

Implementación de un sistema de drenaje urbano sostenible (SUDS) en el municipio de Nemocón.



Integrantes:

Sara Manuela Forero Corchuelo

Karen Ximena Menjura Suarez

Universidad Piloto de Colombia

Facultad de Ingeniería Civil

Proyecto de Grado

Bogotá D.C. 2024

Implementación de un sistema de drenaje urbano sostenible (SUDS) en el municipio de Nemocón.



Presentado por:

Sara Manuela Forero Corchuelo

Karen Ximena Menjura Suarez

Director:

Ing. Felipe Santamaria Álzate

Universidad Piloto de Colombia

Facultad de Ingeniería Civil

Proyecto de Grado

Bogotá D.C. 2024

Tabla de contenido

I.	Introducción	7
II.	Formulación	<u>8</u>
III.	Justificación.....	<u>8</u>
IV.	Alcance.....	<u>9</u>
V.	Objetivos	<u>9</u>
5.1	Objetivo general	<u>9</u>
5.2	Objetivos específicos	<u>9</u>
VI.	Estado del arte	<u>10</u>
6.1.	Investigaciones Internacionales	10
6.2.	Investigaciones Nacional	<u>13</u>
6.3.	Investigaciones Locales:	<u>16</u>
VII.	Metodología	<u>27</u>
VIII.	Capítulo 1. Contexto territorial	<u>28</u>
8.1	Historia:.....	<u>28</u>
8.2	Localización:	<u>28</u>
8.3	Hidrografía:	<u>30</u>
8.4	Recursos Naturales	31
8.4.1	Flora	31
8.5	Demografía.....	32
8.5.1	Población Total:	32
8.5.2	Estructura de Población por edad:.....	32

8.5.3	Hogares y Vivienda:	32
8.5.4	Tipo de vivienda:	33
8.5.5	Servicios Públicos:	33
8.5.6	Educación:	34
8.5.7	Población Étnica:	34
8.6	Economía:	35
8.6.1	Principales Actividades Económicas:	35
8.7	Infraestructura	36
8.8	Sismología:	37
IX.	Capítulo 2. Evaluación técnica:	<u>40</u>
X.	Capítulo 3. Alternativa: Sistema urbanos de drenaje sostenible (SUDS)	<u>58</u>
10.1.	Definición	<u>59</u>
10.2.	Tipos de tipologías	59
10.2.1	Alcorques inundables:	59
10.2.2	Cuencas secas de drenaje extendido (CSDE):	60
10.2.3	Cunetas verdes:	60
10.2.4	Pavimentos permeables:	61
10.2.5	Tanques de almacenamiento:	61
10.2.6	Zanjas de infiltración:	62
10.2.7	Zonas de bio-retención:	63
XI.	Caso de estudio:	<u>64</u>
11.1	Parque principal	65
11.2	Zona de expansión	66

11.3. Cancha de futbol municipal	68
XII. Estudio hidrológico	70
XIII. Resultados	82
XIV. Conclusiones	83
XV. Recomendaciones	83
XVI. Bibliografía.....	85

Tabla de Figuras

<i>Figura 1- Elaboración propia, datos tomados del SIGOT 2024</i>	<i>29</i>
<i>Figura 2- Elaboración propia, datos tomados de SIGOT 2024</i>	<i>30</i>
<i>Figura 3- Grupos de edad Datos tomados de DANE.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 4 - Número de personas por hogar Datos tomados de DANE.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 5- Servicios públicos Datos tomados de DANE.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 6- Acceso a la educación Datos tomados de DANE</i>	<i>34</i>
<i>Figura 7- Lugar de nacimiento Datos tomados de DANE.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 8- Principales Actividades Económicas Elaborado por Geoportal 2024.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 9- Vías de comunicación. Elaborado por el SIGOT 2024</i>	<i>36</i>
<i>Figura 10- Mapa Valores Aa Elaboración propia, datos tomados de Norma NSR 10</i>	<i>37</i>
<i>Figura 11Mapa Valores Av Elaboración propia, datos tomados de Norma NSR 10.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 12 Mapa Zonas de amenazas sísmicas INTERMEDIA Elaboración propia, datos tomados de Norma NSR 10</i>	<i>39</i>
<i>Figura 13 Elaboración Diagnóstico y análisis y selección de alternativas Tomo II - Sistema de alcantarillado, 2018 pág. 62.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 14. Diámetros internos reales de la red existente Fuente elaborada por Diagnóstico y análisis y selección de alternativas Tomo II - Sistema de alcantarillado, 2018.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 15Pendientes de la red existente Fuente elaborada por Diagnóstico y análisis y selección de alternativas Tomo II - Sistema de alcantarillado, 2018 pág. 120.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 16 Materiales de las tuberías de las redes existentes Fuente elaborada por Diagnóstico y análisis y selección de alternativas Tomo II - Sistema de alcantarillado, 2018.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 17 Cobertura de las redes existentes Fuente elaborada por Diagnóstico y análisis y selección de alternativas Tomo II - Sistema de alcantarillado, 2018.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 18 Elaboración propia. Monumento Sacrificio de los Comuneros Nemocoenses.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 19 Elaboración propia. Fuente del parque principal</i>	<i>64</i>
<i>Figura 20 Elaboración propia. Parque principal.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 21. Elaboración propia. Fuente y monumento Sacrificio de los Comuneros Nemocoenses</i>	<i>64</i>
<i>Figura 22Elaboración propia. Conjuntos residenciales Xoaká Zafiro y Rubí.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 23 Elaboración propia. Conjuntos residenciales Xoaká Zafiro y Rubí.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 24. Elaboración propia Cancha Municipal</i>	<i>66</i>

<i>Figura 25.Elaboración propia Parque Mina de Sal</i>	<i>67</i>
<i>Figura 26 Elaboración propia. Curvas IDF</i>	<i>69</i>
<i>Figura 27Elaboración propia. Zona frente del estadio municipal.</i>	<i>71</i>
<i>Figura 28Elaboración propia. Zona frente del estadio municipal</i>	<i>71</i>
<i>Figura 29 Elaboración propia. Parque principal de Nemocón.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 30 Elaboración propia. Parque mina de sal.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 31 Diseños alcorques. Cancha Municipal – Zona De Expansión</i>	<i>75</i>
<i>Figura 32 Diseño en planta Cancha Municipal.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 33Ampliación detalle diseño alcorque, tanque y rociadores.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 34 Ampliación detalle diseño alcorque y tanque. Zona De Expansión.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 35 . Detalle Diseño zona de bio-retención Parque Principal – Parque Mina de Sal.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 36 Diseño en planta</i>	<i>77</i>
<i>Figura 37 Detalle Zona Fuente Parque Principal</i>	<i>77</i>
<i>Figura 38 Detalle Zona Fuente Parque Mina de Sal</i>	<i>77</i>
<i>Figura 39 Diseño en planta</i>	<i>77</i>
<i>Figura 40 Diseño zona de bio-retención.....</i>	<i>77</i>

I. Introducción

Colombia, es un país con recursos económicos y naturales, se caracteriza por tener una fuente hídrica bastante grande, que a su vez se divide en cuencas a lo largo del país. Dicha riqueza hídrica necesita un manejo óptimo mediante acueductos y alcantarillados, que proporcionen a la población el suministro y la disposición necesaria del agua.

Sin embargo, la distribución del agua en Colombia no es necesariamente equitativa ni igualitaria, esto teniendo en cuenta la variedad de pisos térmicos con los que cuenta el país debido a su ubicación cerca de la línea del ecuador. Asimismo, Colombia se divide en 5 regiones siendo la región Andina la más privilegiada, en donde se encuentran departamentos como Boyacá, Norte de Santander, Santander, Tolima, Huila y Cundinamarca, entre otros.

Si hacemos un análisis más cercano hacia las principales ciudades del país, la cuenca hidrográfica más cercana a la capital del país es la cuenca mayor de Bogotá y la cuenca del río Tibitóc, que ve su esplendor en el municipio de Nemocón, teniendo en cuenta que en este se desarrolla el 85% del río Checua y el 30% del río Neusa.

Al tener un desarrollo tan grande de cuencas hídricas, el municipio de Nemocón tiene la responsabilidad de hacer un manejo de las aguas residuales y pluviales. Hasta el día de hoy, se sigue manejando un sistema combinado, lo que afecta el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) números 6 (agua limpia y saneamiento) y 11 (ciudades y comunidades sostenibles).

II. Formulación

¿Qué tipologías de sistemas de drenaje sostenible son viables para disminuir las afectaciones generadas por un sistema combinado de alcantarillado pluvial en el municipio de Nemocón?

III. Justificación

El municipio de Nemocón presenta una serie de problemáticas generadas por la deficiencia en el manejo de agua pluviales, teniendo en cuenta la infraestructura actual. Adicionalmente, el crecimiento demográfico en los centros urbanos ha intensificado estas afectaciones, convirtiéndolas en una preocupación constante y de mayor magnitud.

Entre las problemáticas más comunes; se encuentra el colapso del sistema, debido a la poca capacidad y al inadecuado diseño de este, ya que este recibe tanto las aguas pluviales como las residuales del municipio, gestión que no se encuentra actualizada conforme a los últimos conceptos emitidos por el gobierno nacional en el RAS 0330 de 2017.

Considerando todo lo anterior, se sugiere la implementación de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), exigidos en las últimas modificaciones realizadas mediante las resoluciones 799 y 908 de 2021, como un mecanismo complementario para el sistema de drenaje municipal, con la finalidad de solucionar diversas problemáticas relacionadas con las aguas pluviales

IV. Alcance

El presente proyecto tiene como alcance definir y proponer el diseño de dos diferentes tipologías de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), consideradas las más adecuadas para su implementación en cuatro zonas del municipio de Nemocón, generando así el cumplimiento con lo estipulado en el recopilatorio de las nuevas resoluciones de la norma RAS 0330 de 2017.

V. Objetivos

5.1 Objetivo general

Evaluar el sistema de alcantarillado pluvial del municipio de Nemocón mediante un análisis técnico, para la implementación de un sistema de drenaje urbano sostenible (SUDS)

5.2 Objetivos específicos

1. Recopilar información de diferentes fuentes sobre las condiciones actuales del municipio de Nemocón.
2. Validar técnicamente el estado actual del alcantarillado pluvial del municipio de Nemocón, considerando la normativa vigente y sus nuevas modificaciones establecidas en la Resolución 330 de 2017, así como las modificaciones introducidas por la Resolución 799 de 2021 y la Resolución 908 de 2021.
3. Proponer una solución viable y técnicamente fundamentada para el sistema de alcantarillado del municipio de Nemocón, enfocándose en la implementación de un sistema de drenaje urbano sostenible (SUDS), garantizando su eficiencia y cumplimiento con la normativa vigente.

VI. Estado del arte

6.1. Investigaciones Internacionales

Artículo: “Sustainable Urban Drainage System (SUDS) modeling supporting decision-making: A systematic quantitative review”

El artículo “Sustainable Urban Drainage System (SUDS) modeling supporting decision-making: A systematic quantitative review”, destaca que los SUDS están diseñados para reducir los impactos de la urbanización en la hidrología, especialmente en la gestión de las lluvias. Funcionan como complemento a los sistemas de alcantarillado convencionales, brindando diversos beneficios tanto ambientales como sociales. Estos sistemas son también conocidos en el ámbito de Mejores Prácticas de Gestión, Infraestructura Verde, Desarrollo de Bajo Impacto y/o ciudades esponja, entre otras denominaciones.

A medida que surgen nuevos desafíos, los SUDS evolucionan continuamente, ofreciendo soluciones innovadoras para la gestión sostenible de las aguas pluviales. Para lograr una implementación efectiva, este documento presenta un estudio en el cual investigar los modelos de SUDS, integrando otros enfoques para evaluar costos, beneficios económicos y otros aspectos dando a conocer los modelos DSS, que tienen como objetivo facilitar la toma de decisiones considerando factores claves. Estos modelos deben actualizarse constantemente según los avances que se produzcan en el país o en el lugar donde se implementen, y también deben de prever los posibles impactos ambientales. Estos modelos se dividen en herramientas evaluativas que analizan los aspectos económicos, sociales, ambientales, el ciclo de la vida y la salud. (Ferrans, 2022)

Artículo: **“Combined sewer overflow mitigation through SUDS - A review on modelling practices, scenario elaboration, and related performances”**

El artículo “Combined sewer overflow mitigation through SUDS - A review on modelling practices, scenario elaboration, and related performances” explica temáticas enfocadas en las problemáticas que pueden llegar a generarse a partir de un sistema combinado de alcantarillado en áreas urbanas, este sistema normalmente tiende a fallar y ocasionar problemas de contaminación de cuerpos de aguas aledaños, y problemas en la salud pública.

El uso de SUDS podría representar una solución sostenible para mitigar dichas problemáticas, la única condición para el buen funcionamiento son las condiciones climáticas y urbanísticas del sitio donde se implementen, por tanto, es importante la fase de diseño que se muestra en dicho estudio.

Entre los resultados obtenidos en las simulaciones de este artículo, se logró llegar a la conclusión que los SUDS pueden ser una solución efectiva, y que los factores que más hacen variar su desempeño son el tipo de suelo, la topografía y la metodología con que se implementan. (Montoya-Coronado et al., 2024)

Artículo: **“Evolutionary and holistic assessment of green-grey infrastructure for CSO reduction”**

El artículo explora las problemáticas de las descargas de sobre flujo combinado (CSO) que ocurren en sistemas de alcantarillado combinado, luego de lluvias intensas; así mismo verifica las afectaciones medioambientales que pueden surgir del desbordamiento de un sistema combinado;

el artículo destaca el uso de tanques de retención y la expansión de estos como posible solución al problema, dichas soluciones en la actualidad según el artículo reciben el nombre de soluciones con infraestructura gris.

Sin embargo este artículo muestra la opción de hacer uso de los SUDS como infraestructura verde, que en conjunto con las infraestructura gris, puedan dar un manejo mucho más amplio en cuanto capacidad y mucho más verde en cuanto a sostenibilidad de los proyectos, para lograr dicho convergencia entre ambas infraestructuras el artículo hace uso de simulaciones y moldeados que permiten previsualizar el usos combinado de sistemas y así adoptar las ventajas de ambos y mitigar las desventajas entre sí. (Alves et al., 2016)

Artículo: **“Sistemas De Drenaje Urbano Sostenible”**

Los países enfrentan dos problemáticas comunes; la escasez de agua y la contaminación ambiental. Estas cuestiones se agravan con el crecimiento poblacional, lo que resulta en que los sistemas de drenaje no pueden manejar adecuadamente las aguas lluvias, poniendo en duda la eficacia de los sistemas de drenaje urbano existentes. Para abordar este desafío, el documento “Sistemas De Drenaje Urbano Sostenible” propone la implementación de ciudades esponjas en diferentes países. Las ciudades esponjas se basan en la construcción de comunidades, espacios verdes y edificaciones urbanas con el objetivo de controlar las inundaciones urbanas, teniendo en cuenta un enfoque en los recursos hídricos, la conservación del agua y los aspectos ambientales.

Entre las soluciones propuestas se encuentran las cubiertas ajardinadas, los pavimentos permeables, los espacios verdes hundidos y los jardines de agua lluvia, entre otros. Además de mejorar el control del agua, estas soluciones también embellecen la ciudad y optimizan el sistema de drenaje antiguo. (Zeyu Xue, s/f)

Artículo: “Not all SuDS are created equal: Impact of different approaches on combined sewer overflows”

Este artículo analiza la incidencia que tienen los métodos de implementación y de diseño de los SUDS, teniendo en cuenta las capacidades de los territorios donde se instalan, hace hincapié en que el buen estudio previo, hace buenos diseños y enfatiza en que el uso de varios SUDS en la generación de un único sistema es una opción mucho más viable que solo usar un tipo de SUDS.

También hace el análisis de la implementación de tanques de bio-retención, pavimentos permeables y estanques de retención, en un mismo sistema para evidenciar cómo se afectan los niveles de escorrentía y la mejora de la calidad de agua. (Joshi et al., 2021)

6.2. Investigaciones Nacional

Documento: “Definición de un procedimiento para la planeación de sistemas de drenaje sostenibles y flexibles en cuencas urbanas en expansión”

El documento “Definición de un procedimiento para la planeación de sistemas de drenaje sostenibles y flexibles en cuencas urbanas en expansión” describe que los sistemas de drenaje sostenibles están divididos en cuatro categorías: cantidad de agua, calidad de agua, esparcimiento y biodiversidad. Estas infraestructuras se clasifican en tres grupos principales, el primero incluye la desconexión de áreas impermeables, como franjas de pasto, pavimentos permeables y zanjas de pasto, el segundo grupo se refiere a las infraestructuras de infiltración, como pozos, zanjas, celdas de bio-retención y filtros de arena, el tercer grupo se centra en las infraestructuras de almacenamiento, con elementos como estanques humedales y tanques.

El caso de estudio presentado es el municipio de La Estrella, en el departamento de Antioquia, donde los SUDS seleccionados incluyen tanques de almacenamiento, techos verdes, celdas de bio-retención y pavimentos permeables. Sin embargo, se menciona que cada espacio puede requerir de más tipologías como complemento. La implementación de estos sistemas permite que el drenaje sea flexible y adaptable, facilitando la gestión de la escorrentía, la infiltración del agua y la regulación de su cantidad.

Para la optimización, el estudio utiliza un software de modelación hidrodinámica que emplea algoritmos como NSGA-II, lo cual permite optimizar las infraestructuras de drenaje sostenible. Esta optimización se divide en dos áreas principales: la cantidad y calidad de agua y los costos de operación y mantenimiento de los SUDS. (Botero,2018)

Artículo: “Guía Metodológica Para La Formulación E Implementación De Sistemas Urbanos De Drenaje Sostenible”

Este documento denominado “Guía metodológica para la formulación e implementación de Sistema Urbanos de Drenajes Sostenibles” tiene como objetivo resaltar la importancia y brindar conocimiento sobre los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).

A lo largo del tiempo el crecimiento de la población y la expansión urbana han ido en aumento, lo que ha traído como consecuencia un incremento en la cantidad de agua superficial. Este fenómeno ha sobrecargado los sistemas de drenaje existentes, los cuales ya no son suficientes para manejar el volumen de agua generado.

Ante esta situación, es necesario implementar nuevas metodologías que ayuden a gestionar

de manera eficiente el exceso de agua superficial. Entre estas metodologías se encuentran los SUDS, los cuales tienen como función principal la regulación, mejora y reutilización del agua.

Asimismo, los SUDS contribuyen significativamente a la adaptación al cambio climático, a la gestión de desastres y a la prevención de inundación, minimizando así las problemáticas asociadas a la gestión del agua. Los SUDS se dividen en diferentes tipos, esta guía proporciona características específicas que indican cómo deben de construirse, como debe de ser el mantenimiento, y cómo debe llevarse a cabo su diseño y planificación. Estas directrices son fundamentales para garantizar la eficacia y durabilidad de los SUDS en la gestión del agua urbana. (Min. Vivienda, 2022),

Documento: “Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS en virtud de lo establecido en la Resolución 330 de 2017 y modificaciones realizadas mediante la expedición de la Resolución 799 de 2021 y Resolución 908 de 2021”

El reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico es un punto fundamental para la viabilidad del cumplimiento de normas establecidas por la resolución expedidas, es por esto por lo que, el artículo “*Compilatorio del Ras 0330*” la Resolución en cuestión tiene como objetivo establecer un conjunto de normas que aseguren la calidad y sostenibilidad de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo. Esta normativa es una herramienta fundamental para evaluar el cumplimiento municipal, ya que detalla los requisitos técnicos en cada etapa de los proyectos, desde la planeación hasta la rehabilitación. Específicamente, los artículos mencionados en el capítulo II, establecen directrices precisas para evaluar si las acciones municipales en relación con la infraestructura pluvial y el alcantarillado

cumplen con las disposiciones técnicas vigentes. Así, se puede verificar si las acciones tomadas por el municipio de Nemocón en estas áreas cumplen con los requisitos de calidad, seguridad y eficiencia establecidos por la normativa vigente, lo que contribuye a mantener los recursos hídricos intactos y mejorar la calidad de vida de la comunidad. (Compilatorio del RAS, 2021)

6.3. Investigaciones Locales:

Documento: “Diagnóstico y análisis y selección de alternativas Tomo I – Generalidades”

El documento "Diagnóstico y análisis y selección de alternativas Tomo I - Generalidades" tiene como finalidad situar el proyecto en el contexto regulatorio, tratando aspectos claves del municipio como la hidrografía, los recursos naturales, la flora, la infraestructura previamente existente y también la sismología. Al evaluar estos factores, nos aseguramos de que las opciones presentadas para el sistema de alcantarillado sean tanto técnicamente viables como respetuosas con el medio ambiente, cumpliendo completamente con los requisitos establecidos por la legislación actualmente vigente. Este enfoque completo garantiza que el proyecto se lleve a cabo de forma sostenible, tomando en cuenta las características específicas del entorno local. (Diagnóstico y análisis y selección de alternativas Tomo I - Generalidades, 2018)

Documento: “Diagnóstico y análisis y selección de alternativas Tomo II - Sistema de alcantarillado.”

El documento “*Diagnóstico y análisis y selección de alternativas Tomo II - Sistema de alcantarillado*” establece que el marco normativo para el presente estudio se enfoca en diagnosticar y analizar alternativas para el sistema de alcantarillado del municipio de Nemocón, está establecido por la Resolución que regula los requisitos técnicos de la infraestructura de servicios públicos

domiciliarios. El análisis se basa en esta que establece criterios normativos para la planeación, diseño, construcción y operación de sistemas de alcantarillado. (Diagnóstico y análisis y selección de alternativas Tomo II -Sistema de alcantarillado, 2018)

Documento: “Ficha técnica: Censo del DANE 2018.”

De acuerdo con la ficha técnica del municipio de Nemocón del DANE 2018, la demografía de Nemocón muestra una tendencia similar a la del país en general, donde la composición por edades afecta tanto a la formación de hogares como al tipo de vivienda más común. En Nemocón, los servicios públicos y los niveles de educación también muestran patrones similares a los que se observan en todo el país. Es fundamental comprender las dinámicas locales, como el crecimiento económico y la demanda de servicios en este municipio, especialmente en un contexto de urbanización y desarrollo regional. Estos factores, sumados a la composición étnica de la población, son cruciales para obtener dicho entendimiento. (DANE, 2018)

Artículo: “Guía técnica de diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)”

En particular este documento denominado “Guía técnica de diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)” se centra en las siete mejores opciones de Sistemas Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS) para el caso de Bogotá. Estas opciones incluyen los alcorques inundables, las cunetas verdes, los pavimentos permeables, los tanques de almacenamiento, las zanjas de infiltración y las zonas de bio-retención. Además de detallar estas alternativas, el documento proporciona criterios de diseño, definiciones y guías de mantenimientos para cada uno de los SUDS. Cada una de las siete opciones es descrita en detalle, abarcando

aspectos como su funcionalidad, diseño y otros elementos relevantes.

Según esta guía, los SUDS son sistemas alternativos de drenaje para el manejo de aguas pluviales, que permiten la reducción los efectos de inundaciones al promover la infiltración, mejorar la calidad del agua e incentivar la creación de zonas verde y el paisajismo. Asimismo, se describe los principales beneficios de los SUDS, que incluyen el manejo efectivo de la esorrentía, la reducción de contaminantes, la promoción de diseños sostenibles la disminución de costos de mantenimientos y la preservación de cuerpos de aguas naturales (CIIA, 2017)

Artículo: “Desarrollo de herramientas para el registro y seguimiento de SUDS: Caso de estudio alcorques inundables ubicados en la Calle 132 con Avenida Ciudad de Cali, en la ciudad de Bogotá”

Bogotá ha implementado distintos Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles (SUDS) a lo largo de la ciudad; sin embargo, la mayoría de estos no son monitoreados adecuadamente, tal como lo indica en el documento “Desarrollo de herramientas para el registro y seguimiento de SUDS: Caso de estudio alcorques inundables ubicados en la Calle 132 con Avenida Ciudad de Cali, en la ciudad de Bogotá”.

El monitoreo de estos SUDS es crucial para mantener un control constante sobre su operación, mantenimiento y funcionamiento en general. Este seguimiento permite realizar inspecciones periódicas que aseguran que los SUDS estén operando correctamente y cumpliendo con sus objetivos. En cuanto al mantenimiento, se distingue entre el mantenimiento regular, que se lleva a cabo con mayor frecuencia, y el ocasional, que se realiza de manera periódica. Adicionalmente, se contempla el mantenimiento correctivo, que se enfoca en resolver problemas específicos que pueden surgir en el sistema. El caso de estudio que se aborda Enel documentos son

los primeros tres alcorques inundables en Bogotá, construidos en 2019 y ubicados en la calle 132 con avenida Ciudad de Cali. Estos sistemas con una apariencia similar a la de los árboles, tiene como objetivo descargar, tratar y absorber el agua lluvia.

Finalmente, el documento presenta dos herramientas para el registro y seguimiento de los SUDS, las cuales permiten tener un mayor control sobre estos sistemas, mejorando tanto su apariencia como su funcionalidad. (Puentes, 2024)

Artículo: “Propuesta Para La Implementación De Sistemas Urbanos De Drenaje Sostenibles (SUDS) En La Ciudad De Tunja Boyacá”

Las inundaciones en diferentes ciudades, municipios y pueblos de Colombia han tenido una repercusión significativa en los últimos años. Esto se evidencia en el documento “Propuesta Para La Implementación De Sistemas Urbanos De Drenaje Sostenibles (SUDS) En La Ciudad De Tunja Boyacá.”, que aborda de manera puntual la situación en la ciudad de Tunja, Boyacá. En Tunja, se han presentado numerosas inundaciones en los últimos años, especialmente en las zonas bajas, lo que se debe a diversos factores relacionados con la alteración del ciclo hidrológico.

Para dar una solución a esta problemática, el documento propone la implementación de diferentes Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en Tunja, siguiendo las directrices de la norma técnica NS-166 de 201. Esta norma menciona varios tipos de SUDS, entre los que se incluyen los alcorques inundables, las cuencas secas de drenaje extendido, las cunetas verdes, los tanques de almacenamiento, los pavimentos permeables y las zonas de bio-retención. Todos estos sistemas no solo ayudan a disminuir las inundaciones en las zonas bajas de la ciudad, sino que también contribuyen a mejorar significativamente tanto la apreciación del paisajismo como la utilidad y la eficiencia de los sistemas, abordando de manera efectiva las problemáticas causadas

por los eventos de lluvias. (Bertrand, 2022)

Documento: “Descripción de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible como estrategia para la mejora de la calidad de vida humana y prevención de inundaciones”

El documento “Descripción de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible como estrategia para la mejora de la calidad de vida humana y prevención de inundaciones” menciona como a lo largo de los años, la urbanización ha afectado el entorno debido al aumento de la escorrentía, un problema que actualmente se presentan en muchas ciudades, incluida Bogotá. Esto se debe en gran parte a la disminución de la cobertura vegetal lo que tiene como consecuencia la reducción de la infiltración de aguas lluvias. Bogotá y otras ciudades cuentan con tres sistemas de alcantarillado: pluvial, sanitario y mixto, se destaca en este documento que el sistema mixto es el más afectado, ya que recibe tanto aguas residuales como aguas pluviales, lo que provoca su colapso durante lluvias intensas.

El objetivo principal de este documento es analizar los sistemas de drenaje sostenibles (SUDS) como una solución para prevenir inundaciones y mitigar el problema anteriormente mencionado. Este explica cómo estos sistemas ofrecen beneficios, como los tanques secos que almacenan temporalmente parte de la escorrentía, y los estanques húmedos que reducen los caudales máximos durante temporadas de lluvias. Otros ejemplos que mencionan son las cisternas y barriles que recolectan agua lluvia, las bóvedas que realizan pretratamientos del agua y los humedales tanto artificiales como naturales que ayudan a almacenar y tratar el agua teniendo en cuenta la vegetación.

Los sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS) presentan varias ventajas, como la mejora de la calidad de la vida, la salud pública, la agricultura y la interacción social, lo que contribuye al embellecimiento del espacio público. En cuanto a los beneficios ambientales, estos sistemas mejoran la calidad del agua, reducen la contaminación y recargan los acuíferos subterráneos y minimizan el riesgo de inundaciones. Sin embargo, también existen desventajas, como la falta de datos hidrológicos para saber su correcta implementación y la falta de mantenimiento y conocimiento de algunos sistemas.

En Bogotá esta implementación se observa en el Parque Metropolitano Simón Bolívar que cuenta con un estanque húmedo y en el Parque Metropolitano Timiza que posee un lago artificial, y, además, de algunos proyectos desarrollados por la empresa Groncol. (Córdoba, 2016)

Documento: “Análisis de sistemas urbanos de drenaje sostenible para la reutilización del agua lluvia en la facultad tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas”

El documento “Análisis de sistemas urbanos de drenaje sostenible para la reutilización del agua lluvia en la facultad tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas” señala que uno de los factores clave para el desarrollo del proyecto es conocer las condiciones climáticas de la zona, en este caso, la localidad Ciudad Bolívar de Bogotá. Además, enfatiza la importancia de comprender el sistema actual y la infraestructura existente. El proyecto se dividió en dos fases: la primera consistió en la recolección de información relevante, como la topografía y las condiciones climáticas; y la segunda, en el análisis de los Sistemas Urbanos de drenaje Sostenible (SUDS), con un enfoque en sus características, parámetros, y normativas, con el objetivo de

proyectar el volumen del agua potable que la universidad podría ahorrar y establecer una estimación de costos y presupuesto para su implementación.

El documento también menciona que, debido a la actual escasez del agua, este recurso ha cobrado una gran relevancia, al ser esencial para la vida humana. Por ello, se han investigado diversos sistemas que faciliten su captación, distribución y aprovechamiento. Como ejemplo, señala la implementación de los Sistemas Urbanos de drenaje Sostenible (SUDS), considerados como una solución eficaz que ha ganado popularidad en países del centro y norte de Europa, donde su uso ha sido exitoso. En Bogotá desde el 2009, se han llevado a cabo estudios para la implementación de SUDS, destacando su capacidad para abordar tres pilares fundamentales: el manejo adecuado de la escorrentía, la mejora de la calidad del agua lluvia, y el embellecimiento de la ciudad.

En cuanto al diseño de los SUDS, se refiere la norma NS-166 de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, que establece los lineamientos para su diseño e incluye diversas tipologías, tales como cuencas secas de drenaje extendido, tanques de almacenamiento, zonas de bio-retención, alcorques inundables, zanjas de infiltración, y pavimentos permeables, entre otros. Cada uno de estos sistemas, contribuyen a los tres pilares mencionados anteriormente. Para la implementación de estos sistemas se deben tener en cuenta por normas como el decreto 1076 de 2015, la resolución 1207 de 2017, la ley 373 de 1997, la ley 142 de 1994, el decreto 302 de 2000 y el decreto 3930 de 2010.

El documento se enfoca en un estudio realizado de la sede tecnológica de la Universidad

Distrital Francisco José de Caldas, ubicada en la localidad de Ciudad Bolívar. Para el año 2022, dicha sede contaba con un sistema de drenaje convencional, pero no se aprovechaba el agua de lluvias. Tras los estudios hidrológicos, el predimensionamientos y la selección de la tipología de SUDS más adecuada, se determinó que la mejor opción es utilizar las cubiertas existentes para la captación de agua, las bajantes como sistemas de conducción y tanques de almacenamiento como la solución SUDS seleccionada. Este sistema, respaldado por otros estudios, proyecta un ahorro económico para la universidad. (López,2022)

Artículo: **“Building flood-resilient cities by promoting SUDS adoption: A multi-sector analysis of barriers and benefits in Bogotá, Colombia”**

El artículo “Building flood-resilient cities by promoting SUDS adoption: A multi-sector analysis of barriers and benefits in Bogotá, Colombia” analiza, a través de encuestas y estudio enfocados en la ciudad de Bogotá, el alcance de los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) desde cuatro perspectivas: el sector público, los desarrolladores urbanos, una organización privada y miembro de la comunidad.

A lo largo de los últimos años, se han presentado varias situaciones de inundaciones debido al cambio climático y fenómenos como el niño y la niña, que han incrementado las lluvias y afectado a la población, provocando daños económicos, infraestructurales y ambientales. Para mitigar estos desastres, el estudio explora los SUDS, los cuales no solo mejoran la calidad del agua lluvia, sino que también proporcionan beneficios en términos de comodidad y biodiversidad. El documento cita ejemplos como los tanques de almacenamiento, los techos verdes y los sistemas

de recolección de aguas lluvias como las tipologías más comunes en áreas urbanas. Asimismo, para las zonas con más espacio verde, se mencionan sistemas como canales de bio-retención, los humedales artificiales, las cuencas secas extendidas y las zonas de infiltración, destacando que la implementación de estos depende del tipo de suelo, el tamaño del área y las conexiones disponibles.

Sin embargo, el estudio identifica varios obstáculos para la implementación de estos sistemas, los cuales se dividen en 6 categorías: Culturales y/o conductuales, organizacionales, financieras, institucionales, políticas y técnicas y/o urbanas. Este estudio fue realizado en Bosa en la ciudad de Bogotá con la participación de 13 personas, el cual concluye que existe una gran falta de conocimiento general sobre los SUDS, además de una escasa apropiación comunitaria, insuficiencia de recursos financieros y falta de voluntad política, dando como resultado la dificultad de la implementación de los SUDS.

Finalmente, se recomienda la implementación de evaluaciones económicas de los beneficios de los SUDS, la exploración de otros campos demográficos y el desarrollo de diferentes modelos que faciliten su adopción (Ortega, 2023)

Documento: “Evaluación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible para mitigar los efectos de Inundaciones Pluviales en la cuenca Palogrande, ciudad de Manizales”

El documento “Evaluación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible para mitigar los efectos de Inundaciones Pluviales en la cuenca Palogrande, ciudad de Manizales” expone que,

aunque los SUDS se han implementado en diversos lugares, no se ha registrado una implementación significativa en cuenca urbanas de alta o media montaña. Los SUDS son una solución que busca mitigar problemas relacionados con las aguas pluviales, como inundaciones y daños en infraestructuras.

En el caso de estudio de la cuenca Palogrande, ubicada en la ciudad de Manizales, donde se han registrado varias inundaciones en los últimos años, se implementaron depósitos de lluvias con el objetivo de atenuar y capturar la esorrentía. Estos depósitos presentan características favorables, como permitir el uso de agua lluvia para fines domésticos no potables. Además, se describen como un sistema sencillo y de bajo costo, aunque en algunos casos requieren sistemas adicionales para su funcionamiento óptimo, lo que puede complicar su implementación.

El estudio presenta cálculos realizados con barriles entre 500 y 2000 litros en tres escenarios diferentes, y en uno de ellos se incluye la implementación de celdas de bio-retención, esta tipología adicional tiene como objetivo reducir el volumen de esorrentía, aunque su principal desventaja es que requiere un mantenimiento constante.

Tras el estudio, se concluye en que los depósitos de lluvias representan una buena alternativa para mitigar inundaciones en el caso de la cuenca de Palogrande. (Jiménez, 2020)

Documento: “Evaluación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible -SUDS- de pequeña escala. Caso de estudio quebrada El Guamo”

El documento “Evaluación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible -SUDS- de pequeña escala. Caso de estudio quebrada El Guamo” presenta un análisis de la situación de

Manizales, una ciudad con altas pendientes, que ha visto un aumento en la urbanización, lo cual ha reducido la cobertura vegetal y aumentado las áreas impermeables. Estos factores, junto con la modificación de las condiciones topográficas debido a la expansión urbana, han contribuido a la ocurrencia de varios eventos de inundaciones y deslizamientos, como el registrado en 2011. Ante estos desastres, el sistema de drenaje convencional no ha sido suficiente para manejar el caudal y la recolección de aguas, lo que ha generado inundaciones.

El documento también menciona que en el 2009 se realizaron los primeros estudios de SUDS en Colombia, en los cuales se presentaron diferentes normativas para su implementación, como el Plan de Ordenamiento Territorial (POT). También se tuvo en cuenta las directrices de entidades como la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá (EAAB) y la secretaria Distrital de Ambiente (SDA). Los SUDS tienen como objetivo principal reducir la velocidad y la cantidad de escorrentía, ayudando así a mitigar los riesgos de inundación. Entre los beneficios de los SUDS se encuentran la protección de la calidad de las aguas subterráneas, la regulación del flujo natural, el abastecimiento de agua y la creación de espacios urbanos más atractivos. Algunos ejemplos de SUDS incluyen los techos verdes, sistemas de infiltración, franjas de filtración y cunetas verdes.

El caso de estudio se centra en la cuenca de la quebrada El Guamo, ubicada en Manizales. En tres sectores específicos, se seleccionaron los jardines de lluvias y los alcorques como las mejores soluciones, basándose en las características de cada sector, con el espacio público disponible y el volumen de las inundaciones registradas. (Ocampo, 2023)

VII. Metodología



VIII. Capítulo 1. Contexto territorial

8.1 Historia:

Nemocón, cuyo nombre significa "Lamento de guerrero," ha sido un lugar de importancia histórica y económica desde tiempos precolombinos. Conocido por sus ricas minas de sal gema, que han sido explotadas desde la época de los antiguos habitantes del conglomerado Chibcha, Nemocón se convirtió en un centro vital para la región. Aunque la fecha exacta de su fundación es incierta, se sabe que, en 1537, los primeros exploradores españoles encontraron una población próspera, impulsada por la riqueza de sus recursos minerales y la fertilidad de sus tierras. (Diagnóstico y análisis y selección de alternativas Tomo I - Generalidades, 2018)

8.2 Localización:

Nemocón es un municipio situado en el departamento de Cundinamarca, dentro de la provincia de Sabana Centro, la cual forma parte de la Cuenca Alta del Río Bogotá. (Google Earth, s.f.).

El municipio de Nemocón tiene determinantes geográficas y ambientales importantes que corresponden a su ubicación en el norte de la Cordillera Andina, hace parte del altiplano Cundiboyacense. Su cabecera municipal está localizada a los 5° 03' 58" de latitud norte y 73° 52' 30" de longitud oeste. (Google Earth, s.f.)

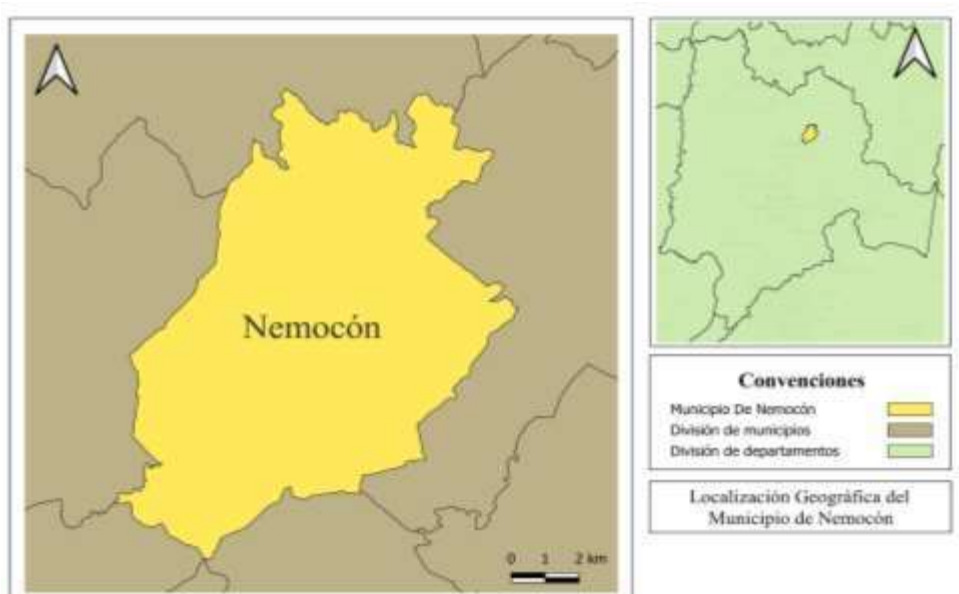


Figura 1- Elaboración propia, datos tomados del SIGOT 2024

El municipio limita por el norte con los Municipios de Cucunuba y Tausa, por el oriente con el Municipio de Suesca, por el Sur con los Municipios de Gachancipá y Zipaquirá y por el Occidente con el Municipio de Cogua, y los ríos Neusa y Checua. (Google Earth, s.f.)

Límites y Comunicación Vial

Norte: Limita con los municipios de Tausa.

Oriente: Limita con el municipio de Suesca.

Sur: Limita con los municipios de Gachancipá y Zipaquirá.

Occidente: Limita con el municipio de Cogua



Figura 2- Elaboración propia, datos tomados de SIGOT 2024

8.3 Hidrografía:

La hidrografía se enfoca en estudiar las propiedades, la circulación y la distribución del agua tanto en la superficie terrestre como en el subsuelo. El agua es crucial para todos los procesos vitales, incluyendo la producción y extracción de materiales, y es el recurso básico que sostiene todos los ecosistemas.

El municipio de Nemocón se encuentra dentro de la cuenca mayor del Río Bogotá, específicamente en la subcuenca del Río Tibitóc. Dentro de su territorio, se identifican dos subcuencas principales: “La del Río Checua, que cubre 8.334 hectáreas, lo que representa el 85% del municipio, y la del Río Neusa, que abarca 311 hectáreas, equivalente al 30% del total municipal”. (Diagnóstico y análisis y selección de alternativas Tomo I - Generalidades, 2018)

Para evaluar los caudales en el área de la estación, se recopiló información pertinente que identifica la estación representativa en la región, detallando su ubicación y características de elevación, las cuales fueron utilizadas para la identificación de la zona del proyecto. (Diagnóstico y análisis y selección de alternativas Tomo I - Generalidades, 2018)

8.4 Recursos Naturales

8.4.1 Flora

La zona rural de Nemocón es hogar de bosques nativos que incluyen especies como tuno, tiraba, arrayán, cedro, nogal, rastrojo, cucharo, ciro, quiche, cardil, romero, helecho, hayuelo, salvia, rodano y matas de monte. No obstante, muchas de estas especies han desaparecido, principalmente por la tala de árboles y la erosión en ciertas áreas de las veredas. “El IGAC-SIGOT 2013 reporta 861 Hectáreas de Bosques como áreas de conservación y protección.” (Diagnóstico y análisis y selección de alternativas Tomo I - Generalidades, 2018)

8.5 Demografía

El crecimiento poblacional de Nemocón, según los datos del censo del DANE, revela una tendencia demográfica que no solo incrementa el número de habitantes, sino que también modifica la composición por edad de la población. Este informe presenta un análisis detallado de las estadísticas más recientes, destacando factores clave como la distribución de la población por género, la diversidad étnica, y las condiciones de vivienda. Estos datos proporcionan una base sólida para comprender las dinámicas actuales del municipio y anticipar los desafíos futuros en términos de infraestructura y calidad de vida.

8.5.1 Población Total:

Total, de Población: 13,171 habitantes.

Distribución por género: 6,036 hombres y 6,162 mujeres.

8.5.2 Estructura de Población por edad:

El porcentaje de la población según la estructura por edades. El 25.8% de la población tiene entre 0 a 14 años, el 64.4% entre 15-59 años, y el 9.7% son mayores de 59 años. Sobre esta base, se puede argumentar que la población se concentra más en edad productiva. Sin embargo, existe una gran parte de la población infantil y tan sólo un porcentaje menor de los adultos mayores.

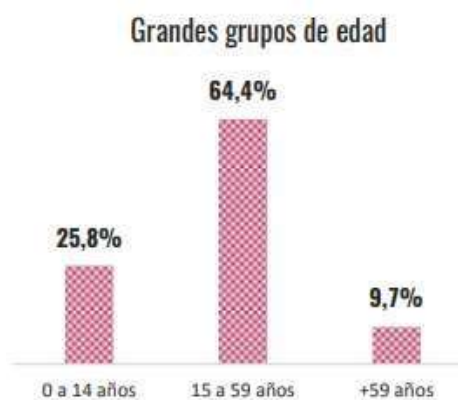


Figura 3- Grupos de edad Datos tomados de DANE

8.5.3 Hogares y Vivienda:

En la información sobre hogares y vivienda, se destaca que hay un total de 4,048 hogares particulares, con un promedio predominante de tres personas por hogar. Esto sugiere un tamaño de hogar relativamente pequeño, lo cual es una característica común en muchos entornos urbanos o semiurbanos.



Figura 4 - Número de personas por hogar Datos tomados de DANE

8.5.4 Tipo de vivienda:

En cuanto al tipo de vivienda, se identifican **1,157 apartamentos**, **3,101 casas**, **154 cuartos**, **1 vivienda étnica**, y **3 de otro tipo**. Esto refleja una predominancia de casas, seguida por apartamentos, lo que sugiere un entorno más residencial tradicional, con pocas opciones de vivienda alternativa o compartida.

8.5.5 Servicios Públicos:

En el marco de los servicios, un 99.0% de las viviendas tiene energía eléctrica, el 97.6% dispone de acueducto y un 74.6% de las casas tiene alcantarillado. Por otro lado, un 60.9% de las familias cuenta con gas natural y el servicio de recolección de basuras alcanza al 66.8% de las viviendas. Por último, la cobertura de internet es mucho menor con un 18.4%. En general, las cifras demuestran una cobertura adecuada con oportunidades de mejora en gas natural e internet.

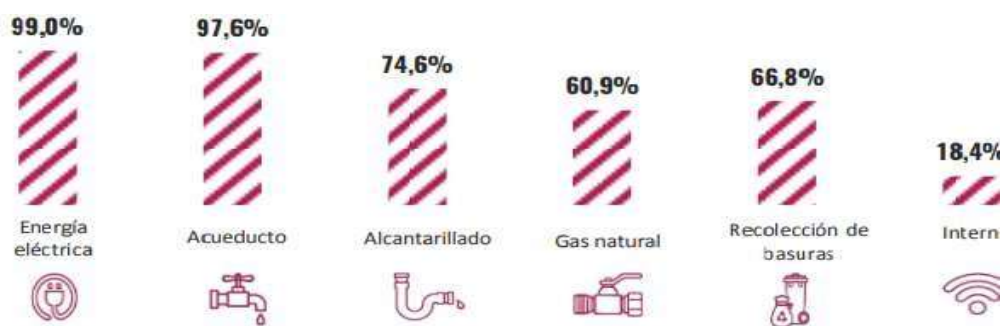


Figura 5- Servicios públicos Datos tomados de DANE

8.5.6 Educación:

En cuanto la educación, la asistencia escolar es el predominante. Este código indica que la mayoría de los niños y jóvenes menores de edad están activamente implicados en el sistema educativo. Además, las altas tasas de alfabetización también se destacan. De acuerdo con este código, una proporción sustancial de la población puede leer y escribir. La población sí tiene buen acceso a la educación

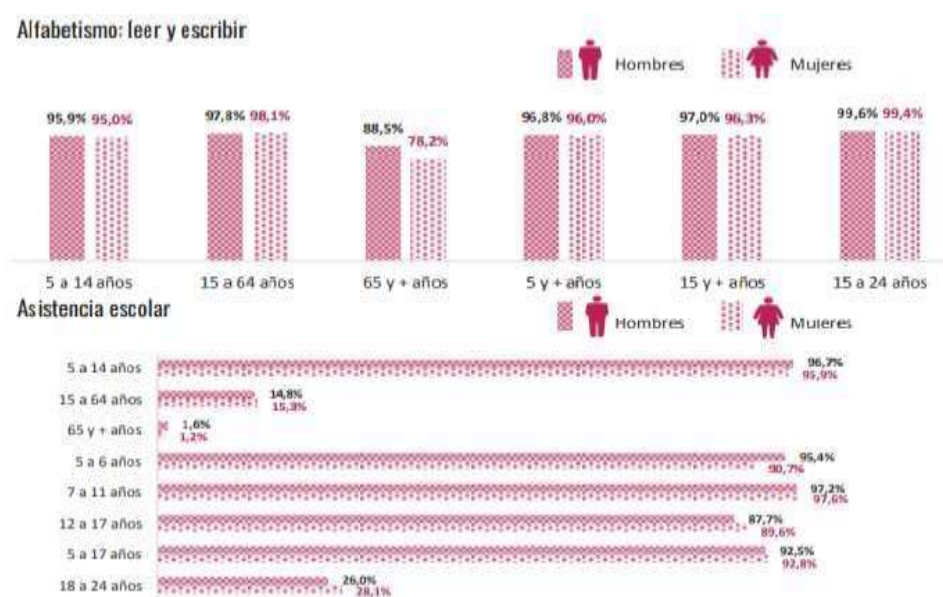


Figura 6- Acceso a la educación Datos tomados de DANE

8.5.7 Población Étnica:

La distribución de la población étnica refleja que el 0.90% se identifica como afrocolombiano, el 0.79% como indígena, mientras que los raizales representan el 33.33% y los palenqueros el 16.28%. Esto indica una diversidad cultural importante en la comunidad, con una predominancia de grupos étnicos raizales y palenqueros.

Lugar de nacimiento



Mujeres

Hombres

OTRO PAÍS

0,79%

OTRO MUNICIPIO

33,33%

ESTE MUNICIPIO

16,28%

0,90%

31,84%

16,56%

Nota: de un total de personas de 12.198 , 025 (0,2%) no respondieron la pregunta de lugar de nacimiento

Figura 7- Lugar de nacimiento Datos tomados de DANE

8.6 Economía

8.6.1 Principales Actividades Económicas

El municipio de Nemocón, según el Geoportal del DANE, alcanzó un valor agregado de 34 miles de millones de pesos a nivel nacional en el sector de "Actividades Primarias" durante el año 2022. Este valor se encuentra en un rango de aporte anual de entre 9 y 44 miles de millones de pesos. Las principales actividades que contribuyen a este valor agregado son la agricultura, la ganadería y otras actividades primarias relacionadas.



Figura 8- Principales Actividades Económicas Elaborado por Geoportal 2024

8.7 Infraestructura

Vías de comunicación

El municipio de Nemocón se encuentra estratégicamente conectado con varios municipios vecinos a través de diversas rutas y vías importantes. Desde Nemocón, la Ruta Nacional 55 permite el acceso hacia Tunja, facilitando la comunicación con el oriente del país. La Ruta Nacional 45A conecta directamente a Nemocón con Zipaquirá, una de las ciudades más importantes del departamento de Cundinamarca. Desde Zipaquirá, la Ruta Nacional 45 extiende el acceso hacia Gachancipá y más allá, hacia el norte. Para llegar a Tausa y Suesca, se utilizan rutas departamentales que parten directamente desde Nemocón, asegurando una conexión eficiente con estos municipios vecinos. Finalmente, la ruta departamental que va desde Zipaquirá hacia Cogua permite una comunicación fluida con este último municipio, garantizando así la integración regional y el desarrollo económico local. Estas conexiones viales se pueden observar a continuación en la figura.



Figura 9- Vías de comunicación. Elaborado por el SIGOT 2024

8.8 Sismología

Departamento de Cundinamarca						
Municipio	Código Municipio	Aa	Av	Zona de Amenaza Sísmica	Ae	Ad
Nemocón	25486	0.15	0.2	Intermedia	0.09	0.05

Tabla 1-Elaboración propia, datos tomados de Norma NSR 10 pág. 176

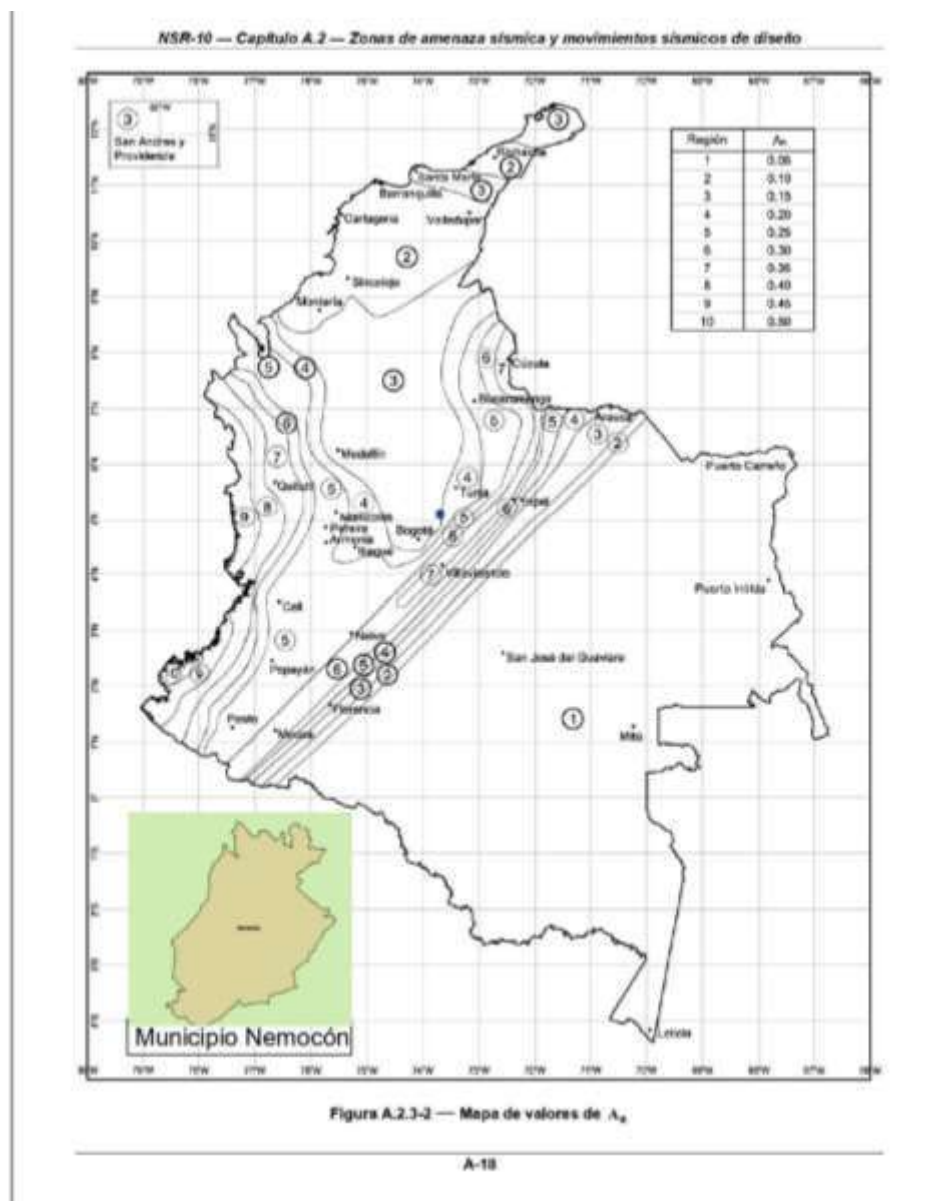


Figura 10- Mapa Valores Aa Elaboración propia, datos tomados de Norma NSR 10

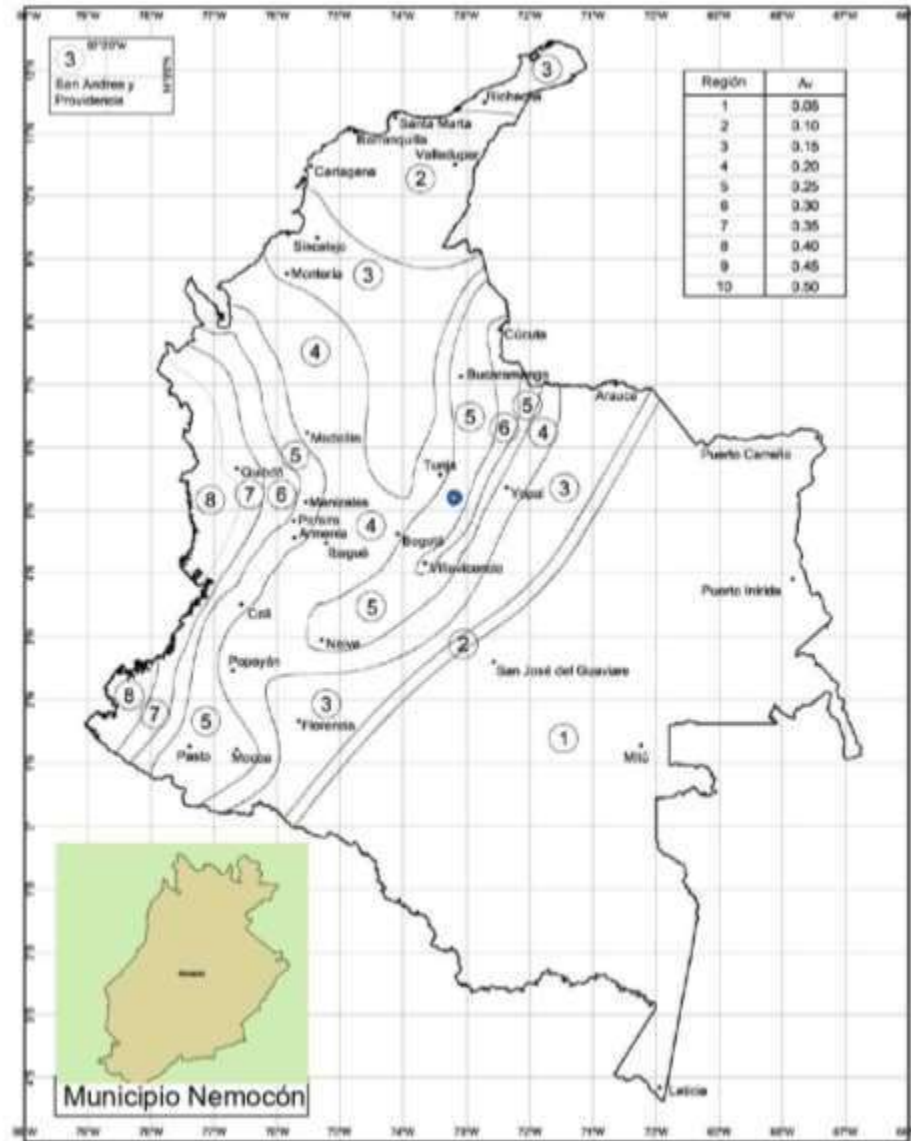


Figura A.2.3-3 - Mapa de valores de A_v

A-19

Figura 11 Mapa Valores A_v Elaboración propia, datos tomados de Norma NSR 10

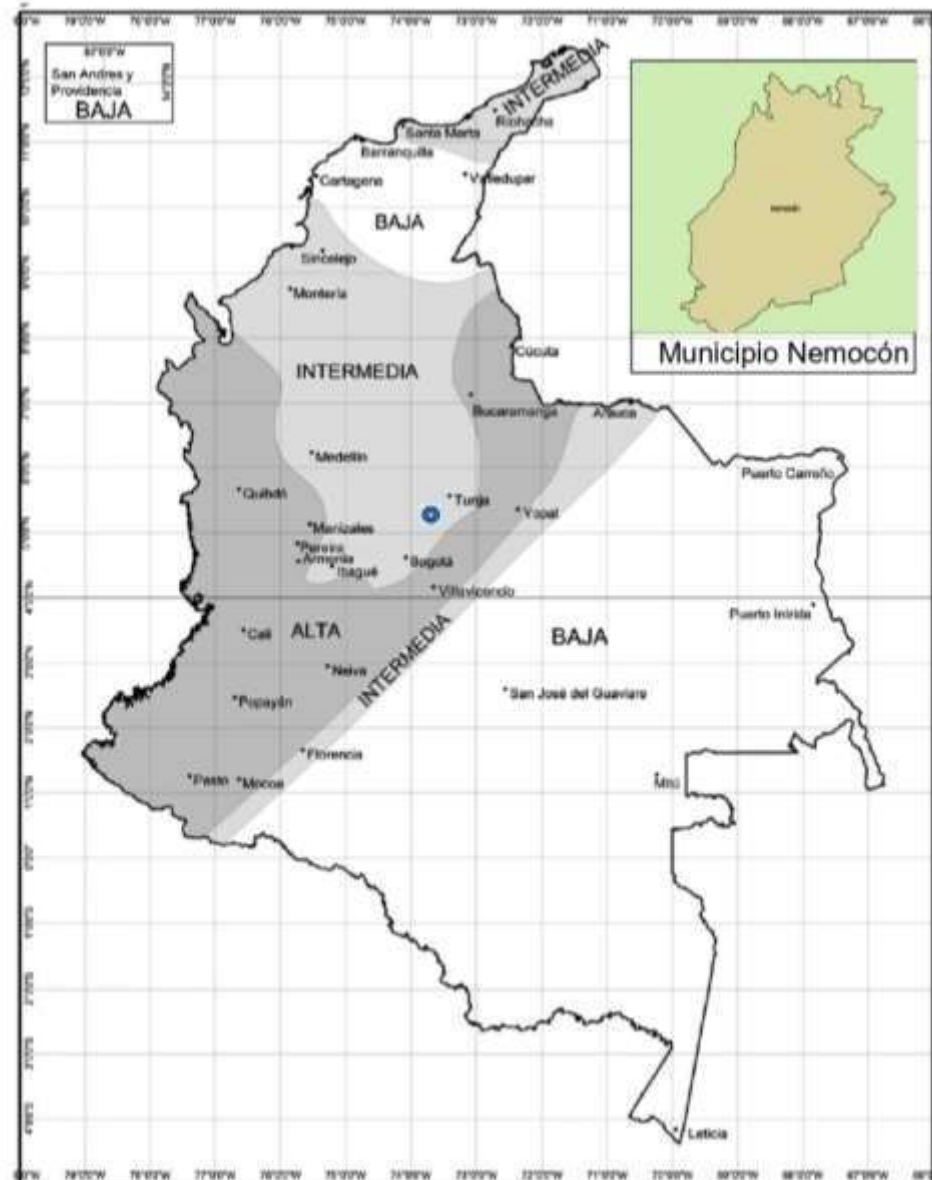


Figura A.2.3-1 — Zonas de Amenaza Sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de A_h y A_v

A-17

Figura 12 Mapa Zonas de amenazas sísmicas INTERMEDIA Elaboración propia, datos tomados de Norma NSR 10

IX. Capítulo 2. Evaluación técnica

Capítulo 4: Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales

En este capítulo se establecen los lineamientos mínimos requeridos para el diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de los sistemas de recolección y evaluación de aguas residuales, pluviales y combinadas, así como de sus estructuras complementarias, incluyendo estaciones de bombeo. A partir de estos lineamientos, se analizaron los artículos relacionados con el alcantarillado pluvial, examinando la normativa vigente con los documentos del diagnóstico y análisis de selección de alternativas toma I y II, en el análisis se estableció si cumple o no con la normativa del reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico – RAS en virtud de lo establecido en la resolución 0330 de 2017 y modificaciones realizadas mediante la expedición de la resolución 799 de 2021 y la resolución 908 de 2021.

Sección 1

Consideraciones técnicas generales de las redes de alcantarillado

Artículo 135: Caudal de aguas lluvias.

Norma: La norma específica que el método racional, se puede utilizar siempre y cuando el área de drenaje sea inferior a 80 ha.

Para determinar la intensidad de lluvia se debe utilizar las curvas IDF, en caso de que no exista o esté desactualizado, se debe derivarse nuevas curvas a partir de datos pluviográficos y así mismo considerar los efectos del cambio climático establecidos según los lineamientos del

IDEAM. Si la intensidad supera las curvas IDF, se debe proponer un plan de expansión que dependerá de la tendencia de caudales en los próximos 5 años.

Para finalizar, se debe considerar que el tiempo de entrada y tiempo de recorrido en el sistema, debe pasar por una en una simulación entre 3 a 10 minutos.

Documento: Metodología adoptada por la consultoría: El documento señala que no es posible aplicar el método establecido en la RAS 0330 de 2017, ya que el método racional solo se puede utilizar en áreas de drenaje menores a 80 hectáreas. En el caso del municipio de Nemocón, el área total de drenaje es de 100.88 hectáreas, lo que excede este límite. Por lo tanto, se optó por utilizar el área acumulada de la parte central del casco urbano, que es de 39 hectáreas, permitiendo así la aplicación del método racional para la estimación de caudales pluviales. Este enfoque permitió determinar el pico máximo del caudal de aguas lluvias durante un evento de precipitación, utilizando la intensidad media de la lluvia, el coeficiente de escorrentía y el tiempo de concentración del área de drenaje. (Diagnóstico y análisis y selección de alternativas Tomo II - Sistema de alcantarillado, 2018)

Fórmula utilizada:

$$Q = C \cdot I \cdot A$$

Ecuación 1

Especificación:

Q =Caudal Superficial (L/s)

C = Coeficiente de escorrentía (Adimensional)

I = Intensidad promedio de la lluvia (L/s*ha)

A = Área de drenaje (ha)

Coeficiente de esorrentía:

El documento menciona y especifica los coeficientes de esorrentía dependiendo el tipo de superficie según el título D de la RAS 2016, adicionalmente, si el área de drenaje es compuesta por diversos tipos de superficies, se procede a utilizar la siguiente fórmula que permite la ponderación de los coeficientes. (Diagnóstico y análisis y selección de alternativas Tomo II - Sistema de alcantarillado, 2018)

$$C = \frac{\sum_i^n C_i \times A_i}{\sum_i^n A_i}$$

Ecuación 2

Donde:

- n: número de subáreas de drenaje.
- A_i : i-ésima subárea de drenaje (ha).
- C_i : coeficiente de esorrentía de la i-ésima subárea de drenaje (adimensional).

Por lo anterior, se menciona que el municipio, espera el desarrollo de una planificación en el casco urbano y no su expansión por lo que no se tuvo en cuenta el crecimiento de la zona de expansión urbana XOACA. Por consiguiente, se debe esperar a una construcción de redes de alcantarillado garantizando un óptimo diseño, en base a las necesidades de la urbanización.

Intensidad:

A partir del estudio hidrológico se destaca que las estaciones cumplen con los estándares de precipitación con una diferencia de 15 mm, por encima al promedio ponderado tanto a nivel mensual y multianual debido a su cercanía a su casco urbano.

Periodo de retorno

El municipio hace utilización de la tabla de recomendaciones del documento de la RAS 0330 Tabla 16. Períodos de retornos.

Tabla 16. Períodos de retorno	
Características de área de drenaje	Período de retorno (años)
Tramos iniciales en zonas residenciales con áreas tributarias menores de 2 hectáreas	3
Tramos iniciales en zonas comerciales o industriales, con áreas tributarias menores de 2 hectáreas	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 2 y 10 hectáreas	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores a 10 hectáreas	10
Canales abiertos que drenan áreas menores a 1000 hectáreas	50
Canales abiertos en zonas planas y que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas	100
Canales abiertos en zonas montañosas (alta velocidad) o a media ladera, que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas	100

Tabla 2- Tabla período de retorno Elaborado por la RAS 0330 de 2017 Página 63

Tiempo de concentración:

Teniendo en cuenta que el tiempo de concentración es el tiempo en que el agua se demora en llegar desde el punto más lejano de la cuenca hasta el colector, este tiempo se desglosa en 2 componentes, el tiempo de entrada que es el tiempo que la escorrentía superficial se demora en llegar al sumidero, y el tiempo recorrido que corresponde al tiempo de viaje del agua dentro del colector, es decir la fórmula utilizada es:

$$T_c = T_e + T_r$$

Ecuación 3

T_c = Tiempo de concentración

T_e = Tiempo de entrada

T_r = Tiempo de recorrido

Para obtener el T_e , utilizaron la ecuación de Carter que es:

$$T_e = 100 \frac{(L_m / 1600)^{0.6}}{(S^m / 0.3048 \times 1600)^{0.3}}$$

Ecuación 4

- T_e = Tiempo de entrada (min)
- L_m = Longitud de la tubería (m)
- S_m = Pendiente de la cuenca (m/m)

Para obtener el T_r , se utilizó la siguiente fórmula:

$$\overline{T_r} = \frac{L}{v}$$

Ecuación 5

Donde,

- T_r = Tiempo de recorrido (min)
- L_m = Longitud de la tubería (m)
- V = Velocidad medio de flujo (m/s)

Teniendo en cuenta que el tiempo de recorrido debe determinarse mediante un proceso iterativo, en el que se determina como primera instancia el valor de inicial y suponer la velocidad estimada del flujo en la tubería, seguido a esto con estos valores y con el período de retorno, se determina la intensidad y se estima el caudal, para recalculer la velocidad real del flujo en la tubería utilizando el caudal anteriormente obtenido. Determinado que, si la velocidad recalculada difiere en más de un 10% que la inicial, es necesario utilizar esta nueva velocidad y reiterar el proceso, hasta que la diferencia de la velocidad sea aceptable.

El municipio da cumplimiento con la norma debido a que se adopta un valor de 8 minutos

que está dentro del rango establecido por esta ya que es de 3 a 10 min.

Tipo de cobertura

El municipio muestra un mapa con el análisis de la cobertura del área de drenaje de estudio, en donde se analiza el recorrido esperado del agua. Con el fin de estimar la cantidad de lluvia que se infiltra en el suelo y la que continúa como escorrentía hasta finalizar en el alcantarillado.



Figura 13 Elaboración Diagnóstico y análisis y selección de alternativas Tomo II - Sistema de alcantarillado, 2018 pág. 62

Artículo 136 Caudal de aguas combinadas.

Norma: El documento menciona que el diseño de redes de alcantarillado combinado, es tomada en base en el caudal de aguas lluvias, sin embargo, si el caudal de aguas residuales, excede el 5 % de agua de lluvias, el caudal de diseño será la suma de ambos.

Documento: En el documento solo se menciona las especificaciones y el cumplimiento que se tiene que tener según la norma RAS 0330, pero tiene información del municipio

Artículo 137 Diseño y modelación hidráulica de redes de alcantarillado

Norma: La norma establece que es necesario fundamentar el diseño del alcantarillado en una fórmula matemática que establezca los diámetros, inclinaciones y parámetros hidráulicos. Se comprobará este diseño utilizando un programa que simule el sistema actual, asegurando así que el modelo matemático representa fielmente la red física. El software debe poder simular condiciones de flujo y pérdidas de energía, garantizando una caída mínima requerida de 2 cm. Es necesario respaldar todos los cálculos y utilizar el diámetro interno real de las tuberías.

Documento: El documento menciona que se realizó la modelación de un total de 19.3 Km de redes de alcantarillado combinado con materiales como: concreto, PVC, mampostería y gres con unos diámetros internos establecidos reales que van de 4” hasta 36” con unas pendientes que varían entre -4% y 21.7%, adicionalmente en la Figura # se muestran los diámetros internos reales de la red.

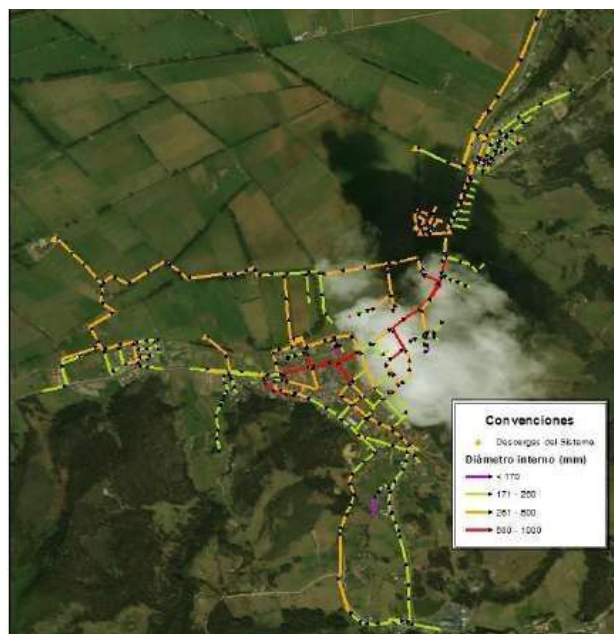


Figura 14. Diámetros internos reales de la red existente Fuente elaborada por Diagnóstico y análisis y selección de alternativas Tomo II - Sistema de alcantarillado, 2018

Adicionalmente el sistema de alcantarillado pluvial, se encuentra en deficiencia en un 47% detectando que no cumple con el estándar mínimo que es de 260 mm, debido a que 8,9 km de tubería de esta red de alcantarillado contiene un diámetro que está en un rango de 170 mm a 250 mm, en la Figura se evidencia las pendientes de la red existente en la modelación realizada por el municipio.

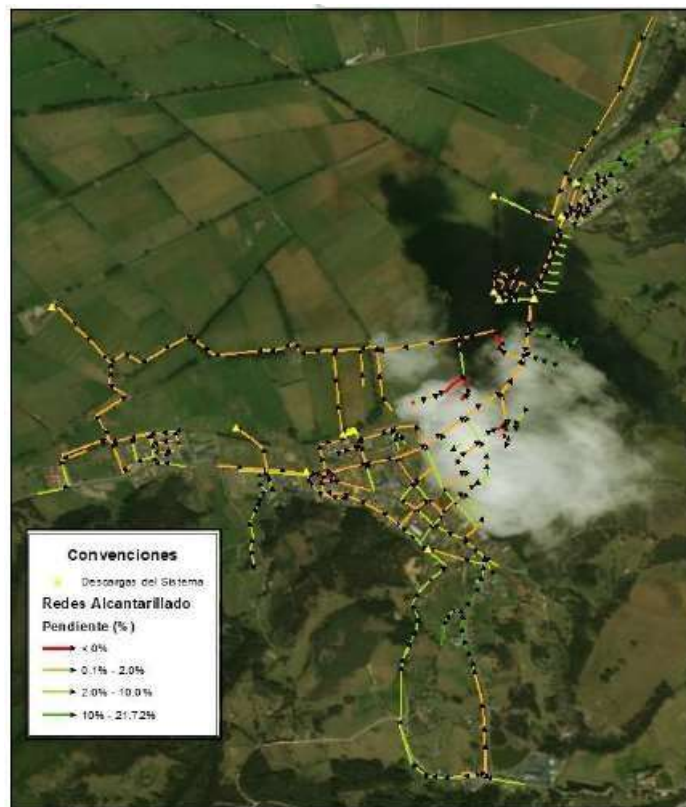


Figura 15 Pendientes de la red existente Fuente elaborada por Diagnóstico y análisis y selección de alternativas Tomo II - Sistema de alcantarillado, 2018 pág. 120

Al realizar este tipo de modelación y revisión del catastro de las redes del alcantarillado, se evidenció que las tuberías de este sistema presentan contrapendientes, presentándose en el 1.62% siendo equivalente a 312.9 metros de tubería en la red, teniendo una afectación en el funcionamiento de esta.

Adicionalmente en la siguiente figura se muestra la distribución de los materiales en la red de tubería, revelando los siguientes porcentajes:

- Gres: 49.3%, total de 9505.3 m
- Concreto: 40.5%, total de 7820.1 m
- PVC: 8.6%, total de 1662 m
- Mampostería: 1.6%, total de 299.6 m

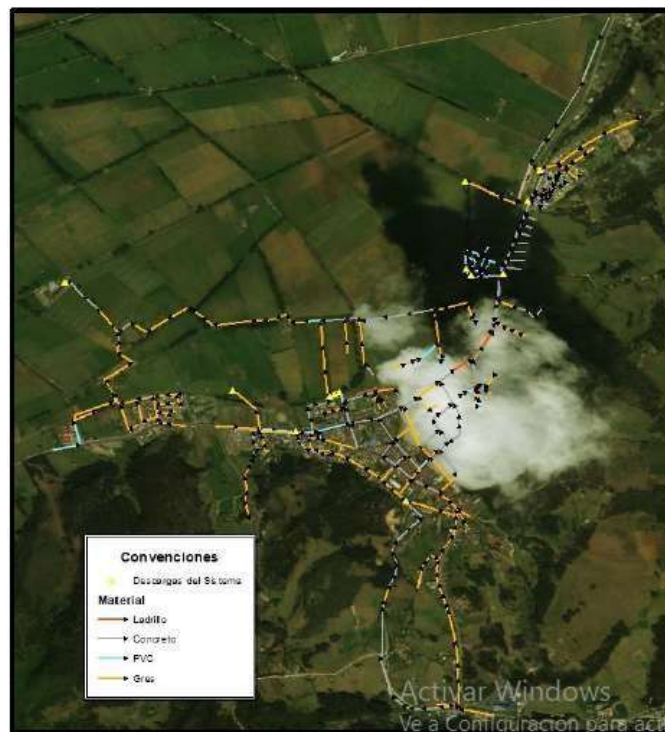


Figura 16 Materiales de las tuberías de las redes existentes Fuente elaborada por Diagnóstico y análisis y selección de alternativas Tomo II - Sistema de alcantarillado, 2018.

Seguido a esto, se realizó otro análisis de la red, evaluando la profundidad de los tramos de la tubería. Se encontró que aprox. 45% de la red de la tubería que se encuentran en las vías

vehiculares no cumpliendo con el recubrimiento mínimo necesario para asegurar la estabilidad estructural, según la norma vigente compilatorio de la RAS resolución 0330 del 2017 y modificaciones realizadas mediante la expedición de la resolución 799 y 908 del 2021, que especifican un recubrimiento mínimo de 1.20m para vías vehiculares. En cuanto a las vías peatonales es de aproximadamente el 12% de la red tiene un recubrimiento inferior al mínimo recomendado, que es 0.75m según la normativa mencionada. Algunos tramos, aproximadamente 300 m ´presentan recubrimientos menores a 30 cm, por lo que el municipio solicita una revisión y renovación. Adicionalmente se identificó que el 14% de la red tiene el recubrimiento superior a 2m.

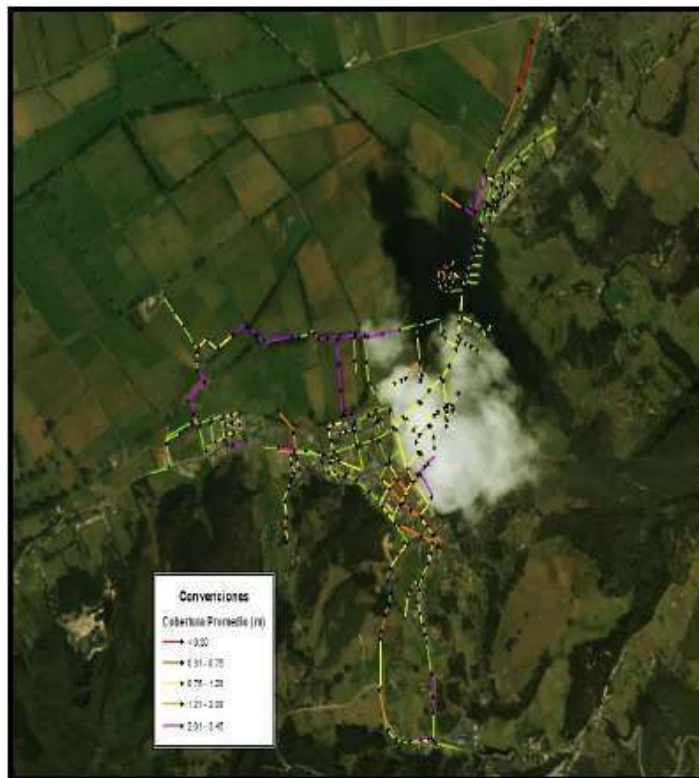


Figura 17 Cobertura de las redes existentes Fuente elaborada por Diagnóstico y análisis y selección de alternativas Tomo II - Sistema de alcantarillado, 2018

Artículo 138 Localización de redes de alcantarillado

Norma:

1. Las redes pluviales y combinadas deben ubicarse en el centro de la calzada, y las sanitarias, a un lado, manteniendo distancias adecuadas con otras redes.
2. Las tuberías deben estar a al menos 0,5 m de la acera y 1,5 m del paramento.
3. Las tuberías de alcantarillado no pueden compartir zanja con las de acueducto, y deben estar a un nivel inferior.
4. Si hay un separador central, se necesitan redes independientes para cada calzada.
5. Las distancias mínimas con otras redes deben ser de 1,0 m horizontalmente y 0,3 m verticalmente.
6. Cada cruce de redes debe ser evaluado para determinar si requiere un diseño especial.
7. Los cruces aéreos sobre cauces deben elevarse 0,50 m por encima del nivel máximo de agua en un período de retorno de 100 años.
8. Los cruces subterráneos deben instalarse al menos 0,50 m por debajo de la cota de socavación máxima para evitar la flotación.
9. En zonas de riesgo, se debe evaluar la amenaza y no se permiten conexiones domiciliarias.
10. Debe cumplirse con las normativas correspondientes en cruces con infraestructura como vías férreas o líneas eléctricas.

11. Los cauces naturales no deben conectarse a sistemas de alcantarillado en áreas urbanas.
12. Las tecnologías sin zanja deben cumplir con todas estas normativas.
13. La construcción en zonas no pavimentadas solo se permite si el proyecto de pavimentación está asegurado.

Si no se pueden cumplir estas distancias, se debe justificar y documentar adecuadamente en las memorias del proyecto.

Documento:

1. El municipio en su documentación menciona que las redes pluviales y combinadas para sistemas nuevos se utilizara un eje cerca de la calzada, y de las redes sanitarias hacia un costado
2. Se respeta la distancia mínima de 0,5 m de la acera y 1.5 m del parámetro.
3. Las tuberías del alcantarillado no deben estar en la misma zanja que las del acueducto, y que su cota clave debe estar debajo de la cota de la batea.
4. El municipio considera el diseño de redes de manera independientes en las vías.
5. El municipio respeta las distancias mínimas libres mencionadas, en horizontales de 1,0 m y vertical 0,3m entre los colectores, y analiza los cruces de redes de forma independiente.

En los siguientes ítems mencionados por la normativa del 6 al 13, el municipio no menciona información sobre estos temas

Artículo 139 Profundidad de instalación de la tubería en alcantarillados.

Norma: La norma destaca que es importante llevar a cabo estudios geotécnicos para determinar la profundidad adecuada de los colectores, teniendo en cuenta tanto las características del suelo como las de la tubería. En vías peatonales, la profundidad mínima sin protección es de 0,75 m mientras que en vías vehiculares esta medida se eleva a 1,20 m. En caso de que haya cruces o depresiones, es importante seguir las indicaciones del fabricante. Es importante que los colectores de aguas lluvias se instalen sin obstruir las conexiones de aguas residuales y permitiendo una adecuada conexión de los sumideros.

Documento: El documento menciona en las redes de alcantarillado pluvial, la pendiente mínima debe asegurar un drenaje eficiente de las aguas lluvias por gravedad. Además, establece que la profundidad mínima es de una profundidad de 0.75 m de las vías peatonales y para vías vehiculares es de 1.20m. También menciona que el recubrimiento mínimo del colector tiene que ser suficiente para prevenir su ruptura debido a las cargas vivas.

SECCIÓN 4

Artículo 148 Diámetro interno real mínimo en los alcantarillados pluviales y combinados

Norma: En las redes de alcantarillado pluvial y combinado, el diámetro interno mínimo permitido es de 260 mm

Documento: El documento del diagnóstico de la red de alcantarillado, menciona que los diámetros que se utilizó para redes pluviales y/o combinados en ese caso varían entre 170 mm y 250 mm.

Artículo 149 Criterios de autolimpieza en los alcantarillados pluviales y combinados.

Norma: La norma establece que la velocidad mínima que se debe alcanzar en el colector de alcantarillado pluvial o combinado es aquella que genere un esfuerzo cortante mínimo de 2,0 Pa en la pared de la tubería. Los criterios deben aplicarse tanto al principio como al final del período de diseño, teniendo en cuenta el caudal de diseño.

Documento: La velocidad mínima en el colector de sistema pluvial y/o combinados, debe garantizar un esfuerzo cortante de 2 Pa, asegurando que el sistema del municipio de Nemocón mantenga la capacidad de autolimpieza. Observando que algunos esfuerzos cortantes son negativos, debido a los contrapendientes existentes en el sistema y un porcentaje de 20.16% tiene un esfuerzo cortante inferior a 1 Pa, que ocurre debido a las bajas pendiente en esos tramos y bajos caudales transportados, logrando la capacidad suficiente de autolimpieza.

Artículo 150 Velocidad máxima en los alcantarillados pluviales y combinados.

Norma: La norma adjudica que el caudal de diseño en un colector por gravedad requiere que no se exceda una velocidad máxima de 5,0 m/s. Si la topografía es compleja, si los diámetros son grandes (≥ 600 mm) o si los caudales son altos (> 500 l/s), se pueden aceptar velocidades mayores, aunque nunca superiores a 10 m/s. En caso de que las tuberías tengan velocidades superiores a 5 m/s, se requiere el uso de revestimientos especiales diseñados para resistir la abrasión. Además, es necesario incluir protecciones y soluciones en el diseño para disipar la energía.

Documento: En el documento se menciona que la velocidad máxima alcanzada es de 2.03 m/s a pesar de las altas pendientes en algunos sectores, por lo que cumple con la normativa que permite una máxima velocidad de 5 m/s.

Artículo 151 Relación máxima entre profundidad y diámetro de la tubería en los alcantarillados pluviales y combinados.

Norma: El flujo en un colector para el caudal de diseño no puede exceder una profundidad máxima del 93% del diámetro interno real, lo que significa que el colector estará prácticamente lleno.

Documento: En el análisis de la topología de la red, se encontró que la capacidad hidráulica incumple con la profundidad de flujo, ya que presenta un llenado por encima del 93% e incumplen la relación máxima permisible establecida en la resolución 330 del 2017.

Artículo 152 Requisitos de diseño de canales de aguas lluvias.

Norma: Es necesario que el diseño de un canal presente una justificación para su trazado y tenga en cuenta cómo afectará al medio ambiente. Es necesario que los canales operen utilizando principalmente la fuerza de gravedad y evitando el flujo crítico, además si son cerrados la profundidad del flujo no debe exceder el 90% de la altura del conducto. Es necesario incluir en el caudal de diseño las contribuciones provenientes de canales o colectores tributarios, los cuales deben verterse por encima del nivel máximo esperado. Cuando se encuentren en pendientes elevadas, es necesario utilizar canales interceptores. La velocidad máxima permitida en canales revestidos de concreto es 5,0 m/s. Sin embargo, para otros tipos de revestimientos, se recomienda

ajustar la velocidad en función del nivel de riesgo de erosión. Las pendientes deben ser tan suaves como sea posible para garantizar una velocidad mínima de 0,75 m/s. Es importante anticiparse a la necesidad de contar con bordes sin obstáculos y adaptaciones para curvas, así como asegurar que los canales abiertos tengan áreas donde se pueda amortiguar el flujo de agua y realizar labores de mantenimiento.

Artículo 153 Sistemas urbanos de drenaje sostenible.

Norma: Es fundamental reducir el incremento en los flujos de agua de escorrentía generado por la impermeabilización cuando se llevan a cabo nuevos proyectos urbanísticos que alteren la cobertura del suelo. Una forma de lograr esto es evaluando la posibilidad de implementar Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Para asegurar la viabilidad de los SUDS, es necesario tener en cuenta factores como la topografía del terreno, las características geotécnicas, las regulaciones urbanísticas vigentes, el régimen hidrológico local, la capacidad de infiltración del suelo y los costos asociados con su construcción y mantenimiento. Además, también se deben considerar si se deciden implementar SUDS, es necesario asegurarse de que estén diseñados para reducir al menos en un 30% el caudal pico, con el objetivo de evitar sobrecargas e inundaciones. También es importante considerar un mantenimiento eficaz que incluya sistemas de cribado y sedimentación. Para garantizar la viabilidad de las alternativas de SUDS, es necesario evaluarlas desde una perspectiva económica, técnica, social y ambiental.

Documento: El municipio de Nemocón no cuenta con información al respecto, ni ha implementado ninguna tipología de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Teniendo en cuenta el contexto de desarrollo urbano, es fundamental tomar en consideración la importancia de estos sistemas.

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) son un instrumento esencial para la mitigación de los efectos de la impermeabilización de suelo, modifican la cobertura del suelo, incrementan el flujo de agua superficial y disminuyen la carga de las redes de drenaje.

Seguido a esto se proporcionará una alternativa, con el fin de aportar implementaciones de soluciones sostenibles. Esto con la iniciativa de genera un avance frente a este tipo de problemática y permitir alinearse con las actualizaciones de las modificaciones de la resolución 799 del 2021 y las 908 del 2021, promoviendo un desarrollo en el municipio., generando mejora en la calidad del agua, reducción de inundaciones y aumento de biodiversidad.

En el siguiente apartado se muestran las diferentes tipologías que se tienen de los SUDS junto con manuales y guías para tener una excelente técnica, se analizarán los beneficios de cada tipología en diferentes contextos, se estudiarán las características del ciclo del agua, y se identifican zonas óptimas para su implementación y selección de sistemas adecuado para cada área. Finalmente, se desarrollará el diseño del sistema de drenaje mostrando la solución que se quiere proponer al municipio.

X. Capítulo 3. Alternativa: Sistema urbanos de drenaje sostenible (SUDS)

10.1. Definición

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), según la actualización de la Ras 0330 del 2017, se define como “el conjunto de soluciones de se adoptan en un sistema de drenaje urbano con el objeto de retener el mayor tiempo posible las aguas lluvias en su punto de origen sin generar problemas” (Min. Vivienda, s/f). Estos sistemas representan una solución a diversos problemas asociados con las aguas pluviales, como el nivel alto de la escorrentía, la erosión del suelo y la contaminación. A través de su estructura, los SUDS regulan la cantidad de agua y filtran los contaminantes, lo que mejora la calidad del agua. Además, promueve la reutilización de las aguas pluviales y contribuye a la preservación del medio ambiente. (Min. Vivienda, 2022)

Los SUDS se dividen en tipologías que se encargan de complementar los sistemas de drenaje convencionales. Estas tipologías incluyen: alcorques inundables, cuencas secas de drenaje extendido, cunetas verdes, zanjas de filtración, zonas de bio-retención, filtros de arena, humedales artificiales y estanques húmedos. Cada una de estas tipologías cuenta con diferentes elementos que ayudan a controlar los problemas anteriormente mencionados. (CIIA, 2017)

10.2. Tipos de tipologías

10.2.1 Alcorques inundables:

Se construyen alrededor de los árboles y constan de una caja de concreto prefabricada que se coloca en el suelo. En su base, pueden incluir un revestimiento de concreto o un material impermeable. Los alcorques albergan árboles que contribuyen a gestionar la escorrentía, ya sea desviándola, tratándola o absorbiéndola.

Existen diferentes tipos de alcorques, como los que tienen contenido, que tienen como objetivo controlar y regular el flujo de agua; los alcorques con drenaje, que ayudan a gestionar el exceso de agua; y los alcorques con infiltración, que facilitan la gradual infiltración del agua en el subsuelo. Los principales beneficios de los alcorques inundables incluyen el tratamiento de la escorrentía, la reducción de la misma y la promoción de zonas verdes y paisajismo. (Puentes, 2024)

10.2.2 Cuencas secas de drenaje extendido (CSDE):

Son áreas permeables de gran magnitud, cuyo principal propósito es el almacenamiento temporal del agua, con “el objetivo de reducir el caudal pico y el volumen de escorrentía”. (CIIA, 2017)

Estas funciones en dos escenarios: el primero, durante eventos de lluvia con baja precipitación, en los que la escorrentía pasa por un canal de caudales bajos, construido con rocas o concreto, cuya función es transportar el agua. El segundo escenario se presenta durante lluvias de alta precipitación, en las que la superficie completa de la cuenca se utiliza para almacenar grandes volúmenes de escorrentía. (CIIA, 2017)

Entre los beneficios de las CSDE se incluye la capacidad de filtrar, evaporar o drenar el agua acumulada, así como la reducción de sólidos suspendidos. (Bertrand, 2022)

10.2.3 Cunetas verdes:

Las cunetas verdes consisten “depresiones longitudinales en el terreno” (Bertrand, 2022), que se presentan en secciones triangulares o trapezoidales, las cuales se pueden emplear con franjas de césped a ambos lados.

Existen tres tipos de cunetas: la convencional, que permite la infiltración natural del agua hacia el suelo; la cuneta seca, en la cual se emplea un reservorio en la parte inferior con el objetivo de infiltrar y retener el volumen adicional de escorrentía; y la cuneta húmeda, que es un canal que impide la infiltración y tiene como objetivo conservar una lámina de agua en el sistema.

Entre sus beneficios se encuentra la protección de los cuerpos receptores de agua situados aguas abajo del sistema. Asimismo, cuando las cunetas son utilizadas como barreras, contribuyen a la reducción de la velocidad del flujo de escorrentía y aumentan la reducción de sólidos. (CIIA, 2017)

10.2.4 Pavimentos permeables:

Son una alternativa al pavimento convencional que tiene como principal objetivo drenar el agua lluvia hacia el subsuelo. Estas se dividen en cuatro capas principales: la capa superficial, la capa de nivelación, la sube o capa de almacenamiento y la capa filtrante.

Estos pavimentos se pueden clasificar en tres tipos según su capacidad de infiltración: uno con un recubrimiento impermeable que impide la infiltración de agua, otro que incluye una membrana geotextil que permite la infiltración parcial, y el que permite la infiltración total de la escorrentía, siempre y cuando el suelo sea apto.

Como beneficios los pavimentos permeables ofrecen el almacenamiento de agua, la reducción del caudal pico y del volumen de escorrentía, la infiltración del agua, además de funcionar como conexiones entre SUDS. (CIIA, 2017)

10.2.5 Tanques de almacenamiento:

Son estructuras prismáticas que pueden ser superficiales o subterráneas, dependiendo del uso que se les dé. Su objetivo principal es almacenar el volumen de escorrentía generado por las lluvias, reteniendo esta agua para su posterior utilización en diferentes actividades.

El diseño de los tanques se adapta tanto al lugar de instalación como a las necesidades específicas. Los tanques superficiales, al no requerir excavación, son más fáciles de instalar y causan menos daño al entorno. En cambio, los tanques subterráneos, que generalmente se ubican bajo grandes vías, fábricas o diversas estructuras, son más complejos y más costosos de construir. A pesar de estas diferencias, ambos tipos de tanques comparten características como el uso de bombas de succión y tuberías para la entrada y salida del agua.

Entre los beneficios de estos tanques se encuentra su flexibilidad para ser instalados en diferentes lugares, su capacidad de agua y su versatilidad para abastecer múltiples usos. (CIIA, 2017)

10.2.6 Zanjas de infiltración:

Las zanjas de infiltración son estructuras rectangulares diseñadas para gestionar el flujo de agua de escorrentía proveniente de las lluvias. Estas zanjas están compuestas por materiales granulares, como gravas y arenas de distintas granulometrías, que tienen la función de filtrar las impurezas del agua. Su principal objetivo es reducir el volumen de escorrentía al infiltrar la totalidad del agua lluvia acumulada.

Los materiales utilizados en la zanja, como roca, piedra y carbón activado, son seleccionados para aumentar la capacidad de absorción de contaminantes y prolongar el tiempo antes de que el reservorio se colmate, es decir, se obstruya con sedimentos. Adicionalmente, el sistema incluye una tubería perforada longitudinal, dispuesta de manera paralela a las zanjas, la cual está fabricada con diversos materiales. Esta tubería facilita la recolección y distribución del agua dentro de la estructura.

Para manejar el exceso de agua que no puede ser infiltrado, las zanjas están equipadas con estructuras de rebose que, junto con la tubería, permite evacuar el agua sobrante de manera controlada, asegurando el correcto funcionamiento del sistema.

Las zanjas de infiltración ofrecen varios beneficios, como su construcción sencilla y el uso de materiales fácilmente accesibles, lo que las hace prácticas y económicas. Son especialmente adecuadas para zonas urbanas debido a su diseño compacto, que se integra bien en entornos con limitaciones de espacio. Además, al ser estructuras subterráneas, no interfieren con las áreas verdes, preservando el paisaje y el uso recreativo de los espacios públicos. (CIIA, 2017)

10.2.7 Zonas de bio-retención:

Las zonas de bio-retención son áreas diseñadas para la gestión de la escorrentía mediante la combinación de capas vegetales en la superficie y capas minerales subyacentes. Su principal objetivo es la retención, infiltración y evacuación del agua de escorrentía, lo que las hace adecuadas para su uso en diversos espacios como parqueaderos, zonas viales, parques infantiles y parques públicos.

Estas zonas están compuestas por una variedad de plantas que requieren mantenimiento periódico para asegurar su funcionalidad y apariencia. En la base de las estructuras se encuentran

tuberías perforadas, cuya función es dirigir el agua no infiltrada hacia el sistema de drenaje, garantizando así una gestión eficiente del exceso de agua. Entre los beneficios que ofrecen las zonas de retención se encuentran la reducción de los picos de escorrentía, la mejora en la calidad del agua drenada y la eliminación de algunos contaminantes. Además, estas áreas contribuyen estéticamente al paisajismo y favorecen la creación de hábitats naturales. (CIIA, 2017)

XI. Caso de estudio

En el momento el municipio de Nemocón no cuenta con un sistema urbano de drenaje sostenible que facilite la gestión de la escorrentía de aguas lluvias, la infiltración y la mejora de la calidad del agua. No obstante, el estudio ha identificado cuatro áreas en las que es posible implementar los sistemas urbanos de drenaje sostenible para optimizar el manejo de las aguas pluviales: el parque principal, el estadio municipal, el parque de la mina de sal y la zona de expansión.

11.1 Parque principal

El Parque Principal de Nemocón se encuentra ubicado entre las calles 3 y 4, y las carreras 3 y 4, frente al Templo San Francisco de Asís y la Alcaldía Municipal. En el centro del parque se destaca una fuente con el monumento “Sacrificio de los Comuneros Nemoconenses”, rodeada de ocho materas distribuidas alrededor de la fuente, las cuales recolectan aguas lluvias y cuentan con zonas de vegetación, como se puede apreciar en las imágenes a continuación:



Figura 19 Elaboración propia. Fuente del parque principal



Figura 18 Elaboración propia. Monumento Sacrificio de los Comuneros Nemocoenses



Figura 20 Elaboración propia. Parque principal



Figura 21. Elaboración propia. Fuente y monumento Sacrificio de los Comuneros Nemocoenses

11.2 Zona de expansión

Nemocón se ha extendido hacia sus alrededores en los últimos años. Un ejemplo de esta expansión son los conjuntos residenciales de la empresa Xoaká nombrados como: Zafiro y Rubí, ubicados detrás del hospital de Nemocón, en la calle 8 sur. Estos conjuntos cuentan con una pequeña zona verde ubicada al frente de sus entradas entre el paso peatonal y la calle principal, tal como se observa a continuación



*Figura 22*Elaboración propia. Conjuntos residenciales Xoaká Zafiro y Rubí



*Figura 23*Elaboración propia. Conjuntos residenciales Xoaká Zafiro y Rubí

11.3. Cancha de fútbol municipal

La Cancha de Fútbol Municipal de Nemocón está situada en las coordenadas 5°04'05"N 73°52'58"W, limitando con la carretera principal y frente al Cementerio Municipal. Esta área es crucial para la recreación y el progreso deportivo de la población, dado que se emplea para las prácticas de los programas educativos deportivos y eventos recreativos, promoviendo un entorno saludable y de inclusión social.

La gradería en el campo posibilita que los espectadores disfruten de los partidos y prácticas, también hay una pista de atletismo básica, hecha de asfalto, que rodea la cancha, ofreciendo un lugar extra para la práctica de deportes. La disposición de los arcos en esta cancha es única, con dos pequeños verticalmente y uno más grande horizontalmente, lo que favorece la recreación y la diversión segura de los niños de la zona, fomentando el deporte y la interacción social.



Figura 24. Elaboración propia Cancha Municipal

11.4 Parque mina de sal

Ubicado cerca de la Mina de Sal de Nemocón, exactamente en la Cra. 1S con Calle 1, en las coordenadas 5°03'52"N 73°52'31"W, este parque es el principal punto de llegada para los buses turísticos que visitan uno de los atractivos históricos y turísticos más importantes del municipio. Diseñado específicamente para recibir a los visitantes, el parque cumple una función esencial en el flujo de turistas, quienes contribuyen significativamente a la economía local. Con áreas de descanso, senderos y espacios verdes, el parque no solo ofrece un lugar de acogida, sino también un ambiente cómodo y agradable donde los turistas pueden relajarse antes o después de su recorrido por la mina. Conformado por una fuente central y macetas laterales que adornan el entorno, este espacio consolida su importancia como centro de recepción y encuentro en Nemocón.



Figura 25.Elaboración propia Parque Mina de Sal

XII. Estudio hidrológico

El manual de drenaje para carreteras del INVIAS indica como determinar el caudal de las zonas seleccionadas en el caso de estudio. Para este propósito, se opta por el método racional, utilizando la siguiente formula:

$$C = \frac{Q_E}{iA}$$

Ecuación 6

Teniendo en cuenta que:

QE: Caudal de escorrentía superficial, en metros cúbicos por segundo (m³/s).

i: Intensidad de precipitación, en metros por segundo (m/s).

t: Tiempo de duración de la lluvia, en segundos (s).

A: Área de drenaje de la hoya hidrográfica, en metros cuadrados (m²).

Para calcular el valor de intensidad de precipitación, se identificó la estación pluviométrica más cercana al municipio de Nemocón, que corresponde a la estación Sta. Rosita. Posteriormente, se consultaron los registros del IDEAM para recopilar los valores de precipitación correspondientes a los últimos años hasta 2023.

Luego, se procedió a la elaboración de las curvas IDF, que según el manual de drenaje se define como “curvas intensidad-duración-frecuencia, son arreglos que presentan las lluvias contra su duración y el periodo de retorno”.

Dado que Nemocón se encuentra en la región andina, específicamente R1, se seleccionaron los valores de a, b, c, y d correspondientes a esta región, como se detalla en la tabla siguiente:

Región	a	B	C	d
Andina (R1)	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe (R2)	24.85	0.22	0.5	0.1
Pacífico (R3)	13.92	0.19	0.58	0.2
Orinoquía (R4)	5.53	0.17	0.63	0.42

Tabla 3. Región del Manual de drenaje para carreteras INVIAS.

Considerando los datos presentados en la tabla anterior (Figura 26), se obtiene como resultado el siguiente gráfico, el cual muestra el tiempo de recurrencia de la lluvia en seis diferentes periodos de retorno, que van desde los 2 años hasta los 100 años.

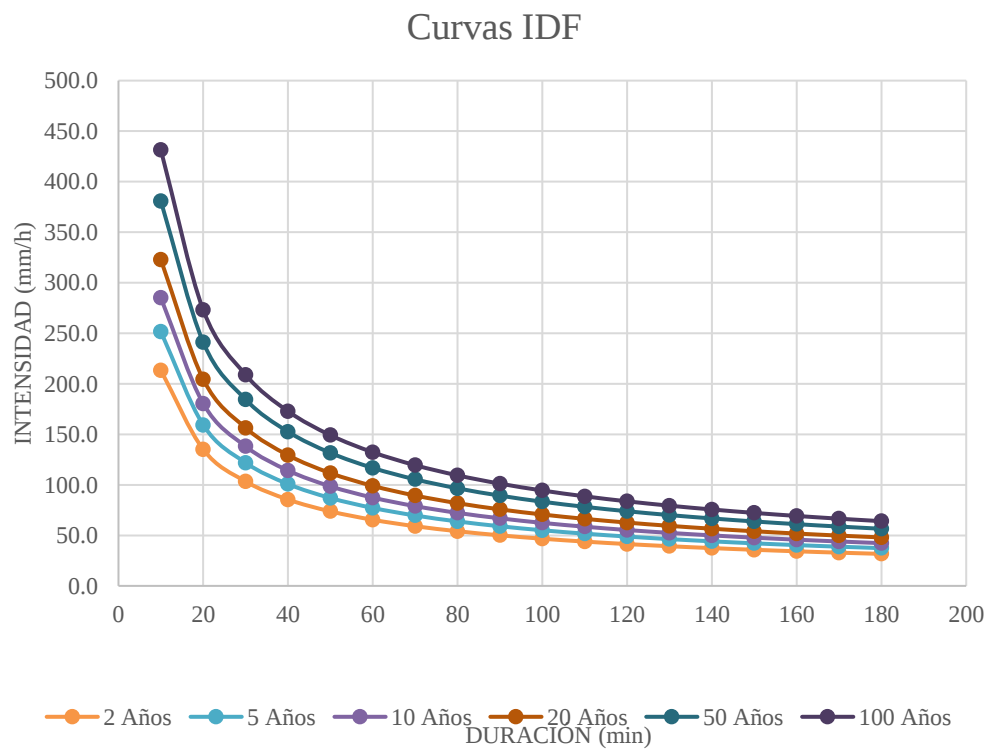


Figura 26 Elaboración propia. Curvas IDF

A partir del gráfico, se determina la intensidad de precipitación utilizando un periodo de retorno de 10 años y una duración de lluvia de 80 minutos, lo que da un valor promedio de 65mm/h.

Considerando las áreas de las zonas de estudio, que son: 2097,27m² para el parque principal,

607,55m² para la zona verde frente a los conjuntos de la zona de expansión, 143.27m² para el parque de la mina de sal, y 567.92 m² para la zona del estadio municipal, se procede a calcular el caudal utilizando la formula descrita en la ecuación N. 7.

$$Q_p = 0.278 C i A$$

Ecuación 7. Caudal del manual de drenaje para carreteras INVIAS

Como resultado, se obtiene un caudal (Q_p) de 253,88 m³/s para el parque principal de Nemocón, 73,48 m³/s para la zona verde frente a los conjuntos de la zona de expansión, 17.34 m³/s para el parque de la mina de sal, y 68.75 m³/s para la zona del estadio municipal.

XIII. Resultados

Tipologías de SUDS seleccionadas

Después de identificar las cuatro zonas donde se requiere implementar los SUDS, se consultó la “Guía técnica de diseño y construcción de sistemas urbanos de drenaje sostenibles (SUDS)” del Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Se determinó que las tipologías más adecuadas son los alcorques inundables y las zonas de bio-retención. Estas fueron seleccionadas tras el análisis detallado de todas las opciones, teniendo en cuenta las características de las áreas disponibles, el espacio existente y las ventajas mencionadas anteriormente.

Por lo tanto, se realizó el diseño de los alcorques inundables para la zona frente al estadio municipal y frente a los conjuntos residenciales, como se muestra en las figuras 27 y 28. Actualmente, estas áreas verdes se presentan de la siguiente manera:



Figura 28Elaboración propia. Zona frente del estadio municipal



Figura 27Elaboración propia. Zona frente del estadio municipal.

En el parque principal y el parque de la mina de sal, se decidió implementar zonas de bio-retención en las materas ya existentes, como se observa en las siguientes figuras que muestra el estado actual de estas áreas.



Figura 29 Elaboración propia. Parque principal de Nemocón



Figura 30 Elaboración propia. Parque mina de sal.

Diseño de tipología: Alcorques inundables

Para realizar el diseño de los alcorques, se siguieron los diagramas de flujo y se calcularon los valores utilizando las fórmulas expuestas en la guía técnica de diseño. A través de estas fórmulas, se obtuvieron diversos resultados, algunos de los cuales eran datos predeterminados. Por ejemplo, la profundidad del sustrato fue seleccionada dentro del rango de 0,6 a 0,10 metros, eligiéndose un valor de 0.8 metros. El tiempo del vaciado del filtro se estableció en 12 horas, la permeabilidad del sustrato en 70 mm/h y la porosidad efectiva del sustrato en un 40%, entre otros parámetros claves.

Una vez determinados estos valores, se procedió con los cálculos necesarios para encontrar el área superficial de la parte superior del sustrato (A_{sm}), el área superficial de la parte más baja de encharcamiento (A_s), y el área superficial a la máxima profundidad del encharcamiento (a_f). Posteriormente, se calculó el volumen utilizando la ecuación correspondiente como se muestra en la ecuación N.8.

$$V = A_{sm} * (d_m * n_m + d_c * n_g) + \frac{A_f + A_s}{2} * d + V_{pt}$$

Ecuación 8. Volumen de los alcorques

Previo a estos cálculos, fue necesario obtener todos los valores requeridos por la ecuación, como el volumen almacenado en prácticas de pretratamiento (Vpt), la profundidad de la capa de drenaje (dc), la porosidad efectiva de la capa de grava (ng), y la porosidad efectiva del sustrato (nm).

Seguidamente, se continuo con los cálculos de la capa de drenaje, utilizando la ecuación 9. En este caso, se empleó un diámetro de tubería perforada (Ds) de 0,10m, una profundidad de la sección de la capa de drenaje de la tubería (dcg) de 0,15m, y un valor recomendado de 8cm para la profundidad de almacenamiento bajo la tubería (das).

$$d_c = d_{cg} + d_{as} + D_s$$

Ecuación 9. Capa de drenaje.

Finalmente, se calcularon los volúmenes correspondientes, como el volumen infiltrado a través de la ecuación N.10, el volumen filtrado por medio de la ecuación N.11, y el volumen de encharcamiento con la ecuación N.12.

$$V_{inf} = \text{Mínimp} (V ; A_{sm} * f * \frac{1}{2} * 0.024)$$

Ecuación 10. Volumen infiltrado

$$V_f = V - V_{inf}$$

Ecuación 11. Volumen filtrado.

$$V_{en} = \frac{A_f + A_s}{2} * d + V_{pt}$$

Ecuación 12. Volumen de encharcamiento

Para concluir, se realizó la comprobación del diseño utilizando la ecuación N.13.

$$A_{smin} = \frac{V * d_m}{T_d * K * (\frac{d}{2} + d_m)}$$

Ecuación 13. Comprobación de diseño.

Generando como resultado los siguientes diseños:

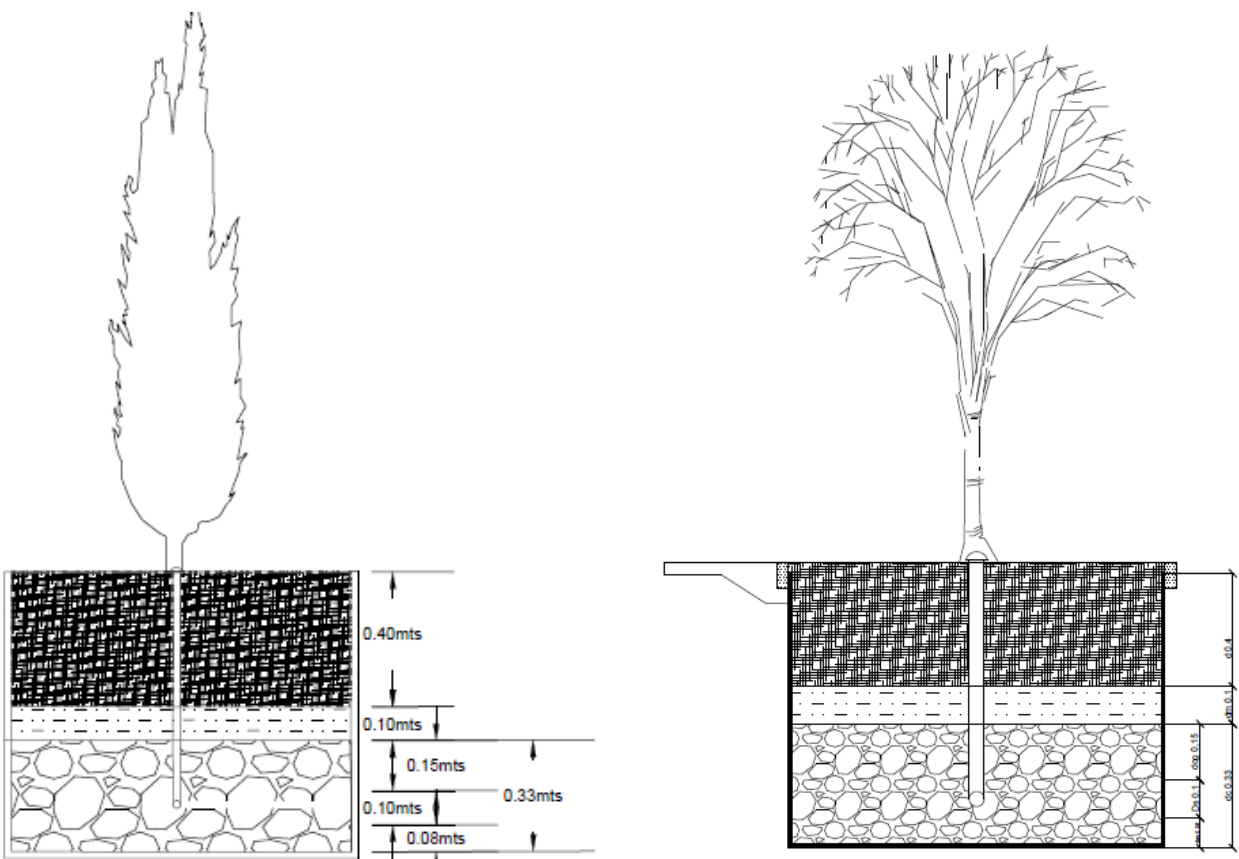


Figura 31 Diseños alcorques. Cancha Municipal – Zona De Expansión

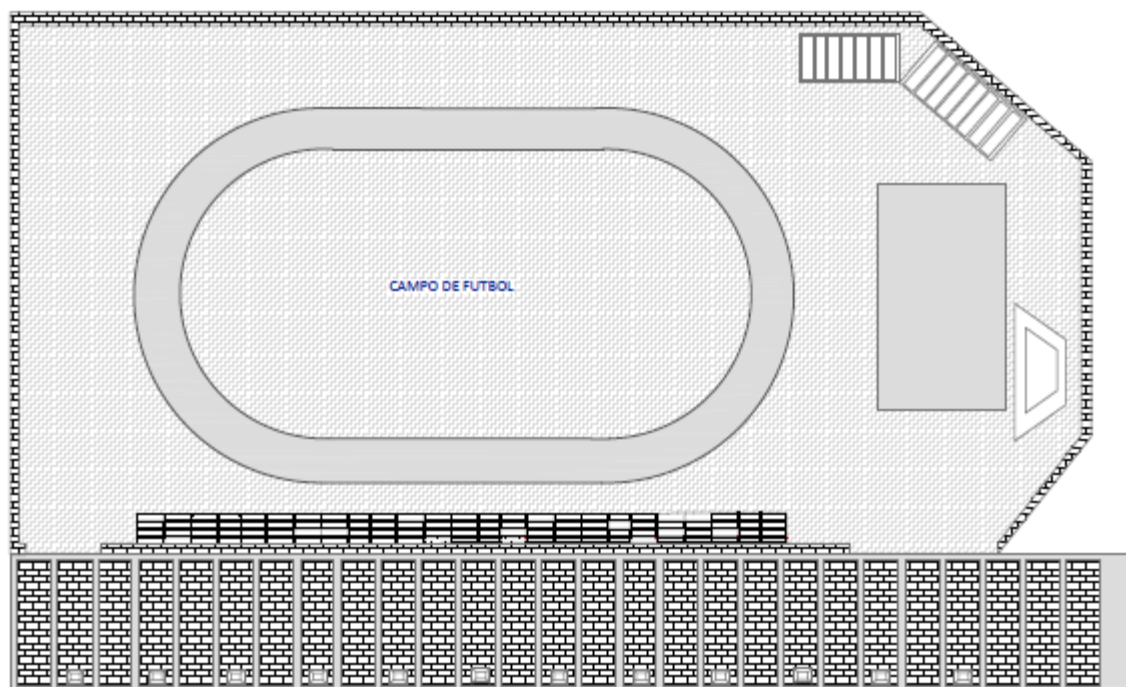


Figura 32 Diseño en planta Cancha Municipal

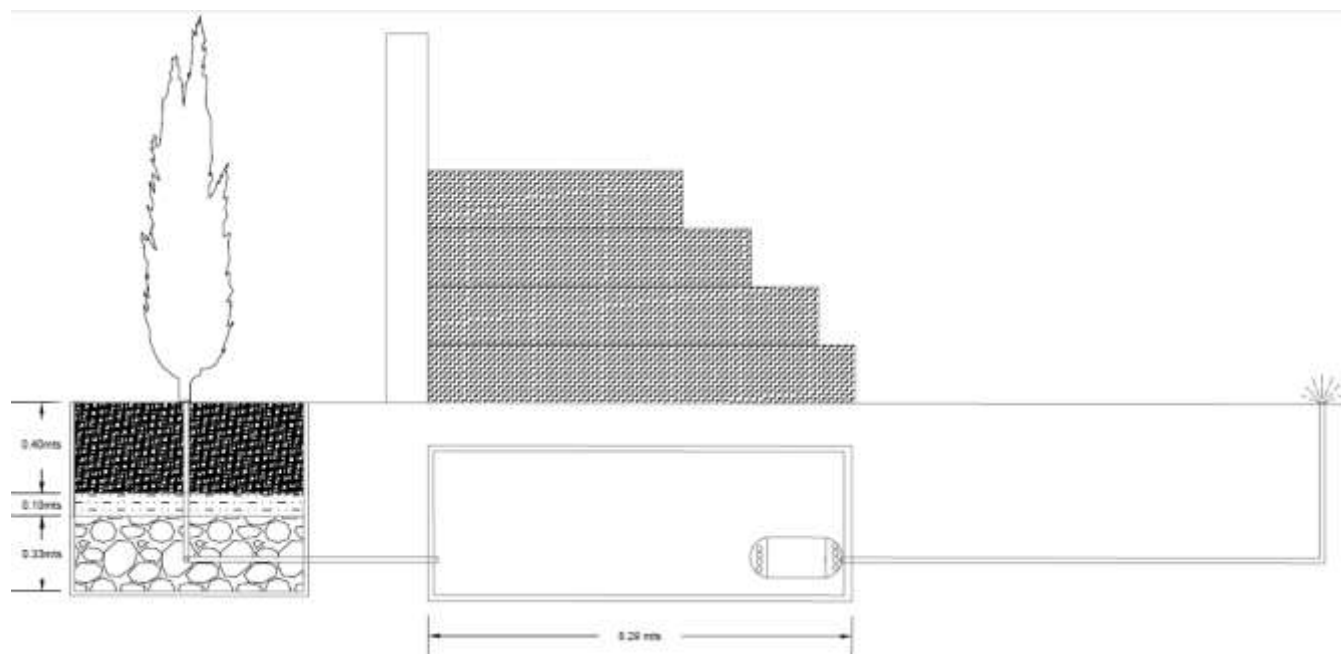


Figura 33Ampliación detalle diseño alcorque, tanque y rociadores.

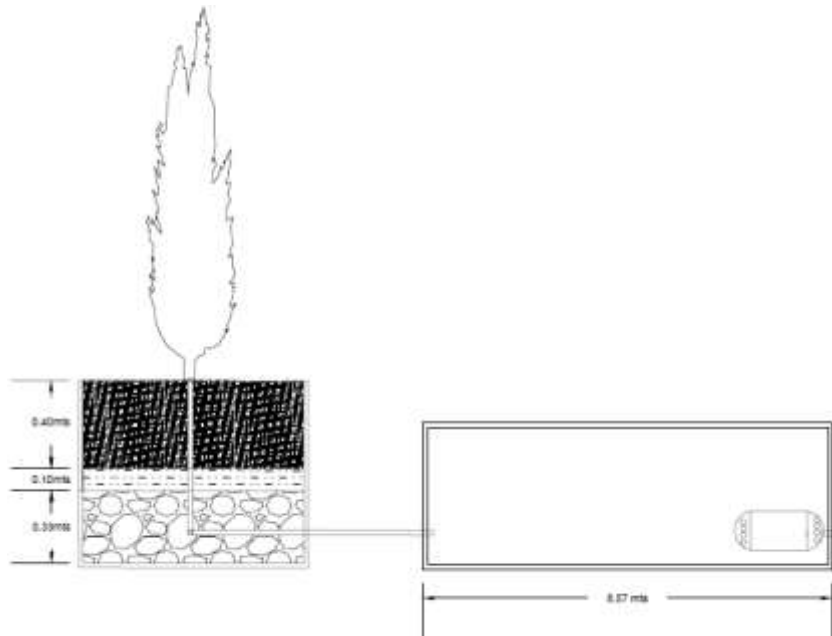


Figura 34 Ampliación detalle diseño alcorque y tanque. Zona De Expansión

Diseño de tipología: Zonas de bio-retención.

Para este diseño también se utilizaron los diagramas de flujo y las ecuaciones descritas en la guía técnica de diseño. En primer lugar, se determinó que la estructura es de tipo 2, caracterizada por no tener pendiente lateral. Lo primero que se tomó en cuenta fueron las medidas del área total del parque y de las 8 macetas.

Posteriormente, se obtuvieron los valores correspondientes al área de drenaje impermeable (A_{zb-I}), el área de drenaje total de la zona de bio-retención (A_{zb}) y el área de drenaje permeable (A_{zb-P}).

A continuación, se calculó el volumen de calidad de agua (V_c) utilizando la ecuación N.14. Para este cálculo, se determinaron varios valores como la profundidad de lluvia (h_p), el área de drenaje (A_d) y los coeficientes de escurrimiento tanto en el área verde como en el área de ladrillo (CA_v , CA_l).

$$V_c = h_p * A_d * C$$

Ecuación 14. Volumen de calidad de agua.

Luego, se calculó la profundidad efectiva (d_e) mediante la ecuación N.15. Para resolver esta ecuación, se utilizaron los datos de la profundidad de pondaje (d), seleccionando el valor más alto dentro del rango de 15 a 30 cm, la porosidad del sustrato (n_m) y la porosidad de la capa de drenaje (n_g), eligiendo un 30% dentro del rango de 30% a 40%. También se determinó la profundidad del sustrato (d_m), seleccionando un valor de 85 cm dentro del rango de hasta 90 cm.

$$d_e = d + (n_m * d_m + n_g * d_c)$$

Ecuación 15. Profundidad efectiva.

Finalmente se calcularon los valores del área superficial, el área superficial mínima y el diámetro de los orificios. Se recomendó el uso de una tubería de 4", obteniendo de esta manera el siguiente diseño.

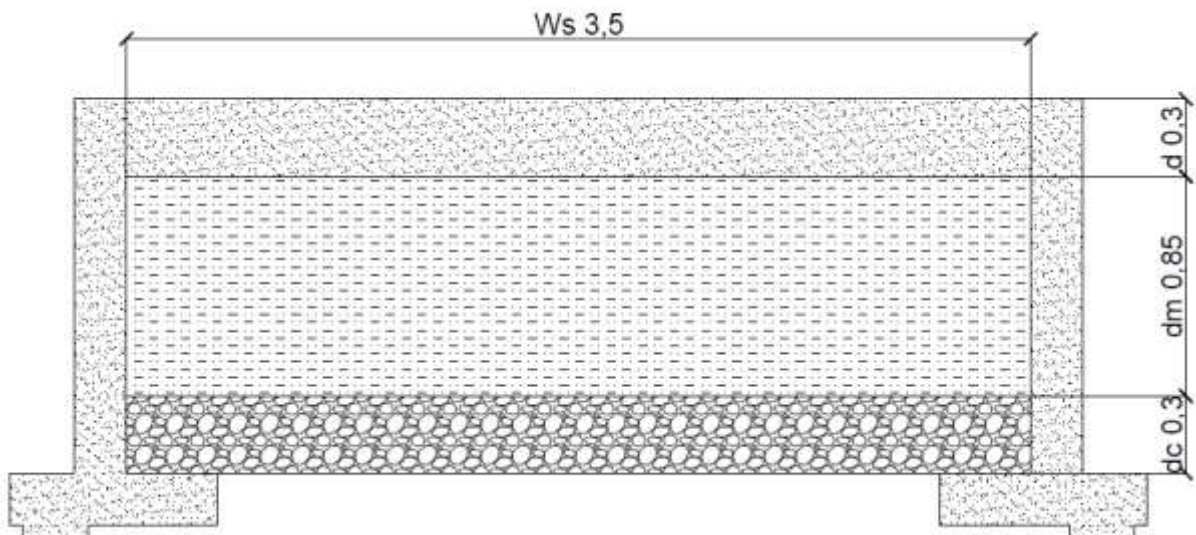


Figura 35 . Detalle Diseño zona de bio-retención Parque Principal – Parque Mina de Sal

Para complementar esta tipología y utilizando los elementos presentes en el parque principal, se propone que el agua captada por las zonas de bio-retención sea conducida a un tanque de almacenamiento ubicado debajo de la fuente central con el fin de reutilizar el agua lluvia. El diseño presentado en las siguientes figuras muestra como las tuberías de cada maceta están conectadas hacia el centro para facilitar dicha reutilización en la fuente.

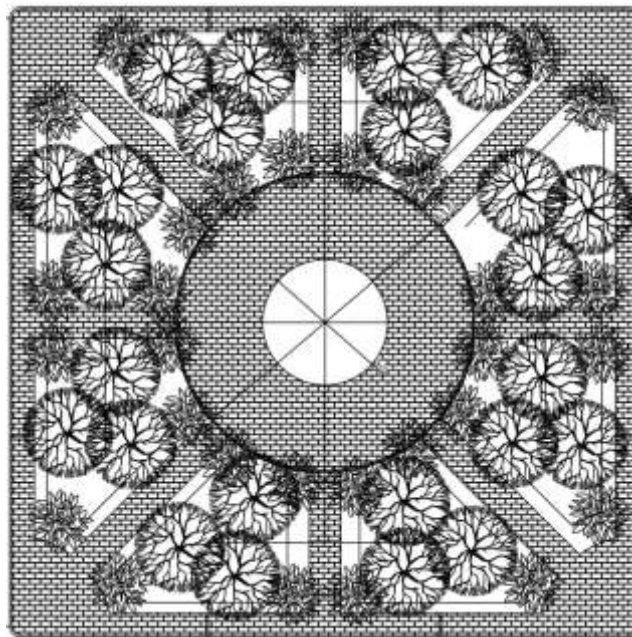


Figura 36 Diseño en planta

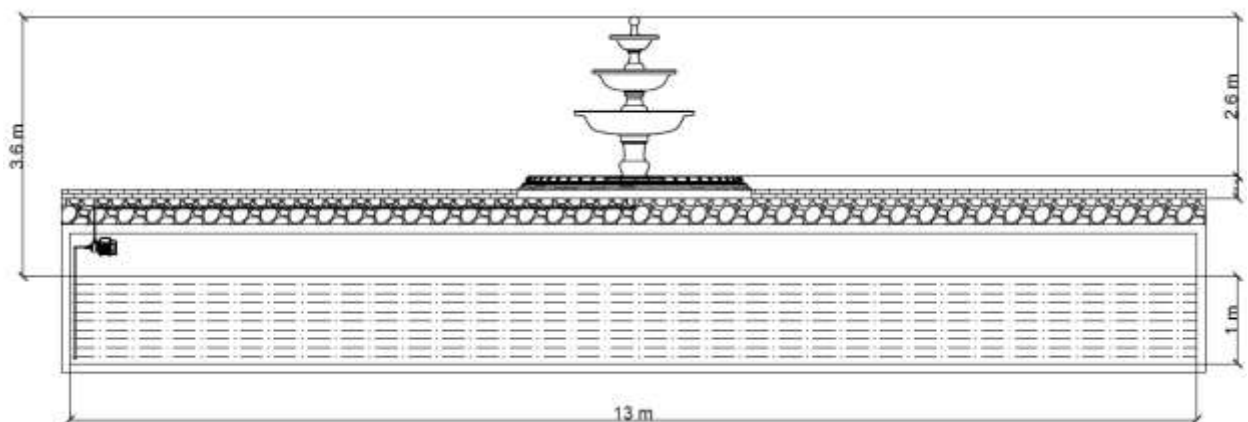


Figura 37 Detalle Zona Fuente Parque Principal

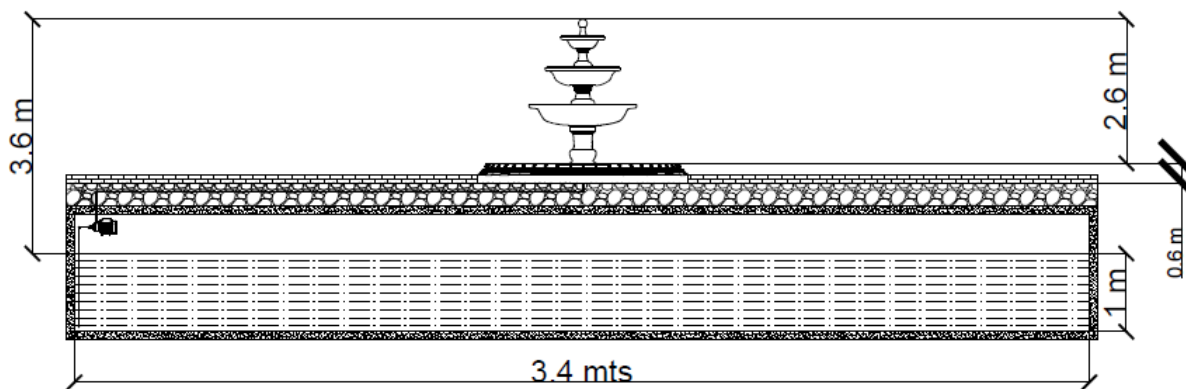


Figura 38 Detalle Zona Fuente Parque Mina de Sal

Para complementar esta tipología y utilizando los elementos presentes en el parque de la Mina de Sal, se propone que el agua captada por las zonas de bio-retención sea conducida a un tanque de almacenamiento ubicado debajo de la fuente central, con el fin de reutilizar el agua lluvia. El diseño presentado en las figuras N.39 y 40 muestran cómo las tuberías de cada maceta están conectadas hacia el centro para facilitar dicha reutilización en la fuente, se utiliza el mismo sistema que el parque anterior,

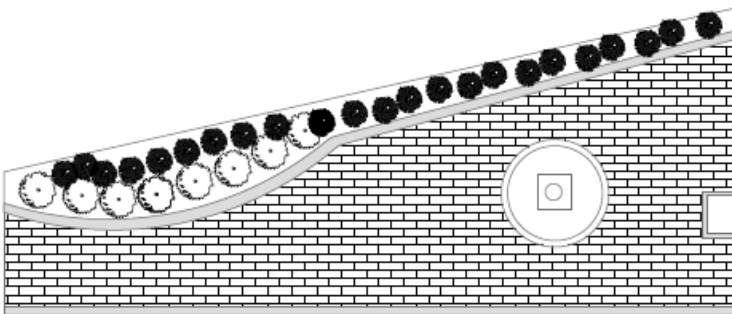


Figura 40 Diseño en planta

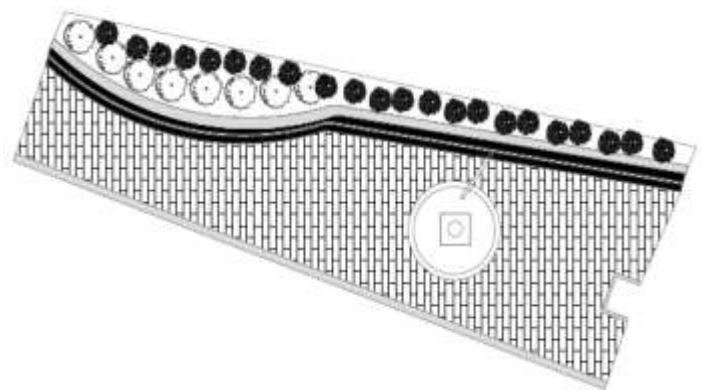


Figura 39 Diseño zona de bio-retención.

Después de realizar estos diseños se conocieron los siguientes resultados:

Zona de estudio	Área de la zona (m ²)	Caudal del área (m ³ /s)	Tipología SUDS	Cantidad a utilizar	Tamaño del tanque	Bomba
Parque principal	2097,27	253,88	Zonas de bio-retención	8	13 m x 13m	Vogt N610
Zona de expansión	607,55	73,48	Alcorques inundables	24	8,57m x 8,57m	Vogt N610
Parque de la mina de sal	143.27	17,34	Zona de bio-retención	1	3,4 m x 3,4m	Vogt N610
Cancha municipal	567,92	68,75	Alcorques inundables	22	8,29m x 8,29m	Vogt N610

Tabla 4. Análisis de los datos

Como posible solución, se propone la implementación de 8 zonas de bio-retención en el Parque Principal de Nemocón. Estas zonas captarían el caudal mediante tuberías de 4", que conducirían el flujo hacia un tanque de almacenamiento con dimensiones de 13 m x 13 m, equipado con una bomba VOGT N610 para garantizar el funcionamiento de la fuente correspondiente.

De igual forma, se plantea la instalación de 1 zona de bio-retención en el Parque de la Mina de Sal de Nemocón, donde la captación del agua se realizaría mediante tuberías de 4", dirigidas a un tanque de almacenamiento de 3.4 m x 3.4 m. Este sistema estaría dotado también de una bomba VOGT N610 para activar la fuente del parque.

En la zona de expansión, se sugiere la colocación de 24 alcorques inundables conectados por tuberías de 4" a un tanque de almacenamiento de 8.57 m x 8.57 m, el cual contaría con una bomba VOGT N610 para satisfacer las necesidades propias del sistema de gestión del agua.

Por último, en la cancha municipal, se propone la implementación de 22 alcorques inundables, conectados a través de tuberías de 4" a un tanque de almacenamiento de 8.29 m x 8.29 m. Este tanque incluiría una bomba VOGT N610 para permitir la reutilización del agua en el sistema de riego mediante rociadores, asegurando el mantenimiento de la cancha.

XIV. Conclusiones

- La revisión y validación de los documentos del plan maestro actual de alcantarillado pluvial permitió identificar un 25% de incumplimiento con respecto a la Norma de la RAS 0330, junto a las resoluciones 799 y 908 de 2021. Esto resalta la necesidad de abarcar las actualizaciones pertinentes que solicita la normatividad vigente, por lo que se desea aportar una posible actualización integrando un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible, aportando eficiencia al sistema de alcantarillado existente y dando cumplimiento normativo en especial al artículo 153 de la RAS y resoluciones. Esta solución se centra en proponer tipologías como zonas de bio-retención y alcorques inundables, los cuales aporten un mejoramiento en la escorrentía y uso de agua pluvial generando sostenibilidad en el transcurso de los años.
- La implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible ofrece soluciones efectivas para el manejo de la escorrentía, la eliminación de contaminantes y la mejora de la calidad del agua. En el caso del municipio de Nemocón debido a la presencia de dos parques con macetas la tipología más adecuada es la de las zonas de bio-retención por su integración con las áreas vegetales, estas cuentan con un área 2097,27 m² correspondiente al parque principal y un área de 143,27 m² correspondiente al parque de la mina de sal. Por otro lado, los alcorques inundables representan una excelente opción para áreas más pequeñas, ya que no alteran significativamente la infraestructura existente y contribuyen al embellecimiento del municipio, estas tipologías se proponen ser implementadas en zonas de expansión y zonas ya existentes, las cuales son cancha municipal y conjunto de la empresa XOACA cuyos

nombres son Rubí y Zafiro, con áreas de 567.92 m² y 607.55 m² respectivamente. Estas soluciones además de contribuir al manejo efectivo de escorrentía, mejoran la infraestructura y el entorno de las zonas en donde se proponen, generando sostenibilidad a largo plazo en el drenaje del municipio.

- Con el fin de desarrollar y seleccionar las tipologías adecuadas para cada una de las zonas seleccionadas, se realizó un estudio hidrológico, recopilando información de estaciones pluviométricas cerca al municipio, escogiendo la estación de Santa Rosita, ayudándonos a evidenciar el caudal máximo que se puede recolectar en cada una de las áreas de optimización nombradas anteriormente, dando los siguientes resultados: Parque principal 253.88 m³/s, Conjuntos residenciales 73.48 m³/s, 17.34 m³/s Parque mina de sal, 68.75 m³/s Cancha Municipal. Estos valores confirmaron la viabilidad técnica de la posible solución de la implementación del sistema urbano de drenaje sostenible en las zonas evaluadas.

XV. Recomendaciones

- Para futuros estudios, se ha establecido una base sólida que enriquece el conocimiento general del municipio, permitiendo identificar tanto las áreas que requieren soluciones como aquellas con potencial de desarrollo. En este contexto, se propone una posible solución para el cumplimiento del artículo 153 de la RAS. Se sugiere que quienes deseen avanzar en este estudio realicen ensayos de laboratorio con materiales que aporten un valor adicional a las tipologías mencionadas. Entre estos materiales, se recomienda explorar el uso de concreto permeable y pavimentos porosos de Cemex,

evaluando su desempeño en el contexto local.

Asimismo, se sugiere investigar el "Coque", un material proveniente de minas de carbón y compuesto por diversas partes de carbón, que a simple vista se asemeja a la gravilla. Este material puede ser utilizado en múltiples tipologías para optimizar su funcionamiento, especialmente como una de las capas en zonas de bio-retención o alcorques. Para facilitar esta investigación, se recomienda estudiar los municipios de Tausa y Sutatausa donde se encuentran estas minas, ya que podría ser una fuente viable para la producción de este material.

- Para futuros estudios, se recomienda profundizar en el análisis de las cunetas verdes y las zanjas de infiltración, especialmente para su posible implementación en la vía Mortiño a Nemocón o dentro del municipio, en la zona del Divino Niño, que cuenta con diversas áreas verdes adecuadas para estas soluciones. Es esencial que se realicen los estudios pertinentes para determinar si estas tipologías son viables, o si otras como las cuencas secas de drenaje extendido, los pavimentos permeables y los tanques de almacenamiento podrían aprovecharse en beneficio del municipio de Nemocón.
- Se sugiere que los entes correspondientes realicen estudios adicionales, incluyendo análisis hidrológicos, ya que los estudios actuales carecen de información suficiente para una toma de decisiones efectiva. Esto permitirá obtener datos pluviométricos precisos de las estaciones locales y mejorar la calidad de la información disponible en los documentos municipales. Además, es fundamental que los documentos relacionados con estos estudios estén disponibles para el público, lo que permitirá que los ciudadanos participen activamente en la identificación y solución de problemáticas que puedan surgir. Esta información facilitará el desarrollo de estrategias que

contribuyan al mejoramiento y actualización en la normatividad vigente, para el municipio de Nemocón.

XVI. Bibliografía

Ferrans, P. (2022). Sustainable Urban Drainage System (SUDS) modeling supporting decision-making: A systematic quantitative review [Modelado de sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS) como apoyo a la toma de decisiones: una revisión cuantitativa sistemática]. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150447>

Montoya-Coronado, V. A., Tedoldi, D., Lenormand, E., Castebrunet, H., Molle, P., & Lipeme Kouyi, G. (2024). Combined sewer overflow mitigation through SUDS - A review on modelling practices, scenario elaboration, and related performances [Mitigación combinada de desbordes de alcantarillado mediante SUDS: una revisión de las prácticas de modelado, elaboración de escenarios y desempeños relacionados]. Journal of Environmental Management, 362(121073), 121073. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121073>

Alves, A., Sanchez, A., Vojinovic, Z., Seyoum, S., Babel, M., & Brdjanovic, D. (2016). Evolutionary and holistic assessment of green-grey infrastructure for CSO reduction [Evaluación evolutiva y holística de la infraestructura verde-gris para la reducción de las OSC]. Water, 8(9), 402. <https://doi.org/10.3390/w8090402>

Zeyu Xue, P. P. (s/f). Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible. Uah.es. Recuperado el 25 de agosto de 2024, de

https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/44038/TFM_Xue_Zeyu_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Joshi, P., Joao Paulo Leitão, Maurer, M., & Peter Marcus Bach. (2021). Not all SuDS are created equal: Impact of different approaches on combined sewer overflows [No todos los SuDS son iguales: impacto de diferentes enfoques en los desbordes de alcantarillado combinados]. *Water Research*, 191, 116780–116780. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116780>

Botero, A. F. (2018). Definición de un procedimiento para la planeación de sistemas de drenaje sostenibles y flexibles en cuencas urbanas en expansión. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/69022>

Min. Vivienda. (2022, junio 30). Guía metodológica para la formulación e implementación de sistemas urbanos de drenaje sostenible.

Gov.co. https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/suds_v.0.0.pdf

Min, V. (s/f). Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Gov.co. Recuperado el 25 de agosto de 2024, de <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/anexo-2-articulado-definitivo-rev-sspd-1.pdf>

CIIA. (2017, febrero 24). Guía de Sistema Urbanos de drenaje sostenible- documento técnico

de soporte -SUDS. Issuu. https://issuu.com/sda2015/docs/gu_a_t_cnica_de_dise_o_y_construcci

Puentes, L. E. M. (2024). Desarrollo de herramientas para el registro y seguimiento de SUDS: Caso de estudio alcorques inundables ubicados en la Calle 132 con Avenida Ciudad de Cali, en la ciudad de Bogotá. Edu.co.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/86153/1020803926.2024.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Bertrand, N. J. L. (2022, junio). Propuesta para la implementación de sistemas urbanos de drenaje sostenibles (SUDS) en la ciudad de Tunja Boyacá.

Edu.co.

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/43632/LaraBertrandNatalyJohanna2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Córdoba. (2016). Descripción de los sistemas urbanos de drenaje sostenible como estrategia para la mejora de la calidad de vida humana y prevención de inundaciones.

<https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/87525e4a-578e-4c3c-9398-c6d7693bd082/content>

López, J. A. R, (2022). Análisis de sistemas urbanos de drenaje sostenible para la

reutilización del agua lluvia en la facultad tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/4e3e47de-63b4-4883-be11-02654267e07c/content>

Ortega, A. D. (2023). Building flood-resilient cities by promoting SUDS adoption: A multi-sector analysis of barriers and benefits in Bogotá, Colombia [Construir ciudades resilientes a las inundaciones mediante la promoción de la adopción de SUDS: un análisis multisectorial de barreras y beneficios en Bogotá, Colombia]. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.103621>

Jiménez, A. P. (2020). Evaluación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible para mitigar los efectos de Inundaciones Pluviales en la cuenca Palogrande, ciudad de Manizales [Universidad Nacional de Colombia].

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/79145/75098658.2020.pdf?sequence=7&isAllowed=y>

Ocampo, Y. A. C. (2023). Evaluación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible -SUDS- de pequeña escala. Caso de estudio quebrada El Guamo [Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/85514/1107045792.2023.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Colombia, G. (2018). DANE- Información para todos - NEMOCON CUNDINAMARCA. https://sitios.dane.gov.co/cnpv/app/views/informacion/perfiles/25486_infografia.pdf

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (Ed.). (n.d.). REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESITENTE- NSR-10.
[https://www.idrd.gov.co/sites/default/files/documentos/Construcciones/titulo-a-nsr- 100.pdf](https://www.idrd.gov.co/sites/default/files/documentos/Construcciones/titulo-a-nsr-100.pdf)

Empresas Públicas de Cundinamarca S.A E.S.P. (2018). Diagnóstico y análisis y selección de alternativas Tomo II- Sistema de Alcantarillado

Empresas Públicas de Cundinamarca S.A E.S.P. (2018). Diagnóstico y análisis y selección de alternativas Tomo I- Generalidades.