------------|----------|-------------------------------------------------|----------|
| Coeficiente de escorrentía ponderado | de 0.751 | Largo Alcorque (m) | de 2.500 |
| Área de drenaje total (m ²) | 2576.52 | Ancho Alcorque (m) | de 2.200 |
| Profundidad de lluvia (mm) | 20.83 | Numero Tipologías | de 19 |
| Volumen de diseño (m ³) | 40.33 | Profundidad de diseño Alcorque | de 0.950 |
| Número mínimo Tipologías | de 19 | Volumen tratado por Tipología (m ³) | 3.740 |

| | | | |
|-------------------------------------------|-------|--------------------------------|---------|
| V. diseño de tipologías (m ³) | 3.085 | % de volumen de calidad TIPO 1 | 121.216 |
| V. diseño de tipologías (m ³) | 3.636 | % de volumen de calidad TIPO 2 | 102.848 |

Fuente: (Perez Hurtado, 2020)

Ilustración 36 Alcorque Inundable



Fuente: IDU – 2021

8. Conclusiones

- El diagnóstico de condiciones hidro climáticas de un territorio es base fundamental para la toma de decisiones. Por esta razón la información desagregada del sistema de información del IDEAM, es el principal insumo para determinar las dinámicas del proceso hidrológico en una zona. Específicamente en la ciudad de Tunja se cuenta con la estación climatológica UPTC, la cual suministra la información relevante para este tipo de estudios, tales como: precipitación máxima en 24 horas, temperatura, precipitación total.
- Una vez procesada y analizada la información obtenida del IDEAM, se estimaron los caudales de escorrentía aportante por la cuenca aferente a la zona de estudio, a partir de la revisión de información catastral y la implementación del modelo Swmm, se identificó que el sistema de alcantarillado actual en aproximadamente un 30% de los tramos, no cuenta con la capacidad hidráulica de transportar un caudal pico generado por un evento máximo de precipitación con periodo de retorno de 100 años. Por esta razón se generan problemáticas en la zona como: inundaciones que afectan los suelos, las vías e incluso las viviendas que son daños observados en campo y a través de la percepción de la población directamente afectada.
- El cumplimiento de los criterios de planeación urbana para la gestión adecuada de agua lluvia y su verificación partieron de dos fases: la primera fase, fue la verificación en campo en la cual se utilizó el dron para la obtención de la ortofoto, la cual al momento de digitalizar, brindo información útil, de ubicación de pozos de inspección, sumideros, alturas, cotas las cuales se compararon con información catastral suministrada por VEOLIA, con este contraste de información se concluye que hay déficit de información, el catastro del sistema de alcantarillado Barrio La Quintas no está actualizado
- Se caracterizó el Barrio Las Quintas y se determinó las diferentes problemáticas tales como inadecuada ejecución de obras de alcantarillado y la poca gestión de las entidades territoriales al permitir que se construya en zonas aledañas a los ríos y en humedales, de igual forma se presenta una solución que puede amortiguar los problemas anteriormente nombrados.
- El análisis de involucrados se generó a partir de la definición de grupos focales como familias, profesionales, estudiantes, identificando los puntos de vista y el conocimiento que tienen sobre sistemas de drenaje sostenible, de su uso e implementación. Se encontró en cuanto al foco familiar, poco conocimiento respecto al tema de sistemas de drenaje sostenible, pero la identificación de problemáticas en el sector donde residen identificó las entidades competentes que podrían dar solución a la problemática,

asimismo, para los profesionales, el aporte que se tendría si se supiera con más claridad y se tuviera un manual específico de diseño para la ciudad de Tunja, la encuesta al grupo de estudiantes identifica la necesidad de contar con asignaturas que les den el soporte teórico para poder generar propuestas innovadoras para el manejo y aprovechamiento de las aguas de escorrentía

- Para la propuesta de implementación de SUDS, con la tipología de Alcorques Inundables, se estimó que sus unidades para la zona establecida son los adecuados al momento de controlar y gestionar los volúmenes de escorrentía y la retención de grandes cantidades de agua en periodos de precipitación intensa en tiempos constantes, y por la facilidad de construcción de los mismos en aceras o andenes en los puntos seleccionados en el mapa. Se propone la implementación de 18 estructuras de alcorques inundables que almacenarán el 50% de las aguas que van directamente a los alcantarillados, y de esta forma se reduce la posibilidad de que ocurran inundaciones en el barrio, debido a la mala aplicación de las construcciones previamente explicadas en el diagnóstico de la zona..

9. Recomendaciones

La finalidad de estudio de una propuesta para implementar Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), es una iniciativa para no solo concluir que hay que ponerlos en la zona de estudio, si no que da una vista a futuro de que se deberían analizar todas las zonas de una ciudad, en las cuales se generen problemas de inundaciones y contribuir al mejoramiento de la calidad de vida, de salud y seguridad por los daños que generan las mismas en las edificaciones, en los sistemas viales, e incluir normativas de apoyo, que sean soportadas no solo en las entidades gubernamentales si no el aporte social, para evitar que los cambios climáticos y altas precipitaciones, y a partir de esto se toman decisiones para el mejoramiento y adecuada gestión de estos niveles de precipitación y la prevención de inundaciones.

- La obtención de datos como pendiente del terreno, cotas terreno, cotas clave y de batea de las tuberías de alcantarillado, esquema general de la zona, para el procesamiento en distintos programas es esencial para la dinamización de información y el desglose de esta, por tal razón es indispensable que la empresa de servicios públicos adelante una actualización del catastro de redes para que los diseñadores y constructores tengan información actualizada que realmente si sea un insumo en el momento de emprender proyectos constructivos en el barrio.

10. Bibliografía

- Ambiente, S. D. (2017). Plan Local de Arborización Urbana 2017-2020. Bogota.
- Bermudez Valero, M. (2021). SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS) EN AMÉRICA LATINA: ¿UNA SOLUCIÓN BASADA EN LA NATURALEZA CON CRITERIO SOCIAL? Bogotá.
- Betancourt, D. F. (17 de Febrero de 2017). ingenioempresa. Obtenido de <https://www.ingenioempresa.com/analisis-involucrados-marco-logico/#:~:text=El%20an%C3%A1lisis%20de%20involucrados%20es,su%20rol%2C%20participaci%C3%B3n%20e%20impacto.>
- BID. (2013). VALORACION DE DAÑOS Y PERDIDAS . CEPAL.
- Borrero Garcia , Gonzalez Giraldo , & Salazar Vega . (2016). Evaluacion del diseño y monitoreo de Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible. Caso de estudio: avenida Rincon Tabor y Jardin Botanico de Bogota. Bogota.
- Cano Salazar, H. Y. (2021). PREDISEÑO DE UN SISTEMA URBANO DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS) PARA MANEJO DE ESCORRENTÍA EN LA CARRERA 9 ENTRE CALLES 108 Y 112, SECTOR USAQUÉN, BOGOTÁ, COLOMBIA. Bogotá.
- Caro Camargo, C. A., & Gil Alvarado , L. (2019). Estrategias para la gestión del riesgo ante inundaciones en zonas localizadas del municipio de Tunja, Colombia.
- Castro Fresno, D., Rodriguez Bayón , J., Rodriguez Hernandez , J., & Ballester Muñoz , F. (2005). SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS). Scielo.
- Castro Fresno, D., Rodriguez Bayon, J., Rodriguez Hernandez, J., & Ballester Muñoz , F. (2005). Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS). Caracas.

- Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental , C. (2016). Guía técnica de diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Bogotá.
- Colombia. (2012). gov. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=47141#:~:text=Cr%C3%A9ase%20el%20Comit%C3%A9%20Nacional%20para,las%20entidades%20del%20sistema%20nacional.>
- conama. (2018). agua y ciudad sistemas urbanos de drenaje sostenible . madrid .
- Corpoboyaca. (2022). RESOLUCIÓN N° 0634 DEL 26 DE MAYO DE 2006.
- Europea U, & Adelco R. (2013). Manual Desarrollo Económico Local en Colombia. Bogotá: Red Nacional de Agencias de Desarrollo Local de Colombia. Bogotá.
- Franco Calderon, L. J. (2015). Elementos convencionales y no convencionales para la captación del drenaje urbano de aguas lluvias. Bogotá.
- Gamboa Medrano , A. (2014). REVISIÓN DE CRITERIOS DE URBANISMO SOSTENIBLE EN TRES PROYECTOS URBANOS DE BOGOTÁ, UNA APROXIMACIÓN A LOS PRINCIPIOS DE PLANEACIÓN URBANA SOSTENIBLE PARA LA CIUDAD. Bogotá.
- Gamboa Medrano, A. (2014). REVISIÓN DE CRITERIOS DE URBANISMO SOSTENIBLE EN TRES PROYECTOS URBANOS DE BOGOTÁ, UNA APROXIMACIÓN A LOS PRINCIPIOS DE PLANEACIÓN URBANA SOSTENIBLE PARA LA CIUDAD. Bogota.
- Gamboa, A. (2014). Revision de Criterios de urbanismo sostenible en tres proyector urbanos en bogota, una aproximacion a los principios de planeacion urbana sostenible para la ciudad . bogota.
- Gobierno Vasco . (s,f). criterios de sostenibilidad aplicables al planeamiento urbano .
- Grupo Multidisciplinar de Modelacion de Fluidos . (2005). Instagua. Obtenido de http://www.instagua.upv.es/swmm/descargas/Manual_SWMM5vE.pdf
- Huu Loc , H., Minh Duyen, P., Ballatore J, T., My Lan, N. H., & Gupta Das, A. (2017). Applicability of sustainable urban drainage systems: an evaluation by multi-criteria analysis. Springer Link.
- IDEAM. (2008). PROTOCOLOS PARA LA EMISION DE LOS PRONOSTICOS HIDROLOGICOS .

- instagua. (2022). instagua. Obtenido de <http://www.instagua.upv.es/swmm/intro.htm>
- Jimenez, A., & Joya , J. (2015). SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS) COMO GESTIÓN INTEGRAL EN LA REGULACIÓN Y CONTROL DE AGUAS LLUVIAS; CASO DE ESTUDIO SECTOR EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ. Bogotá.
- León , F., & Davila , J. (2020). Catastro para la Paz. Bogotá: Dejusticia.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile . (1996). Tecnicas alternativas para soluciones de aguas lluvias en Sectores Urbanos Guia de Diseño. Chile.
- Mirand , L. M. (2013). Cultura ambiental: un estudio desde las dimensiones de valor, creencias, actitudes y comportamientos ambientales. Scielo.
- Molina Escobar , S. (s.f.). criterios de sostenibilidad como base para la planificacion del territorio. Colombia.
- Patagua. (2021). Ciudades Sensibles al Agua.
- Perez Hurtado, O. F. (2020). USO DE LOS SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS) EN EL MUNICIPIO DE PAIPA.
- Sandoval Leon, C. A. (2015). CASOS EXITOSOS DE SUDS EN CIUDADES CON DENSIDADES DE POBLACION ALTAS, POCAS ZONAS VERDES Y REGIMEN DE LLUVIAS INTENSO. Bogotá.
- Sañudo, Rodriguez, & Castro. (2013). Diseño y Construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). ResearchGate.
- Trapote Jaime , & Rodriguez Fernandez . (2016). Tecnicas de drenaje Urbano Sostenible. Alicante .
- Tunja, A. M. (2022). POT tunja. Obtenido de <https://pot-tunja.gov.co/index.php/barrios/>
- Univesidad de los Andes. (2016). Investigación de las tipologias y/o tecnologias de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) que mas se adapten a las condiciones de la ciudad de Bogota . Bogotá.
- USAQUEN, J. A. (2020). POR EL CUAL SE ADOPTA EL PLAN DE DESARROLLO ECONÓMICO, SOCIAL, AMBIENTAL Y DE OBRAS PÚBLICAS PARA LA LOCALIDAD DE USAQUÉN 2021-2024. Bogota.
- Vega, & Piña. (2015). Sistemas de Control de escorrentia pluvial en Ciudades: Techos verdes vs tanques de almacenamiento. Bogotá .

Ven Te Chow . (1994). Hidrologia Aplicada . NOMOS S.A.

White, R. (2015). UK sustainable drainage systems: past, present and future.
White Rose.