

Propuesta de Mejora Para el Proceso de Captación de Agua Lluvia en la Secretaria
Distrital de Ambiente

Mónica Ceferino Giraldo

Cód. 100158616

Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano

Maestría en Gerencia de Proyectos

Trabajo de Grado

Asesor:

Jairo Enrique Parra Herrera

Bogotá, Marzo de 2024

Tabla de Contenido

Introducción	6
Planteamiento del Problema.....	8
Formulación del Problema.....	12
Justificación.....	12
Objetivo General.....	13
Objetivos Específicos.....	13
Línea de Investigación.....	13
Marco Conceptual	14
Marco Teórico	20
Sostenibilidad ambiental y Gestión de Proyectos.....	20
Uso eficiente del agua.....	21
Aprovechamientos de techos y zonas verdes.	22
Metodología Utilizada.....	29
Tipo o Diseño de la Investigación	29
Diagnóstico Estado Actual del Sistema de Captación de Agua Lluvia en la SDA	30
Áreas y medios de captación de agua lluvia	30
Sistemas de conducción de agua lluvia.....	31
Desarenador.	32
Tanque de almacenamiento.....	33
Medidores de agua (caudalímetros).....	34
Sistema de distribución o de entrega.	35
Levantamiento y Análisis de Información.....	36
Participantes (o unidades de observación).....	36
Los usuarios internos,	36
El personal de mantenimiento.....	36
La observación directa	37
El análisis documental	37
Técnicas o estrategias de organización de la información recolectada	38
Análisis descriptivo	40
Propuesta de Mejora para el Sistema de Captación de Agua de Lluvia en la Secretaría Distrital de Ambiente	42

Análisis.....48
Conclusiones54
Bibliografía.....55

Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1: Empozamiento en áreas verdes	9
Ilustración 2: Tanque de almacenamiento	9
Ilustración 3: Coloración en sanitarios	11
Ilustración 4: alimentación del sistema-agua lluvia.....	14
Ilustración 5: Proceso de captación en las áreas duras y áreas verdes.....	15
Ilustración 6: Rejillas con gravilla -filtros	16
Ilustración 7: tubería y desarenador.....	17
Ilustración 8: Caudalímetros y tanque de almacenamiento de agua.....	18
Ilustración 9: Sistema de bombeo y baterías sanitarias	19
Ilustración 10: Función de los componentes de un techo verde	24
Ilustración 11 Sistema de captación de agua pluvial en techos	25
Ilustración 12: Estado actual de filtros	31
Ilustración 13: Proceso que se realiza en la recolección de agua lluvia	32
Ilustración 14: Desarenador.....	33
Ilustración 15: Tanque de almacenamiento de agua.....	34
Ilustración 16: Caudalímetros uno digital y otro análogo	34
Ilustración 17: Sistema de Distribución.....	36
Ilustración 18: Diagrama sistema de captación de agua lluvia.....	38
Ilustración 19: Planos ubicación de filtros.....	39
Ilustración 20: Plano tanque de almacenamiento de agua	39
Ilustración 21: EDT	42
Ilustración 22: Alternativas para mejorar el sistema de captación de agua lluvia SDA	44
Ilustración 23: Diagrama comparativo agua lluvia recolectada en los últimos 4 años	49
Ilustración 24: Volumen facturado Vs Volumen recolectado agua lluvia	51

Listado de tablas

Tabla 1: Consolidado del Volumen captado de agua lluvia del año 2023	10
Tabla 2: Consolidado del Volumen captado de agua lluvia en los últimos 4 años	49
Tabla 3: Consolidado consumo de agua por bimestre en los últimos dos años	51

Introducción

La escasez de agua es un desafío cada vez más apremiante en muchas ciudades del mundo, y Bogotá no es una excepción. La disponibilidad de agua es fundamental para la salud humana, el desarrollo económico y la preservación del medio ambiente. En este contexto, la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia se presenta como una solución sostenible y eficaz para mitigar la escasez de agua.

Hace más de 14 años, la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá tomó la iniciativa de instalar un sistema de captación de agua de lluvia en sus instalaciones como parte de su compromiso con la sostenibilidad ambiental. Este sistema ha sido utilizado para abastecer las baterías sanitarias de la entidad, representando un paso significativo hacia la conservación de recursos hídricos y la reducción del consumo de agua potable.

Con el paso del tiempo, es necesario reconocer que cualquier infraestructura requiere un mantenimiento y actualización adecuados para garantizar su eficacia a largo plazo. En este sentido, el sistema de captación de agua de lluvia instalado en la Secretaría Distrital de Ambiente demanda un diagnóstico y propuesta de mejora para optimizar su rendimiento y asegurar su contribución continua a la gestión sostenible del agua en la institución.

El objetivo principal de este proyecto es diseñar una propuesta para mejorar el sistema de captación de agua de lluvia en la Secretaría Distrital de Ambiente, con el propósito de incrementar su eficiencia y sostenibilidad. Esto se llevará a cabo mediante un diagnóstico del sistema existente y la investigación de posibles alternativas de implementación que permitan maximizar su rendimiento y beneficios ambientales.

Con el apoyo y compromiso de todas las partes involucradas, se espera que este proyecto no solo beneficie a la Secretaría Distrital de Ambiente, sino que también inspire a otras instituciones

y comunidades a invertir en la mejora y mantenimiento de sus sistemas de captación de agua de lluvia, en aras de construir un futuro más resiliente y sostenible para todos.

Planteamiento del Problema

La Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) despliega un papel crucial como autoridad ambiental en el Distrito Capital de Bogotá. Desde la adquisición de su sede administrativa en la Avda. Caracas No. 54-38 en la localidad de Chapinero en el año 2009, se ha enfrentado al desafío de gestionar adecuadamente sus recursos hídricos, especialmente ante las características climáticas de la zona, conocida por sus altas precipitaciones de lluvia.

Con el objetivo de optimizar el uso de los recursos naturales y promover la sostenibilidad, se diseñó e instaló un sistema de captación de agua de lluvia en el edificio administrativo de la SDA. Este sistema se compone de áreas duras, como techos y pisos, y áreas verdes, como jardines, terrazas y balcones, que permiten captar el agua de lluvia a través del escurrimiento y filtrado.

El sistema actual presenta desafíos significativos en términos de mantenimiento y aprovechamiento del agua captada. Se ha observado que partes de los techos verdes carecen de cobertura vegetal, lo que deja el sustrato o medio de cultivo desprotegido (ver fotografía); esta situación conlleva a que, durante las lluvias, el material expuesto sea arrastrado a través de las bajantes y termine obstruyendo los sistemas de conducción del agua, lo que compromete la eficacia del sistema de captación de agua de lluvia.

Ilustración 1: Empozamiento en áreas verdes



Fuente: Fotografías en la SDA- 2023

El agua captada en los techos verdes es recolectada en un tanque de almacenamiento de agua, ubicado en el sótano de la entidad; pero como los filtros ubicados en las terrazas dejan pasar material de las cubiertas, este llega al tanque ocasionando que el agua tome un color oscuro, el cual se evidencia en el agua captada y la presencia de sedimentos en el fondo del tanque, que podría obstruir los sistemas de filtración y distribución, reduciendo la eficiencia del sistema. (Ver fotografía).

Ilustración 2: Tanque de almacenamiento



Fuente: Fotografías en la SDA- Diciembre 2023

Las deficiencias observadas en el sistema de captación de agua de lluvia, han generado una percepción negativa entre los usuarios internos y externos de la Secretaría Distrital de

Ambiente (SDA). Esta percepción se centra en la calidad del agua recolectada, que se considera inadecuada para las baterías sanitarias de la entidad.

El sistema de captación de agua de lluvia desempeña un papel crucial en la gestión ambiental de la entidad, ya que no solo genera un impacto positivo en términos de sostenibilidad y conservación del agua, sino que también sirve como ejemplo para otras instituciones. Dentro del marco del Plan Institucional de Gestión Ambiental (PIGA), se establece la generación de informes de seguimiento sobre la captación de agua lluvia.

Estos informes permiten monitorear la cantidad de agua recolectada por mes, utilizando caudalímetros instalados en la tubería de entrada al tanque de almacenamiento de agua lluvia. Estos controles son esenciales para gestionar de manera efectiva el uso de agua de lluvia en la sede administrativa diariamente, la cual abastece a unos 600 usuarios internos y 100 externos aproximadamente, garantizando así una adecuada y eficiente administración del recurso hídrico.

Tabla 1: Consolidado del Volumen captado de agua lluvia del año 2023

CONSOLIDADO 2023			
MES	Volumen Total Recolectado (m ³)	Valor por m ³ (\$)	Valor Ahorrado
Enero	134	\$ 3.112,83	\$ 417.119
Febrero	99	\$ 3.112,83	\$ 308.170
Marzo	213	\$ 3.155,28	\$ 672.390
Abril	57	\$ 3.254,32	\$ 185.366
Mayo	158	\$ 3.254,32	\$ 513.987
Junio	31	\$ 3.280,90	\$ 101.708
Julio	124	\$ 3.368,22	\$ 417.659
Agosto	82	\$ 3.368,22	\$ 276.194
Septiembre	109	\$ 3.352,24	\$ 365.394
Octubre	79	\$ 3.270,06	\$ 258.335
Noviembre	241	\$ 3.275,95	\$ 788.144
Diciembre	268	\$ 3.275,95	\$ 879.503
Total	1.595		\$ 5.183.970
Promedio	133		\$ 431.997

Fuente: Informe del Plan Institucional de Gestión Ambiental (PIGA SDA) 2023.

Las variaciones en el volumen de agua recolectada están directamente influenciadas por las épocas de lluvia en el sector. Durante los períodos de lluvia intensa, se registra un aumento

significativo en la cantidad de agua captada, mientras que en épocas de sequía o menor precipitación, el volumen recolectado puede disminuir.

La falta de mantenimiento correctivo es el principal desafío que enfrenta el sistema. Este problema se manifiesta en la inadecuada retención de material sólido por parte de los filtros instalados en las terrazas verdes durante la captura de agua de lluvia, toda vez que estos filtros no están funcionando de manera óptima para retener el sustrato utilizado en los techos verdes, lo que resulta en su transporte hasta los tanques de almacenamiento de agua.

De igual forma la ausencia de un filtro en el desarenador constituye una deficiencia en el sistema de captación de agua de lluvia, ya que permite que el material sólido pase inadvertido y se acumule en el tanque de almacenamiento. Como consecuencia, el agua almacenada adquiere una coloración oscura, que se evidencia en el agua suministrada a las baterías sanitarias. (Ver fotografía).

Ilustración 3: Coloración en sanitarios



Fuente: Fotografía en la SDA- Diciembre 2023

Formulación del Problema

¿Cuáles son las alternativas posibles para optimizar la calidad y la eficiencia en el proceso de captación de agua de lluvia en la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, garantizando su sostenibilidad y minimizando los impactos negativos?

Justificación

Este proyecto de investigación radica en la necesidad de abordar las deficiencias identificadas en el sistema de captación de agua de lluvia de la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA); permitiendo a la SDA generar un proceso de recuperación, adaptación y transformación de su sistema de recolección de aguas lluvias en un horizonte de tiempo, con el objetivo primordial de cumplir con su misión de recuperación y aprovechamiento del recurso hídrico.

La situación planteada constituye una motivación fundamental para emprender este proyecto de investigación, ya que la mejora del proceso de captación de agua de lluvia en la SDA no solo es esencial para la entidad en sí, sino que también tiene un impacto significativo en la preservación de los recursos hídricos y en el logro de los objetivos de sostenibilidad ambiental en la región.

La investigación y las soluciones propuestas contribuirán a garantizar que el sistema de captación de agua de lluvia siga siendo una herramienta eficaz y respetuosa con el medio ambiente para abastecer las baterías sanitarias de la entidad. Además, estas mejoras promoverán la gestión sostenible del agua en la SDA, fortaleciendo así su compromiso con la preservación del medio ambiente y el desarrollo sostenible en Bogotá.

Objetivo General

Diseñar una propuesta para mejorar el sistema de captación de agua de lluvia en la Secretaría Distrital de Ambiente, con el propósito de incrementar su eficiencia y sostenibilidad, mediante la evaluación del sistema existente y la investigación de alternativas óptimas de implementación.

Objetivos Específicos

- Diagnosticar el sistema actual de captación de agua de lluvia en la entidad para comprender su estado actual.
- Identificar las diversas alternativas para mejorar el sistema de captación de agua de lluvia en la entidad.
- Analizar las alternativas identificadas y clasificarlas en función de su viabilidad y eficacia, considerando aspectos técnicos, económicos y medioambientales, con el objetivo de seleccionar la alternativa óptima para abordar el problema o la situación específica.

Línea de Investigación

La línea de investigación en la que se enmarca este proyecto se enfoca en el Desarrollo Sostenible, con un énfasis en el aprovechamiento responsable del recurso hídrico a través del mantenimiento y mejora del sistema de captación de agua de lluvia de la Secretaría Distrital de Ambiente. Esta investigación busca optimizar el funcionamiento del sistema aprovechando tanto las áreas duras, como las áreas verdes, para captar el agua de lluvia mediante el escurrimiento y filtrado.

De esta manera, se busca contribuir al uso eficiente y sostenible de este recurso natural, promoviendo así la gestión responsable del agua y la conservación del medio ambiente en Bogotá.

Marco Conceptual

La investigación se centra en el análisis del sistema de captación de agua lluvia de la Secretaría Distrital de Ambiente en Bogotá.

Captación de agua de lluvia: es la recolección, transporte y almacenamiento del agua de lluvia que cae sobre una superficie de manera natural o hecha por el hombre. (PNUMA, 2008).

- El proceso del sistema de captación, inicia con la alimentación al sistema que se realiza con el agua lluvia.

Ilustración 4: alimentación del sistema-agua lluvia



Fuente: foto propia de la SDA Nov-2023

Agua: es una molécula sencilla, formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. El hidrógeno es el elemento más común en el Universo; el oxígeno es también relativamente abundante (es el elemento más abundante después del hidrógeno y del helio: hay aproximadamente un átomo de oxígeno por cada mil de hidrógeno). Así, uno pensaría que si se dan las condiciones adecuadas estos átomos se unirían para formar agua. (Revista ciencia, 2007).

Las aguas pluviales: son agua de lluvia que no es absorbida por el suelo, sino que escurre de edificios, calles, estacionamientos y otras superficies. Las aguas pluviales se recolectan en alcantarillas y fluyen a colectores pluviales y al sistema de drenaje pluvial de la ciudad.

La lluvia: La lluvia o precipitación es uno de los fenómenos atmosféricos más usuales, recurrentes y necesarios de los que tienen lugar en nuestro planeta. Pero debemos pensarla como la parte más visible de un circuito mucho mayor: el ciclo hidrológico, en el que el agua de nuestro planeta cambia de estado físico y circula por diversos ambientes. El agua de lluvia cae en forma de pequeñas gotas redondas, de unos 0,5 a 6,3 mm de diámetro (o incluso menores, dependiendo del tipo de precipitación), formadas en las nubes que se hallan en la porción más baja de la atmósfera. (Concepto Editorial, 2022)

La precipitación: Es el agua liberada por las nubes en forma de lluvia, aguanieve, nieve o granizo, aunque la mayor parte de la precipitación se presenta en la lluvia y es uno de los componentes principales del ciclo hidrológico. (King, Kennett, Devon, & Sellés Martínez, 2009).

- El agua es captada a través de las áreas duras (techos y pisos) y áreas verdes (Jardines, terrazas y balcones) de Entidad.

Ilustración 5: Proceso de captación en las áreas duras y áreas verdes



Fuente: foto propia de la SDA Nov-2023

Áreas o zonas verdes Espacio urbano libre generalmente cubierto por pasto o rostrojo, puede ubicarse dentro de orejas, manzanas, separadores, áreas internas de conjuntos y parques. Se capturan aquellas cuyo ancho o lado menor sea mayor o igual a 1 (un) metro a nivel de terreno. (IDECA).

Techo verde: Los techos verdes son construcciones que permiten mantener un paisaje vegetal sobre la cubierta de una edificación y, así, garantizar el aprovechamiento de dicho espacio de manera sostenible. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2023)

Zonas o superficies duras: como los techos o el escurrimiento de suelos. Es una técnica ancestral que está recuperando su popularidad ahora que cada vez más gente está buscando maneras de usar las fuentes de agua de forma más inteligente. (Soluciones hidropuivales, 2018).

- El agua captada es llevada a las rejillas cubiertas por gravilla, que sirven de filtro de las impurezas que se puedan transportar.

Ilustración 6: Rejillas con gravilla -filtros



Fuente: foto propia de la SDA Nov-2023

Captación de agua: conjunto de estructuras necesarias para tomar el agua de una fuente de abastecimiento (MVCT, 2017. MADS)

Escurrecimiento: Se denomina escurrimiento superficial al agua procedente de la lluvia que circula por la superficie y se concentra en los cauces. El escurrimiento superficial fluye en

función de las características topográficas, geológicas, climáticas y de vegetación de la cuenca. También está íntimamente ligado a la relación entre aguas superficiales y subterráneas de la cuenca. (Soluciones hidroluviales, 2018)

Filtro de agua. Se refiere a un dispositivo que elimina las impurezas con las que llega el agua hasta tu casa y lo puede hacer a través de una barrera física, un proceso biológico o químico. (WATER STATION, 2019, Párrafo 5).

Grava o gravilla: Las gravas pueden ser finas o gruesas de gran desempeño debido a las materias primas utilizadas y a la aplicación de altos estándares de calidad en el proceso de fabricación de estos productos. (CEMEX)

Proceso de filtración: Se le denomina filtración al procedimiento de pasar el líquido por un medio poroso o materiales granulares. (AQUAE Fundación. Párrafo 2).

- Una vez filtrada el agua pasa por tuberías que la transportan hasta el desarenador.

Ilustración 7: tubería y desarenador



Fuente: foto propia de la SDA Nov-2023

Desarenador: es una estructura rectangular hecha de concreto, funge como pre tratamiento y su finalidad es eliminar del agua agentes contaminantes como son la arena, escombros, arcilla, barro, entre otros desechos. (GCTRATAMIENTO, 2023, ¿Qué es desarenador?)

Tuberías para transporte de agua: son un componente esencial en muchos procesos industriales, así como en sistemas de suministro de agua, gas y calefacción en hogares y edificios. Existen diversos tipos de tuberías en el mercado, cada una con características y propiedades únicas que las hacen ideales para diferentes aplicaciones. (GRUPO, HIDRAULICA, 2023).

- Luego el agua pasa por dos Caudalímetros uno digital y otro análogo que permiten medir la cantidad de agua lluvia que llega al tanque de almacenamiento de agua.

Ilustración 8: Caudalímetros y tanque de almacenamiento de agua



Fuente: Fotografías directas en la SDA- 2023

Caudalímetros: es un instrumento o dispositivo que sirve para medir el caudal de agua corriente o gasto volumétrico de un fluido y tradicionalmente se instala en línea con la tubería que transporta el líquido. (Hidrosistemas, 2022)

Almacenamiento de agua lluvia captada: El almacenamiento se le llama al lugar donde se guarda toda el agua de lluvia recolectada por el sistema, este espacio debe tener las condiciones adecuadas para conservar el agua para que se le dé el uso final. (Miranda, Kate, 2023).

- En el tanque hay unas bombas que son las que permite transportar el agua a las unidades sanitarias específicamente a las cisternas.

Ilustración 9: Sistema de bombeo y baterías sanitarias



Fuente: foto propia de la SDA Nov-2023

Sistema eléctrico de bombeo: es una maquinaria que se utiliza para bombear agua de un lugar a otro, moviendo cualquier fluido, el más común es el agua. (Electrobombas Javea, tecnologías de agua)

Cisterna: Es ese depósito que almacena agua para tirar de la cadena y eliminar los residuos que generamos cuando hacemos nuestras necesidades. (Agua Ecosocial).

- En conclusión la investigación se centra en presentar una propuesta para mejorar el proceso del sistema de captación de agua lluvia en la Secretaria Distrital de Ambiente, con el fin de mejorar la calidad del agua y la perspectiva de los usuarios.

Calidad del Agua: se define como aquellas condiciones que deben darse en el agua para que ésta mantenga un ecosistema equilibrado y cumpla unos determinados objetivos de calidad y está definida por las características físicas, químicas, biológicas y ecológicas. (MADS -ENA 2014).

Marco Teórico

A lo largo de la historia, diversas civilizaciones han empleado diferentes métodos para captar y utilizar el agua de lluvia, aunque su estudio y documentación son relativamente recientes. La distribución global de estructuras de captación de agua de lluvia, junto con su persistente uso a lo largo del tiempo, evidencian su importancia en la agricultura y el abastecimiento doméstico, especialmente en regiones áridas o semiáridas. (Ballén José, 2006)

Sostenibilidad ambiental y Gestión de Proyectos.

La sostenibilidad se ha convertido en un tema de tendencia en la práctica y la investigación de la gestión de proyectos.

Las Prácticas de gestión de proyectos ecológicos GPM se definen como procesos respetuosos con el medio ambiente que permiten la toma de decisiones con conciencia ecológica en las distintas etapas del proyecto (Silvius et al., 2017). Según Carvalho y Rabechini Junior (2015), el GPM puede verse desde una perspectiva interna o externa; señalaron que la perspectiva interna está vinculada al ciclo de vida del proyecto, las áreas de conocimiento y los grupos de procesos, mientras que la perspectiva externa está vinculada al impacto social y ambiental del proyecto en una perspectiva más amplia. (M Malik, M Ali, H Latan, 2023)

Las prácticas de gestión de proyectos ecológicas pueden mejorar significativamente la capacidad de un proyecto de construcción sostenible, lo cual se logra aplicando una matriz que presenta ajustes específicos a las prácticas tradicionales de gestión de proyectos, que muestra en

qué parte del ciclo de vida de la gestión del proyecto, se deben realizar ajustes para entregar un proyecto de construcción sustentable exitoso; además resalta la importancia que un proyecto verde mejora sus posibilidades de éxito financiero si un equipo interdisciplinario participa en las primeras etapas y durante todo el proyecto. (LB Robichaud, 2011)

El aprovechamiento de los techos verdes es propuesto como una tecnología sostenible, en la medida que tienen la capacidad de captar agua de lluvia, reduciendo el riesgo a inundaciones por empozamiento de agua pluvial. Por ejemplo en Auckland, Nueva Zelanda, se reportó una retención de 66% en un techo verde extensivo (Nawaz, McDonald, & Postoyko, 2015).

La construcción de edificios ambientalmente sostenibles ha experimentado un crecimiento significativo durante los últimos 10 años. Factores, incluidos los precios más altos de la energía, el aumento de los costos de los materiales de construcción y los incentivos regulatorios, están impulsando el crecimiento y la expansión del mercado de la construcción sustentable. El objetivo de este artículo es sugerir modificaciones específicas a las prácticas de construcción convencionales para optimizar la ejecución de proyectos de construcción sustentable rentables. (Bradley Robichaud, Lauren, 2010)

Uso eficiente del agua.

Es importante resaltar que el crecimiento económico y demográfico está aumentando la demanda de agua, pero además, las consecuencias ambientales del cambio climático, la contaminación y la extracción excesiva de agua subterránea están disminuyendo el suministro mundial de agua dulce. Esto hace que la disponibilidad de agua para uso humano sea una de las mayores preocupaciones globales de este siglo. En el libro de Water Conservation in Urban Households, nos muestras los beneficios que tenemos al hacer un uso eficiente del agua, generando Conservación del agua en hogares urbanos es un depósito único de información sobre

conservación del agua para académicos, profesionales y formuladores de políticas. (Ferdous Hoque, Sonia 2014)

Aprovechamientos de techos y zonas verdes.

La ciudad de Bogotá, Colombia, se ha visto inmersa en problemas de inundaciones por empozamientos de agua pluvial y aumento tanto en la temperatura promedio como en la contaminación del aire. Las tecnologías verdes representan un mecanismo para la mitigación de tales problemas. Esta investigación analiza el comportamiento de la inundación urbana en el sector norte de la localidad de Chapinero, al sustituir las cubiertas existentes por techos verdes mediante modelación computacional.

Asimismo, se construye un prototipo de techo verde en donde se analiza la calidad del agua de lluvia antes y después de filtrarse por diferentes sustratos (mezclas de tierra de jardín y cascarilla de arroz, humus, arena y/o aserrín), y plantas (Sedum, Asparagus plumosus y Soleirolia), con el fin de determinar los materiales con los cuales se controlen las condiciones de calidad de agua de lluvia una vez se filtre a través dichas cubiertas. (Tecnología y ciencias del agua, 2020)

La gestión tradicional de las aguas pluviales se ha basado en infraestructura gris, como tuberías de transporte, pero las ciudades están optando por la infraestructura verde, que aprovecha el suelo y la vegetación para gestionar las aguas pluviales en su origen. Sin embargo, este enfoque limitado en la infiltración ignora otras pérdidas del ciclo hidrológico.

Se propone considerar la arboricultura como medida adicional de control de aguas pluviales. Los árboles interactúan con el ciclo hidrológico urbano al interceptar la precipitación, transpirar agua del suelo y mejorar la infiltración, lo que refuerza el desempeño de otras tecnologías de infraestructura verde. Para utilizar eficazmente los árboles en el control de aguas pluviales, es

crucial comprender mejor sus interacciones y considerar el contexto específico de las prácticas arborícolas óptimas y los marcos institucionales. (Berland Adam, 2017)

El empleo del agua de lluvia en sustitución del agua potable para determinados usos (descarga de inodoros, riego, o lavadoras), puede ser tenida en cuenta como alternativa para la mejora de la eficiencia del uso de recursos hídricos (López-Patiño, Martínez-Solano, Fuertes-Miquel, & López-Jiménez, 2011). (Tecnología y ciencias del agua, 2020)

El intercambio dióxido de carbono/oxígeno de la vegetación de un techo verde produce suficiente oxígeno por un año para suministrar a una persona (Kravits, 2007). Asimismo, una superficie de 15 m x 15 m es suficiente para suplir de oxígeno a una familia de cuatro personas cada día (Psencik & Heller, 2012). Un caso exitoso para contrarrestar este problema está en Hong Kong, donde en un día soleado, un techo verde extensivo reduce la concentración de dióxido de carbono hasta en un 2% (Zielinski, Carlos, Paternina, & Marta, 2012). Evidentemente los techos verdes benefician a una ciudad con problemas de contaminación. (Tecnología y ciencias del agua, 2020).

La capa vegetal proporciona una cobertura viva (ver imagen), y dadas las diversas condiciones climáticas y químicas a las que están sujetas las plantas del techo (Secretaría Distrital de Ambiente, 2011), se deben analizar las características de la vegetación, con el fin de garantizar la subsistencia y sostenibilidad del techo.

Ilustración 10: Función de los componentes de un techo verde



Fuente: adaptado de López (2010)

Sistema de captación de agua de lluvia

La Ingeniería Hidráulica desempeña un papel fundamental en el desarrollo global, especialmente en el suministro de agua potable, una necesidad esencial para la humanidad. Sin embargo, la escasez de agua dulce es un desafío cada vez más crítico, exacerbado por el crecimiento poblacional y el uso ineficiente del recurso. Este problema afecta especialmente a regiones como Asia Menor, el Medio Oriente y partes de Asia, donde la situación de estrés hídrico es alarmante.

La Gestión del Agua Urbana (UWM) ha ganado relevancia, especialmente con la inclusión del sexto Objetivo de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, que busca garantizar la disponibilidad y gestión sostenible del agua para todos. La UWM aborda desafíos como la provisión de agua potable, el manejo de aguas residuales y la protección contra inundaciones, adoptando un enfoque integral que gestiona el agua urbana como un ciclo.

La implementación de sistemas UWM requiere una infraestructura costosa, lo que limita su adopción a países con altos ingresos. En países como Japón y Estados Unidos, se están implementando medidas de reutilización de aguas residuales y sistemas de ahorro de agua para

abordar este desafío, destacando la importancia de la innovación y la colaboración internacional en la gestión sostenible del agua. (Investigación estudiantes Universidad Nacional de Trujillo, Perú, 2023)

Los sistemas de recolección permiten la recuperación de los ciclos naturales del agua, que retienen o infiltran la lluvia, con el fin de regular la cantidad de agua que llega al alcantarillado; lo cual se encuentra entre los beneficios de los techos verdes y jardines verticales, según la Guía Técnica Infraestructura Vegetada. (Secretaria Distrital de Ambiente, 2023).

Ilustración 11 Sistema de captación de agua pluvial en techos



Fuente: COLLET, 2015

Se vienen realizando diferentes estudios para realizar la captación de agua lluvia, implementando diferentes métodos y sistemas, como el método de trincheras, este método permite retener y filtrar el agua lluvia sin importar su superficie de escorrentía. A las trincheras de retención se le han realizado diversos estudios que han generado optimización en su uso y un excelente proceso según el sitio a utilizar este método, (Proton y Chocat, 2007).

Alternativas para mejorar el sistema de captación.

Las alternativas propuestas son:

➤ **Mantenimiento correctivo;** para el cual es necesario contratar personal técnico o una empresa especializada, para que tengan en cuenta las siguientes alternativas físicas que se pueden mejorar o implementar:

➤ **Sistemas de filtrado.**

El control de sedimentos es fundamental para proteger la calidad del agua en entornos agrícolas. Las zonas de amortiguamiento con vegetación, como las franjas de filtrado y las áreas ribereñas, son prácticas efectivas para filtrar sedimentos y reducir su transporte a los cuerpos de agua. Estas áreas también capturan nutrientes y pesticidas asociados con los sedimentos. Este estudio revisó la eficacia de las zonas de amortiguamiento y desarrolló modelos estadísticos para comprender los factores clave que influyen en la captura de sedimentos.

Un análisis de más de 80 experimentos encontró una variedad de eficacias en la retención de sedimentos. Los resultados indicaron que el ancho y la pendiente de la zona de amortiguamiento son factores críticos para su eficacia, destacando la importancia de un ancho de 10 metros y una pendiente del 9% para optimizar la captura de sedimentos. (ASA. CSSA.SSSA. 2008).

El estudio comparó la eficacia de dos métodos de tratamiento de agua de lluvia: uno utilizando filtros de materiales filtrantes (grava, arena y antracita) y otro empleando membranas. Ambos métodos lograron cumplir con los estándares de calidad establecidos por la NBR 15527:2007 y la EPA para usos no potables, así como con la Directiva 2914/2011 del Ministerio de Salud de Brasil y la Resolución 357/2005 del CONAMA para actividades de contacto directo con el agua. Se determinó que el agua tratada podría ser utilizada de manera segura para descarga de inodoros, riego de jardines, limpieza de aceras, baño y lavado de ropa. (MDPI, 2019)

➤ **Métodos robóticos para la limpieza del tanque**

La importancia de la limpieza de tanques submarinos mediante métodos robóticos. Se destaca que, aunque los vehículos submarinos operados remotamente (ROV) se utilizan comúnmente para esta tarea, enfrentan desafíos debido a los altos costos operativos y la falta de una guía sistemática del operador en las maniobras del robot.

Para abordar estos desafíos, el artículo propone un enfoque multiobjetivo en el diseño de un sistema de soporte a la decisión (DSS) para el robot de limpieza subacuático. Este sistema utiliza la Hoja de Ruta Probabilística (PRM) para explorar todas las alternativas de caminos factibles para cada punto de limpieza en el tanque.

Luego, se identifica una ruta secuencial optimizada mediante un algoritmo genético de clasificación no dominado (NSGA-III), considerando múltiples objetivos como la longitud de la ruta y el ángulo de enrutamiento, así como limitaciones prácticas como el tiempo máximo diario y los enredos de cables.

Para evaluar la eficacia de la solución propuesta, se comparan los resultados de NSGA-III con otros enfoques de optimización, como NSGA-II y MOPSO, en términos de rendimiento, tiempo de ejecución y duración estimada de la limpieza. Además, se realiza una comparación con la ruta convencional realizada por un operador humano para validar la importancia del DSS en la limpieza de tanques submarinos.

Los resultados demuestran que NSGA-III presenta ventajas significativas en términos de eficiencia y tiempo de limpieza, destacando su potencial para mejorar la operación de limpieza de tanques submarinos. (SpringerLink, 2020)

La necesidad de abordar los riesgos asociados con la limpieza manual de tanques en barcos, una tarea que conlleva peligros significativos para los trabajadores debido al espacio confinado y la falta de oxígeno. A pesar de las precauciones tomadas, los accidentes aún ocurren

con demasiada frecuencia. Por lo tanto, se propone el diseño y uso de un brazo robótico móvil para llevar a cabo esta tarea de manera segura y eficiente.

Los brazos robóticos ofrecen una solución tecnológica que puede reemplazar las acciones humanas en entornos peligrosos como los tanques de los barcos. Estos dispositivos están programados para realizar tareas específicas de manera rápida y precisa, lo que los hace ideales para la limpieza de tanques. Al adaptar un brazo robótico para esta función, se pueden evitar accidentes fatales y salvar vidas humanas.

El brazo robótico propuesto se conectaría al tanque de suministro de agua y utilizaría su capacidad de movilidad para rociar agua y limpiar las impurezas presentes en el interior del tanque del barco. La capacidad de control manual de direcciones asegura un proceso de limpieza efectivo y adaptable a diferentes tamaños de tanques y fuentes de alimentación. En resumen, la implementación de un brazo robótico móvil en la limpieza de tanques de barcos representa una solución innovadora y crucial para mejorar la seguridad y eficiencia de esta operación. (AIP Conference Proceedings, 2023).

- **Mantenimiento periódico;** Este tipo de mantenimiento puede ser realizado por el personal de mantenimiento de infraestructura de la entidad, siempre y cuando estén debidamente capacitados para ello. Alternativamente, se puede considerar la contratación de personal técnico especializado que tenga experiencia y conocimientos específicos sobre el sistema de captación de agua de lluvia.

Estos profesionales pueden llevar a cabo revisiones semanales para inspeccionar todos los componentes del sistema, identificar posibles problemas o fallas, y realizar las acciones correctivas necesarias para mantener el sistema en óptimas condiciones de funcionamiento.

- **Mantenimiento preventivo;** Este tipo de mantenimiento puede ser realizado por el personal de mantenimiento de infraestructura de la entidad, siempre y cuando estén debidamente capacitados para ello, con el fin de realizar la limpieza de filtros y la eliminación de obstrucciones, para asegurar un rendimiento óptimo del sistema a lo largo del tiempo.

Metodología Utilizada

Tipo o Diseño de la Investigación

Dado que el objeto de estudio es presentar una propuesta para el mejoramiento del sistema de captación de agua lluvia en la Secretaria Distrital de Ambiente, se utilizó una metodología con enfoque cuantitativo y alcance descriptivo. Este enfoque, con un diseño experimental, sigue un proceso secuencial que comienza con el planteamiento del problema, la revisión de la literatura, la definición del alcance de la investigación, el desarrollo del estudio, la recolección y el análisis de datos. Este enfoque permite delimitar y plantear de manera concreta el problema de estudio.

Es importante destacar que los estudios descriptivos se centran en medir de manera independiente los conceptos o variables relevantes para el fenómeno en cuestión, aunque también pueden integrar estas mediciones para proporcionar una comprensión integral de cómo se manifiesta dicho fenómeno. Su objetivo principal no es establecer relaciones entre las variables medidas, sino describir cómo son y se manifiestan estas variables en el contexto del estudio.

Diagnóstico Estado Actual del Sistema de Captación de Agua Lluvia en la SDA

Se llevó a cabo un recorrido por las diferentes áreas y niveles de la entidad, con la participación del personal de mantenimiento de infraestructura. Durante este recorrido, se identificaron las distintas partes que conforman el sistema de recolección de agua lluvia, incluyendo áreas y medios de captación, proceso de conducción, tratamiento primario, proceso de almacenamiento y la distribución del agua a las unidades sanitarias.

Este proceso permitió obtener una visión detallada del funcionamiento y estado actual del sistema, así como identificar posibles áreas de mejora y necesidades de mantenimiento o actualización.

De este recorrido se logró identificar lo siguiente:

Áreas y medios de captación de agua lluvia

El medio de captación del agua lluvia en la Secretaría Distrital de Ambiente se realiza a través de jardines, balcones y terrazas distribuidos en los cuatro pisos del edificio. Además, las terrazas con pisos flotantes también contribuyen a la captación del agua lluvia. Esta agua es recolectada mediante drenajes que conducen a 28 filtros instalados en el sistema.

Se observa que estos filtros presentan diversas deficiencias, como la falta de componentes, gravas demasiado grandes o diámetros no uniformes, pérdida de cobertura vegetal, la ausencia de rejillas, y/o cobertura de maleza de los jardines, tal como se evidencia en el registro fotográfico:

Ilustración 12: Estado actual de filtros



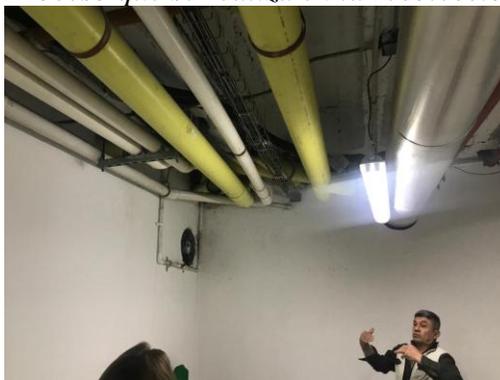
Fuente: Fotografías en la SDA- 2023

Sistemas de conducción de agua lluvia

Durante la inspección realizada con el personal de mantenimiento, se identificó que las tuberías amarillas son las encargadas de transportar el agua de lluvia al desarenador y posteriormente al tanque de almacenamiento, desde donde se distribuye hacia las baterías sanitarias.

Por otro lado, las tuberías blancas se utilizan para el transporte de agua potable al tanque en épocas donde no hay precipitaciones. Durante el recorrido, no se detectaron daños o problemas en este sistema, lo que sugiere que estas partes del sistema están en buenas condiciones operativas.

Ilustración 13: Proceso que se realiza en la recolección de agua lluvia



Fuente: Fotografías en la SDA- 2023

Desarenador.

La Secretaría Distrital de Ambiente cuenta con un sistema primario denominado desarenador, con una profundidad aproximada de dos metros según lo indicado por el personal de mantenimiento. Este desarenador, ubicado en el exterior de la entidad, representa el primer punto de llegada para el agua lluvia captada. Su función principal es controlar la cantidad de agua captada, especialmente durante épocas de lluvia intensa, cuando se acumula una gran cantidad de agua.

El desarenador juega un papel importante en la prevención del desbordamiento del tanque; cuando este alcance la capacidad máxima, el exceso de agua se descargará al alcantarillado de la zona, evitando así la posibilidad de que se desborde el tanque de almacenamiento de agua.

Es importante señalar que los desarenadores no cuentan con filtros para retener las partículas transportadas desde terrazas y jardines, por lo que van directamente al tanque de almacenamiento, afectando la calidad del agua almacenada.

Ilustración 14: Desarenador



Fuente: Fotografías en la SDA- 2023

Tanque de almacenamiento.

Según la información proporcionada por el personal de mantenimiento, la Secretaría Distrital de Ambiente cuenta con un tanque de almacenamiento de agua en concreto (hormigón), ubicado en el sótano de la entidad, con una capacidad de almacenamiento de 44 metros cúbicos. Este tanque está equipado con un sistema de control que permite abrir y cerrar el paso de agua, lo que facilita la gestión del agua tanto en épocas de lluvia como en épocas secas.

Durante la inspección, se observó que el agua dentro del tanque presenta una coloración oscura, lo que sugiere la presencia de sedimentos u otras impurezas. Según el personal de mantenimiento, la limpieza del tanque resulta difícil, ya que requiere desocuparlo completamente. Este proceso puede representar un desafío logístico y operativo, lo que destaca la importancia de implementar medidas que faciliten y optimicen el mantenimiento y la limpieza del tanque para garantizar la calidad del agua almacenada.

Ilustración 15: Tanque de almacenamiento de agua



Fuente: Fotografías en la SDA-2023

Medidores de agua (caudalímetros).

El sistema posee dos caudalímetros uno digital y otro análogo, instalados en las tuberías de llegada al tanque ubicado en el sótano. Estos se encuentran en buen estado pero se les debe realizar mantenimiento periódico para evitar su mal funcionamiento.

Ilustración 16: Caudalímetros uno digital y otro análogo



Fuente: Fotografías en la SDA-2023

Estos caudalímetros son la herramienta con la cual los profesionales de Plan Institucional de Gestión Ambiental de la entidad, realizan la medición del agua lluvia captada y presentan los informes de sostenibilidad ambiental a las entidades que lo solicitan.

MES	Volumen Total Recolectado (m3)			
	2020	2021	2022	2023
Enero	209,25	467,54	12,00	134,00
Febrero	-	444,52	48,00	99,00
Marzo	-	474,49	98,00	213,00
Abril	-	317,33	168,00	57,00
Mayo	4,10	332,68	76,00	158,00

Junio	11,97	1.052,08	106,00	31,00
Julio	19,52	58,93	66,00	124,00
Agosto	40,08	44,17	42,00	82,00
Septiembre	76,82	432,35	155,00	109,00
Octubre	178,33	546,88	193,00	79,00
Noviembre	213,38	1.077,99	73,00	241,00
Diciembre	153,12	430,95	142,00	268,00
Total	906,57	5.679,91	1.179,00	1.595,00

En el año 2020 se presenta ausencia de la lectura y esto se debe a que la medición se debe realizar directamente en campo, por lo que para esa fecha por el tema de la pandemia no se permitía el ingreso de personal; posterior y dadas las circunstancias se hizo necesario que los datos fueran recolectados por el personal de aseo de la entidad, según información suministrada por el profesional de PIGA.

Por lo tanto, se recomienda implementar un sistema de medición más técnico y automatizado que permita generar reportes de manera sistemática, garantizando la precisión y la continuidad en la recolección de datos, incluso en situaciones extraordinarias como la pandemia.

Sistema de distribución o de entrega.

Del tanque de almacenamiento, el agua recolectada se transporta mediante un sistema de bombeo a través de la red de tuberías amarillas conectadas a las unidades sanitarias. Este sistema garantiza el cumplimiento de las necesidades de presión y caudal requeridas. Sin embargo, se observa que el agua que llega a estas unidades sanitarias presenta el mismo color oscuro que se encuentra en el tanque, y en ocasiones contiene sedimentos que han sido transportados desde las terrazas al tanque de almacenamiento.

Esta situación sugiere una posible contaminación del agua durante el proceso de captación y almacenamiento, lo que destaca la necesidad de implementar medidas para mejorar la calidad del agua antes de su distribución a las unidades sanitarias, así como realizar un mantenimiento adecuado del sistema de captación y transporte para prevenir la acumulación de sedimentos.

Ilustración 17: Sistema de Distribución



Fuente: Fotografías en la SDA-2023

Levantamiento y Análisis de Información

Participantes (o unidades de observación).

Los participantes en esta investigación están compuestos por diferentes grupos de interés relacionados con el sistema de recolección de agua de lluvia en la Secretaría Distrital de Ambiente. Estos grupos de interés se consideran las unidades de observación en el estudio y se dividen en las siguientes categorías:

Los usuarios internos, expresaron su preocupación por el color oscuro del agua que llega a las baterías sanitarias. Argumentaron que esta coloración les hace creer que el baño está sucio, lo que los lleva a activar nuevamente la cisterna antes de utilizarlo. Además, consideran que este aspecto crea una mala impresión, ya que el agua oscura mancha los sanitarios, lo que conlleva a la necesidad de una limpieza más frecuente.

Estas opiniones subrayan la importancia de abordar el problema del agua de lluvia recolectada y almacenada no solo desde un enfoque técnico, sino también considerando su impacto en la percepción y experiencia de los usuarios internos de la entidad.

El personal de mantenimiento, reconoce que el sistema de captación de agua de lluvia requiere un mantenimiento técnico y periódico para garantizar su óptimo funcionamiento. Señalan que actualmente realizan el mantenimiento de forma manual y con las herramientas disponibles, lo que puede limitar la eficacia de las intervenciones. Además, mencionan que la

adquisición de cualquier material necesario para el mantenimiento implica pasar por procesos contractuales, lo que ocasiona demoras y dificultades en la obtención de los recursos necesarios.

Esta situación contribuye al deterioro progresivo del sistema de captación de agua de lluvia, destacando la necesidad de buscar soluciones que agilicen la adquisición de materiales y permitan implementar un mantenimiento más técnico y eficiente.

La observación directa, realizada mediante recorridos en la entidad permitió identificar todo el proceso del sistema de captación de agua de lluvia. Durante estos recorridos se tomaron registros fotográficos detallados para documentar las condiciones y elementos del sistema. Esta información recopilada durante la observación directa fue fundamental para llevar a cabo el levantamiento del diagnóstico del proyecto. Los registros fotográficos proporcionaron una visión clara de los componentes del sistema, las condiciones de las estructuras y cualquier problema evidente que pudiera afectar su funcionamiento.

Esta metodología de observación directa y registro visual contribuyó significativamente a una evaluación precisa y detallada del estado actual del sistema de captación de agua de lluvia en la entidad.

El análisis documental, reveló que posterior a la instalación del sistema de recolección de agua de lluvia, solo se llevó a cabo un contrato en 2018 relacionado con la impermeabilización de los tanques de almacenamiento de agua en la sede principal de la SDA. Es importante destacar que, si bien se realizan contratos anuales para el mantenimiento de los jardines, estos se enfocan únicamente en el cuidado de las áreas verdes y no abordan aspectos relacionados con el sistema de recolección de agua de lluvia.

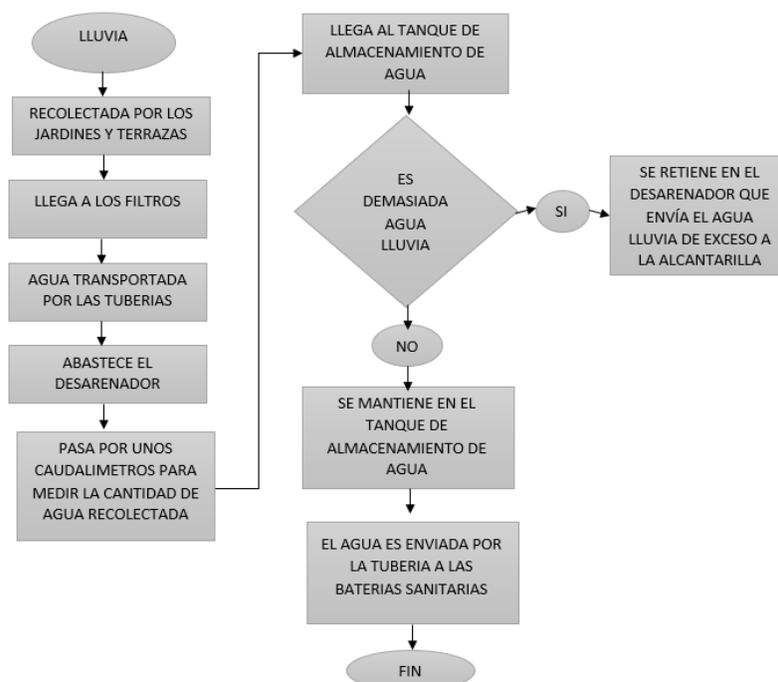
Este hallazgo sugiere que ha habido una falta de atención específica hacia el mantenimiento y mejora del sistema de captación de agua de lluvia, lo que podría contribuir a su deterioro y a la problemática observada en su funcionamiento.

Técnicas o estrategias de organización de la información recolectada

Para organizar la información recolectada en la investigación sobre el sistema de recolección de agua de lluvia en la Secretaría Distrital de Ambiente, se emplean técnicas y estrategias con el objetivo de gestionar eficazmente los datos recopilados. Algunas de las técnicas y estrategias de organización de la información incluirán:

Diagramas de flujo: Se elaborarán diagramas de flujo para representar visualmente el funcionamiento del sistema de recolección de agua de lluvia, incluyendo la circulación del agua, los componentes clave y los puntos críticos. Este diagrama ilustra el flujo del agua de lluvia desde la captación inicialmente, pasando por el sistema de conducción que la lleva al desarenador para controlar el exceso de agua, luego al tanque de almacenamiento para su conservación, y finalmente al sistema de bombeo que la lleva a las unidades sanitarias para su uso.

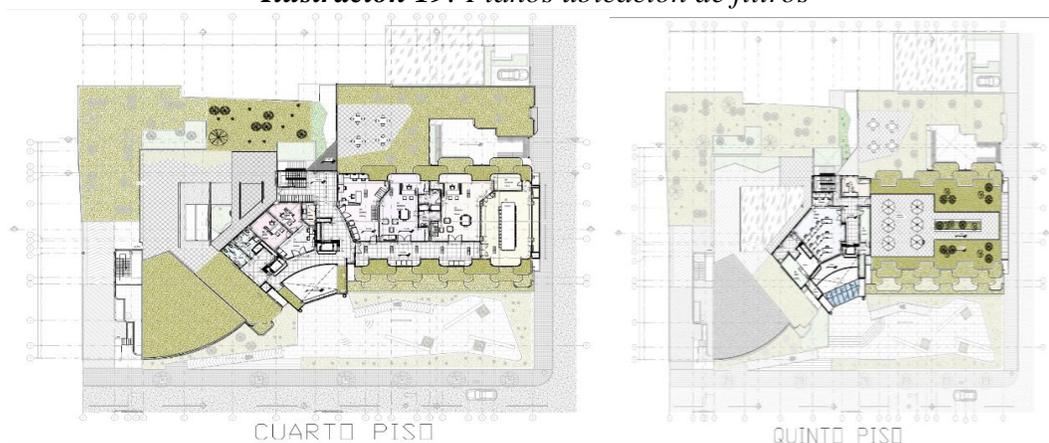
Ilustración 18: Diagrama sistema de captación de agua lluvia



Fuente: Diseño propio-2024

Mapas o planos: Los planos corresponden a los diseños iniciales, en los cuales se puede identificar que los círculos negros corresponden al sitio donde fueron instalados los filtros del sistema de captación de agua lluvia, en los jardines del cuarto y quinto piso, así:

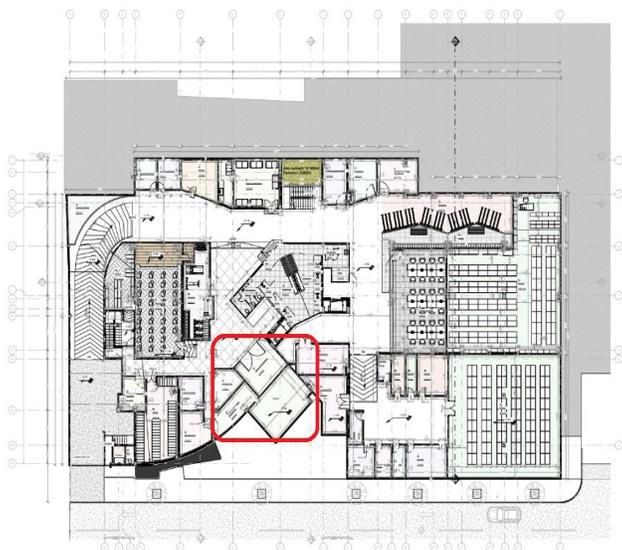
Ilustración 19: Planos ubicación de filtros



Fuente: Contrato de obra SDA-CN-1373 del 2009

De igual forma se identificó el plano del sótano que muestra la ubicación del tanque de almacenamiento de agua de lluvia.

Ilustración 20: Plano tanque de almacenamiento de agua



Fuente: Contrato de obra SDA-CN-1373 del 2009

Resumen y síntesis: El sistema de captación de agua lluvia de la Secretaría Distrital de Ambiente ha sido una herramienta efectiva en el ahorro de agua potable durante sus 15 años de operación, según revela el informe del Plan Institucional de Gestión Ambiental (PIGA). Sin embargo, a pesar de su eficacia en la reducción del consumo de agua potable, se evidencia una falta de mantenimiento correctivo a lo largo del tiempo, lo que ha generado deficiencias en su funcionamiento. Una de las principales deficiencias se encuentra en los filtros ubicados en las terrazas, los cuales no están en condiciones óptimas para filtrar las partículas generadas durante las lluvias, permitiendo que estas lleguen al desarenador.

El desarenador, si bien regula el flujo de agua al tanque de almacenamiento, carece de un filtro para retener las impurezas sólidas. Como resultado, las partículas y sedimentos se acumulan en el fondo del tanque, provocando que el agua adquiera un color oscuro y afectando su calidad. Esta situación se traduce en una percepción negativa de la limpieza de las instalaciones sanitarias que se abastecen con esta agua, lo que puede generar preocupación entre los usuarios y afectar la reputación de la entidad.

Análisis descriptivo

El resultado de esta investigación arroja varios hallazgos importantes sobre el sistema de captación de agua de lluvia en la Secretaría Distrital de Ambiente:

Estado del sistema: Se identificaron diversos componentes del sistema, como áreas de captación, sistemas de conducción, tanque de almacenamiento y distribución a las unidades sanitarias. Se encontraron deficiencias en algunos elementos, como los filtros de captación y la falta de un filtro en el desarenador, lo que puede afectar la calidad del agua recolectada.

Impacto en los usuarios: Se evidenció que el agua de lluvia recolectada, al presentar una coloración oscura y sedimentación, genera preocupación y percepciones negativas entre los

usuarios internos de la entidad. Esto puede llevar a una mayor frecuencia de limpieza de los sanitarios y afectar la experiencia de los usuarios.

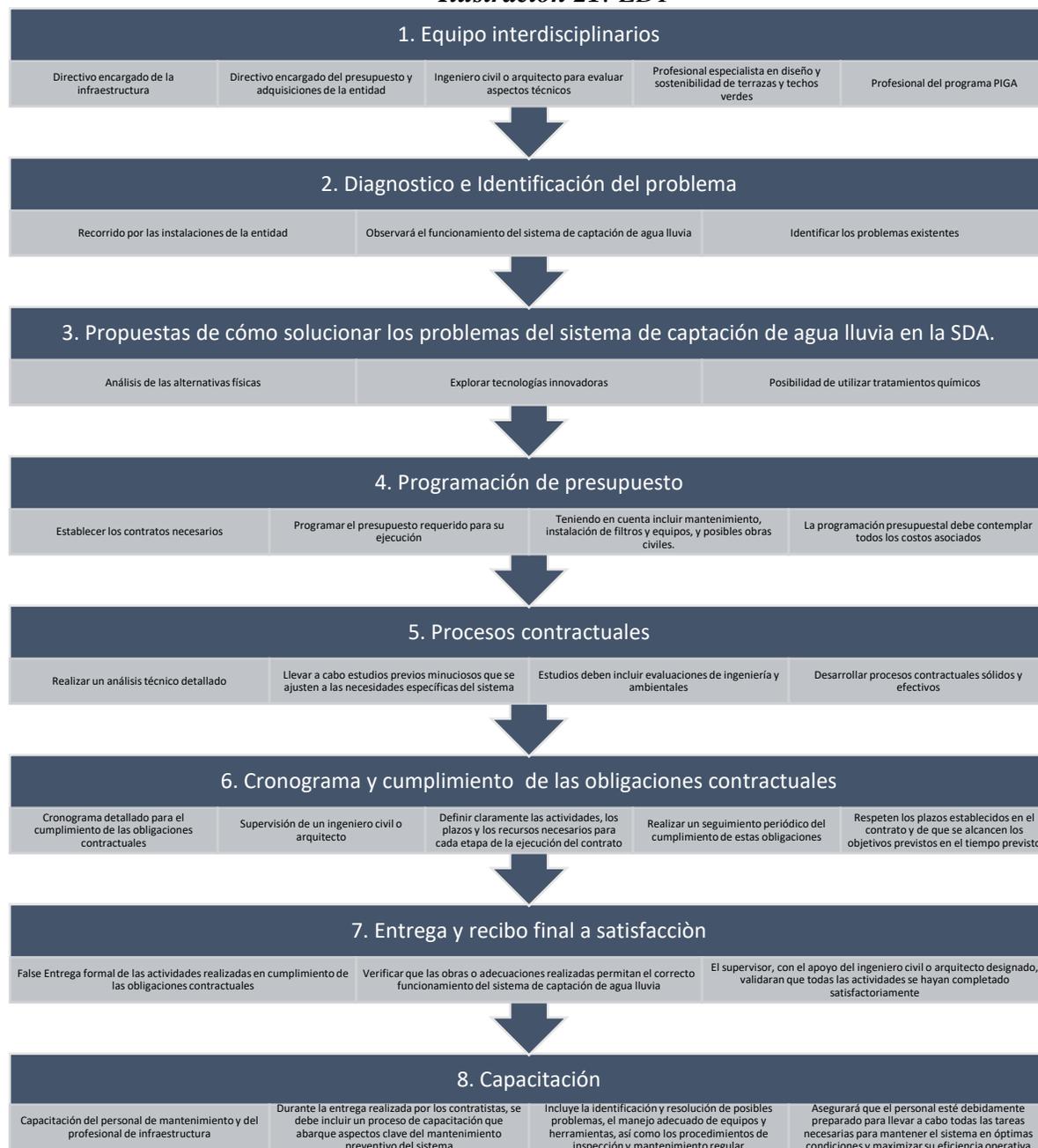
Necesidad de mantenimiento técnico: El personal de mantenimiento señaló la importancia de un mantenimiento técnico y periódico del sistema de captación de agua de lluvia. Identificaron limitaciones en la disponibilidad de recursos y la ejecución de contratos de mantenimiento específicos para este sistema. En donde es importante poder establecer mantenimientos preventivos, periódicos y correctivos.

Ausencia de contratos técnicos relevantes: Se encontró que no se han realizado contratos específicos para el mantenimiento del sistema de captación de agua de lluvia, a excepción de un contrato de impermeabilización de tanques en 2018. Esto evidencia una falta de atención y seguimiento adecuado al sistema.

Propuesta de Mejora para el Sistema de Captación de Agua de Lluvia en la Secretaría Distrital de Ambiente

La propuesta de mejora para el sistema de captación de agua de lluvia en la Secretaría Distrital de Ambiente debe garantizar una implementación efectiva y sostenible. Esto incluye:

Ilustración 21: EDT



Fuente: Diseño propio 2024

Establecimiento de un Equipo Interdisciplinarios: es esencial para abordar de manera integral las deficiencias del sistema de captación de agua lluvia. Este equipo debe incluir al directivo encargado de la infraestructura y el directivo encargado del presupuesto y adquisiciones de la entidad; un ingeniero civil o arquitecto para evaluar aspectos técnicos, un profesional especialista en diseño y sostenibilidad de terrazas y techos verdes, un profesional del programa PIGA quien monitorea el ahorro de agua y detecta las falencias.

La colaboración interdisciplinaria permitirá identificar soluciones integrales y efectivas para mejorar el funcionamiento y mantenimiento del sistema de captación de agua lluvia.

Diagnostico e Identificación del problema. El equipo interdisciplinario, designado, llevará a cabo un recorrido por las instalaciones de la entidad. Durante esta inspección, se observará el funcionamiento del sistema de captación de agua lluvia y se identificarán los problemas existentes. Este proceso permitirá al equipo diagnosticar las necesidades y prioridades del sistema, sentando las bases para el diseño de soluciones efectivas y sostenibles.

Propuestas de cómo solucionar los problemas del sistema de captación de agua lluvia en la SDA.

Es fundamental que la entidad reconozca la importancia de programar los mantenimientos técnicos necesarios para el sistema de captación de agua de lluvia.

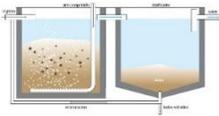
- **Mantenimiento correctivo**

Como alternativa propuesta, se sugiere iniciar con un mantenimiento correctivo a través de un contrato con terceros. Este contrato debería contemplar una revisión de todo el sistema de captación de agua de lluvia, desde su inicio hasta su finalización, con el fin de identificar y abordar cualquier problema existente.

Además, se deben proponer mejoras al sistema que contribuyan a su óptimo funcionamiento y eficiencia. Este enfoque garantizará que el sistema esté en condiciones óptimas y pueda seguir cumpliendo su función de manera efectiva.

Durante la investigación, se identificaron varias alternativas para mejorar el sistema de captación de agua de lluvia en la entidad, las cuales puede ser recomendadas para el mantenimiento correctivos con el objetivo de optimizar las condiciones físicas y promover una percepción positiva entre los colaboradores, además de garantizar el uso eficiente de este recurso vital.

Ilustración 22: Alternativas para mejorar el sistema de captación de agua lluvia SDA

ALTERNATIVA	IMAGEN	¿En qué consiste?	
Alternativas físicas	Filtro en malla y lamina para tapa		Este filtro tiene la finalidad de impedir la entrada de contaminantes de mayor tamaño al tanque de almacenamiento, tales como hojas piedras o animales. Es una malla de acero inoxidable. (Enríquez Ulises, 2020)
	Filtro de ultrafiltración		La ultrafiltración utiliza filtros de membrana con tamaños de poros habituales de 1 a 10 nm, los cuales pueden eliminar partículas tan pequeñas como las macromoléculas de proteínas; así mismo, su funcionamiento es por gravedad y no requiere de energía. (Córdoba Juan, 2016).
	Filtro con grava		En un filtro convencional, la grava de diferentes tamaños se encuentra en la parte superior, mientras las partículas más pesadas y grandes permanecen en la parte inferior después de los retro lavados, por lo que la filtración sucede sólo en las pocas pulgadas superiores del filtro. (Pérez Itzel, 2014)
	Sedimentadores		Es un sistema que utiliza filtros ya sean decantadores o filtros de arena para evitar el paso de cualquier elemento no filtrado en la fase de pre filtrado. (Miranda, Kate, 2023)
	Radiación ultravioleta		Es un método físico de desinfección del agua que no altera las propiedades fisicoquímicas del agua. Elimina bacterias y virus, requiere un desinfectante secundario. Es útil para tratamientos pequeños. (Miranda, Kate, 2023)
	Robot Limpia Fondos		Realizar de forma semi-automática la limpieza de los tanques de almacenamiento de grandes dimensiones, desplazándose por las paredes de los tanques en dos direcciones – de arriba abajo y de izquierda a derecha – utilizando un sistema de adherencia por medio de electroimanes. (Ibarra, John, 2012)

	Plan de mantenimiento áreas y sistema de captación		Plan de mantenimiento es la agrupación de actividades y procedimientos detallados a realizarse en equipos o elementos con la finalidad de conservar el estado óptimo de los mismos y evitar desgastes prematuro, el plan de mantenimiento puede estar segmentado por frecuencia de realización, ya sea mensual, semestral, anual, etc. y también puede presentar un detalle previo del tiempo estimado de duración así como también un estimado del personal que se requiere la realizar la operación. (Casco, Christian, 2021)
Alternativas químicas	Coagulación – floculación		La coagulación – floculación es un tratamiento esencial para remover aquellas partículas que, debido a su pequeño tamaño (usualmente menor a 10 μm), no precipitarían en un tiempo razonable (de 30 a 60 minutos), desde el punto de vista operativo de una planta de tratamiento de agua (Bratby 2006).

Fuente: Diseño propio-2024

Se sugiere que el equipo interdisciplinario realice un análisis de las alternativas físicas propuestas, las cuales pueden aplicarse individualmente o en combinación para mejorar la calidad del agua de lluvia captada. Estas alternativas incluyen mejoras en los procesos de filtración y decantación, así como la implementación de mantenimientos preventivos, periódicos y correctivos adecuados.

Además, se contempla la adopción de tecnologías innovadoras para el mantenimiento eficiente del tanque y la utilización de desinfección ultravioleta. Deben evaluar también la viabilidad de emplear tratamientos químicos como la coagulación y la floculación, gestionados mediante métodos físicos, con el objetivo de garantizar una mejora significativa en la calidad del agua recolectada. Todo ello se llevará a cabo con un enfoque prioritario en la sostenibilidad ambiental.

- **Mantenimiento periódico**

Después de llevar a cabo el mantenimiento correctivo, es crucial capacitar al personal de mantenimiento de infraestructura para que puedan realizar revisiones y mantenimientos periódicos de manera regular, idealmente cada semana. Especial atención debe darse durante épocas de sequía para garantizar que el sistema esté en óptimas condiciones cuando lleguen las

precipitaciones. Durante estas revisiones periódicas, se deben inspeccionar todos los componentes del sistema de captación de agua de lluvia, como los techos, tuberías, filtros y tanques de almacenamiento, para identificar y abordar cualquier problema o deterioro que pueda afectar su funcionamiento.

- **Mantenimiento preventivo**

Además, se debe llevar a cabo un mantenimiento preventivo, como la limpieza de filtros y la eliminación de obstrucciones, para asegurar un rendimiento óptimo del sistema a lo largo del tiempo.

Esta práctica garantizará que el sistema esté siempre listo para capturar y almacenar agua de lluvia de manera efectiva, contribuyendo así a la conservación de recursos hídricos y a la sostenibilidad ambiental en general.

Programación de presupuesto: Una vez identificada la problemática y las posibles soluciones para mejorar el sistema de captación de agua lluvia, es crucial establecer los contratos necesarios y programar el presupuesto requerido para su ejecución. Esto implica identificar los aspectos clave a abordar en los contratos, como mantenimiento, instalación de filtros y equipos, y posibles obras civiles.

La programación presupuestal debe contemplar todos los costos asociados, incluyendo honorarios profesionales, materiales, equipos y cualquier otro gasto relacionado con la implementación de las soluciones propuestas. Este proceso garantizará una gestión eficiente de los recursos financieros y una ejecución efectiva de los contratos para mejorar el sistema de captación de agua lluvia.

Procesos contractuales: Para garantizar la efectividad de los procesos contractuales relacionados con la mejora del sistema de captación de agua lluvia, es fundamental realizar un análisis técnico detallado. Esto implica llevar a cabo estudios previos minuciosos que se ajusten a

las necesidades específicas del sistema. Estos estudios deben incluir evaluaciones de ingeniería y ambientales para identificar los problemas existentes y las soluciones más adecuadas.

Un análisis técnico riguroso proporcionará la base necesaria para desarrollar procesos contractuales sólidos y efectivos, que aborden de manera eficiente los desafíos del sistema de captación de agua lluvia y garanticen resultados exitosos en términos de calidad y sostenibilidad.

Cronograma para el cumplimiento de las obligaciones contractuales: Establecer un cronograma detallado para el cumplimiento de las obligaciones contractuales es crucial para garantizar la ejecución adecuada de los contratos relacionados con la mejora del sistema de captación de agua lluvia. Con la supervisión de un ingeniero civil o arquitecto, se deben definir claramente las actividades, los plazos y los recursos necesarios para cada etapa de la ejecución del contrato.

Además, es esencial realizar un seguimiento periódico del cumplimiento de estas obligaciones, asegurándose de que se respeten los plazos establecidos en el contrato y de que se alcancen los objetivos previstos en el tiempo previsto. Este enfoque garantizará la eficiencia y la efectividad en la ejecución de los contratos y la consecución de los resultados deseados en el sistema de captación de agua lluvia.

Entrega y recibo final a satisfacción: Al finalizar el plazo contractual, es crucial llevar a cabo la entrega formal de las actividades realizadas en cumplimiento de las obligaciones contractuales. Este proceso debe ser supervisado por el ingeniero civil o arquitecto designado, quien verificará que las obras o adecuaciones realizadas permitan el correcto funcionamiento del sistema de captación de agua lluvia.

El supervisor, con el apoyo de este profesional, validará que todas las actividades se hayan completado satisfactoriamente y que cumplan con los estándares de calidad establecidos en el contrato.

Una vez confirmada la conformidad de las obras, se procederá al recibo final a satisfacción, asegurando que tanto el contratante como el contratista estén plenamente satisfechos con los resultados obtenidos. Este proceso garantiza la transparencia y la calidad en la ejecución de los proyectos relacionados con el sistema de captación de agua lluvia.

Capacitación: La capacitación del personal de mantenimiento y del profesional de infraestructura es fundamental para garantizar el adecuado funcionamiento del sistema de captación de agua lluvia a largo plazo.

Durante la entrega realizada por los contratistas, se debe incluir un proceso de capacitación que abarque aspectos clave del mantenimiento preventivo del sistema. Esto incluye la identificación y resolución de posibles problemas, el manejo adecuado de equipos y herramientas, así como los procedimientos de inspección y mantenimiento regular.

Una capacitación completa y efectiva asegurará que el personal esté debidamente preparado para llevar a cabo todas las tareas necesarias para mantener el sistema en óptimas condiciones y maximizar su eficiencia operativa.

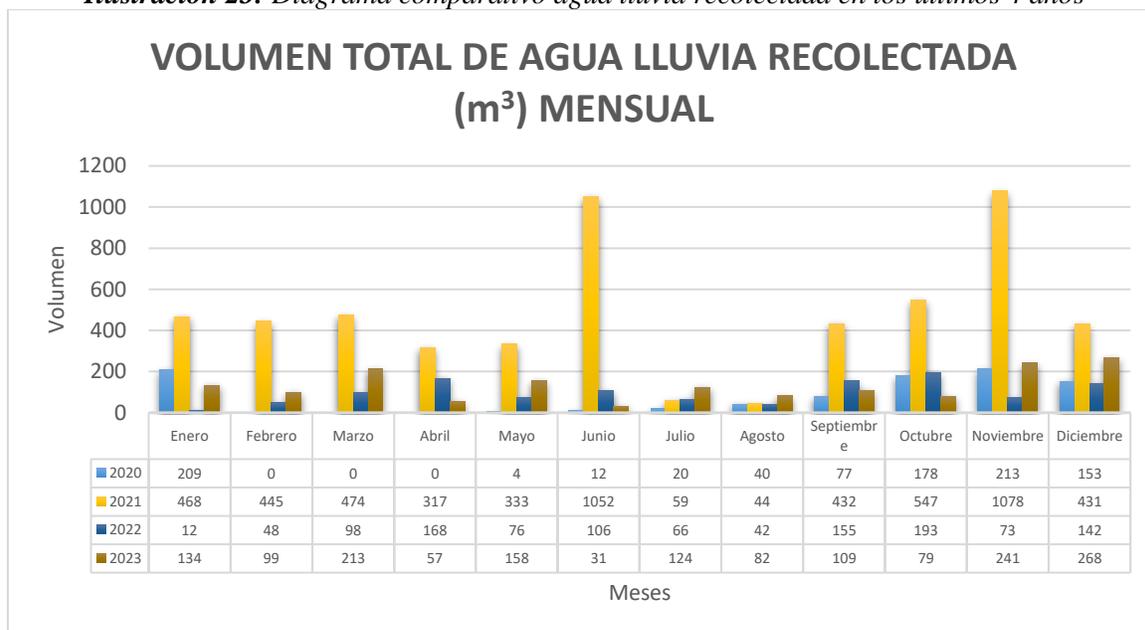
Análisis

El sistema de captación de agua de lluvia de la Secretaría Distrital de Ambiente representa un ejemplo destacado de sostenibilidad y eficiencia en el manejo de recursos hídricos. Su instalación hace más de catorce años demuestra un compromiso con la conservación del agua y la reducción del consumo de recursos naturales. A lo largo del tiempo, este sistema ha demostrado su mérito al proporcionar un ahorro económico durante períodos de alta precipitación, lo que subraya su importancia para la entidad y la comunidad en general.

Tabla 2: Consolidado del Volumen captado de agua lluvia en los últimos 4 años

MES	2020		2021		2022		2023	
	Volumen Total Recolectado (m ³)	Valor Ahorrado (\$)	Volumen Total Recolectado (m ³)	Valor Ahorrado (\$)	Volumen Total Recolectado (m ³)	Valor Ahorrado (\$)	Volumen Total Recolectado (m ³)	Valor Ahorrado (\$)
Enero	209	\$ 530.206	468	\$ 1.220.295	12	\$ 33.191	134	\$ 417.119
Febrero	0	\$ 0	445	\$ 1.160.218	48	\$ 132.764	99	\$ 308.170
Marzo	0	\$ 0	474	\$ 1.238.430	98	\$ 277.089	213	\$ 672.075
Abril	0	\$ 0	317	\$ 828.234	168	\$ 480.206	57	\$ 185.496
Mayo	4	\$ 10.701	333	\$ 868.313	76	\$ 220.230	158	\$ 514.183
Junio	12	\$ 31.242	1052	\$ 2.745.981	106	\$ 312.945	31	\$ 101.708
Julio	20	\$ 50.947	59	\$ 153.817	66	\$ 194.587	124	\$ 417.659
Agosto	40	\$ 104.609	44	\$ 115.278	42	\$ 124.874	82	\$ 276.194
Septiembre	77	\$ 200.501	432	\$ 1.128.438	155	\$ 470.045	109	\$ 365.394
Octubre	178	\$ 465.443	547	\$ 1.427.376	193	\$ 585.282	79	\$ 258.335
Noviembre	213	\$ 556.924	1078	\$ 2.814.678	73	\$ 221.376	241	\$ 789.504
Diciembre	153	\$ 399.645	431	\$ 1.125.236	142	\$ 430.622	268	\$ 877.955
Total	907	\$ 2.350.218	5.680	\$ 14.826.293	1.180	\$ 3.483.211	1.595	\$ 5.183.792

Fuente: Informes de PIGA-2020-2023

Ilustración 23: Diagrama comparativo agua lluvia recolectada en los últimos 4 años

Fuente: Informes de PIGA-2020-2023

El resumen de datos indica que en el año 2021 se recolectaron 5,680 unidades de agua de lluvia, lo que generó un ahorro económico de \$14.826.293. Este notable incremento en la cantidad de agua recolectada se atribuye al fenómeno de La Niña en Colombia, que resultó en mayores precipitaciones y, por consiguiente, en un aumento en el caudal de agua de lluvia recolectada durante ese periodo.

A medida que Bogotá y otras ciudades enfrentan desafíos crecientes relacionados con la escasez de agua y la gestión de recursos hídricos, el sistema de captación de agua de lluvia de la Secretaría Distrital de Ambiente se destaca como un modelo a seguir. Su éxito y conservación son ejemplos inspiradores para otras instituciones y comunidades, que pueden encontrar en este sistema una solución efectiva y sostenible para abordar sus propias necesidades de abastecimiento de agua y conservación de recursos naturales.

Sin embargo, para garantizar que este sistema continúe brindando beneficios óptimos, es esencial abordar adecuadamente su mantenimiento y actualización. Esto implica implementar prácticas de mantenimiento preventivo y correctivo de manera regular, así como considerar posibles mejoras en la infraestructura existente. Además, es crucial que la alta dirección de la entidad reconozca la importancia estratégica de este sistema y lo priorice en su plan de acción de cada vigencia.

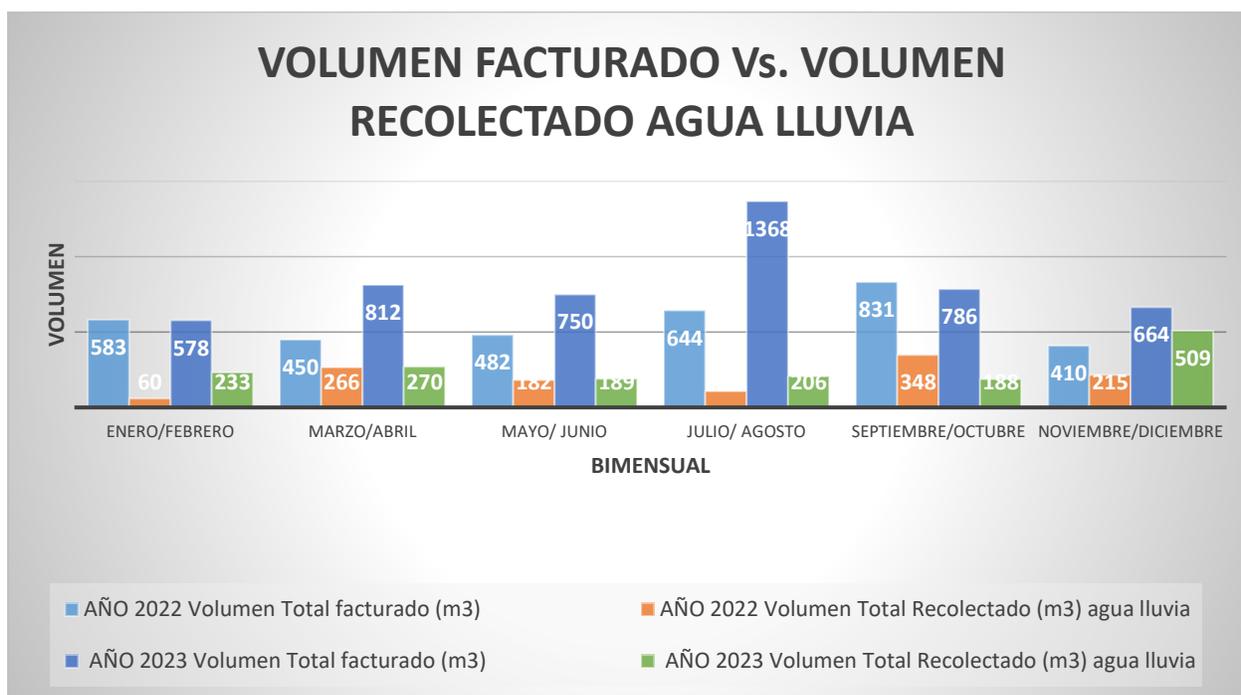
Con la información recopilada, se logró determinar el volumen de agua consumido por la entidad y el volumen de agua de lluvia captado, lo que permitió establecer el total de agua que la entidad utiliza por bimestre en los últimos dos años. Esto posibilitó calcular el porcentaje de ahorro que la entidad está obteniendo gracias al agua de lluvia recolectada y resaltar la importancia de mantener el sistema de captación en óptimas condiciones para continuar beneficiándose de este recurso.

Tabla 3: Consolidado consumo de agua por bimestre en los últimos dos años

MES	CONSOLIDADO AÑO 2022				CONSOLIDADO AÑO 2023			
	Volumen Total facturado (m3)	Volumen Total Recolectado (m3) agua lluvia	Total de volumen consumo de la SDA	Porcentaje de ahorro agua lluvia recolectada	Volumen Total facturado (m3)	Volumen Total Recolectado (m3)	Total de volumen consumo de la SDA	Porcentaje de ahorro agua lluvia recolectada
Enero/Febrero	583	60	643	1,3%	578	233	811	3,6%
Marzo/Abril	450	266	716	5,8%	812	270	1082	4,1%
Mayo/ Junio	482	182	664	4,0%	750	189	939	2,9%
Julio/ Agosto	644	108	752	2,4%	1368	206	1574	3,1%
Septiembre/Octubre	831	348	1179	7,6%	786	188	974	2,9%
Noviembre/Diciembre	410	215	625	4,7%	664	509	1173	7,8%
Total	3.400	1.179	4.579	26%	4.958	1.595	6.553	24%

Fuente: Informes de PIGA-2022-2023

La información proporcionada indica que durante el año 2022, la entidad experimentó un ahorro del 26% en el total de agua consumida, mientras que en el año 2023 este ahorro fue del 24%, todo ello gracias al agua de lluvia captada cada mes. Esto demuestra la continuidad de los beneficios proporcionados por el sistema de captación de agua de lluvia a lo largo del tiempo.

Ilustración 24: Volumen facturado Vs Volumen recolectado agua lluvia

Es notable que durante los meses de marzo, abril, noviembre y diciembre, que son períodos de mayores precipitaciones, se observa una disminución significativa en el agua facturada. Esta disminución parece estar directamente relacionada con el incremento en la cantidad de agua de lluvia captada durante esos meses.

Esta investigación resalta la importancia del sistema de captación de agua de lluvia como una solución sostenible y eficaz para la entidad. Al contribuir a la conservación de recursos hídricos y a la reducción del consumo de agua potable, este sistema no solo beneficia a la entidad en términos de ahorro económico y gestión eficiente del agua, sino que también tiene un impacto positivo en el medio ambiente al promover prácticas más sostenibles y responsables.

El mantenimiento adecuado y la mejora continua del sistema de captación de agua de lluvia son esenciales no solo para optimizar su rendimiento, sino también para ampliar su alcance y sus beneficios. Al captar un mayor porcentaje de agua de lluvia, se pueden utilizar esos recursos adicionales para actividades como el riego de jardines y la limpieza de áreas comunes, lo que maximiza su utilidad y su contribución a la conservación de recursos hídricos. Esto refuerza el compromiso general con la sostenibilidad ambiental al reducir aún más la dependencia del agua potable y aprovechar al máximo los recursos naturales disponibles.

Se espera que este proyecto sirva de inspiración para otras instituciones y comunidades, motivándolas a invertir en el diseño, mejora y/o mantenimiento de sus propios sistemas de captación de agua de lluvia. Además, se busca que la alta dirección de la entidad tome este proyecto como un compromiso y una prioridad, asegurando que el sistema continúe operando de manera óptima.

Se identificaron varios factores clave que deben ser atendidos prioritariamente, el mantenimiento técnico correctivo, la implementación de procesos innovadores para mejorar el sistema y la realización de adecuaciones en los tanques, para asegurar la recepción de agua filtrada antes de su transporte a las baterías sanitarias.

Conclusiones

Necesidad de Intervención: La investigación ha evidenciado la importancia de abordar los problemas identificados en el sistema de captación de agua de lluvia, incluyendo la falta de mantenimiento adecuado, la ausencia de filtros en componentes clave y la percepción negativa de los usuarios internos debido a la calidad del agua suministrada.

Impacto en la Sostenibilidad: Mejorar el sistema de captación de agua de lluvia no solo tendrá beneficios ambientales al promover la gestión sostenible del agua, sino que también contribuirá a la eficiencia operativa y la percepción positiva de la entidad por parte de sus usuarios internos y externos.

Importancia del Enfoque Gerencial: Se destaca la necesidad de adoptar un enfoque gerencial sólido para garantizar la implementación efectiva de la propuesta de mejora, incluyendo la asignación adecuada de recursos, la formación de un equipo de gestión multidisciplinario y el desarrollo de políticas y procedimientos claros.

Planificación y Seguimiento Continuo: La planificación detallada y el seguimiento continuo del proyecto son fundamentales para el éxito a largo plazo del sistema de captación de agua de lluvia. Esto incluye el establecimiento de un cronograma claro, la identificación y atención a puntos críticos y la implementación de un plan de trabajo estructurado.

En resumen, la propuesta de mejora del sistema de captación de agua de lluvia en la Secretaría Distrital de Ambiente representa una oportunidad para promover la sostenibilidad ambiental, mejorar la eficiencia operativa y garantizar una experiencia positiva para los usuarios internos y externos de la entidad. Su implementación exitosa requerirá un enfoque integral y una gestión eficaz de los recursos disponibles.

Bibliografía

Agua Ecosocial. La cisterna WC: todo lo que necesitas saber.

AQUAE Fundación. Agua purificada: proceso de purificación y propiedades. Proceso de filtración.

Archila Soto, María Eugenia. (2023). Plan Institucional de Gestión Ambiental (PIGA). Secretaria Distrital de Ambiente. Programa Uso eficiente del agua.

Arévalo, (2016). Estado del arte de los sistemas de captación y aprovechamiento de aguas lluvias como alternativa en el ahorro de agua potable en viviendas. Universidad Santo Tomás. Monografía para optar al Título de Ingeniero Civil.

Ballén José. (2006). Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua. Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia.

Bejarano, Oscar Contreras. (2020). Tecnología y ciencias del agua. Techos verdes para la gestión integral del agua: caso de estudio Chapinero, Colombia.

Berland Adam. (2017). Artículo. Landscape and Urban Planning. The role of trees in urban stormwater management.

Bradley Robichaud, Lauren. (2010) Artículo. Greening Project Management Practices for Sustainable Construction

Bratby, J. 2006. Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment. Inglaterra, 407 p.

Casco Christian, (2021). Desarrollo de un plan de mantenimiento basado en el mantenimiento productivo total (TPM) para el sistema de captación.

Córdoba Juan. (2016). Recopilación de experiencias en la potabilización del agua por medio del uso de filtros.

Electrobombas Javea Tecnologías del Agua. Novedades en instalaciones y servicios de riego y desarrollo tecnológico. Qué es una bomba de agua, sus diferentes tipos y funcionamiento de una electrobomba.

- Enríquez Ulises. (2020). Tesis. Puesta en marcha y acondicionamiento del sistema de captación de agua pluvial instalado en el laboratorio de ingeniería química en el campus II de la facultad de estudios superiores Zaragoza. Filtro de malla.
- Ferdous Hoque, Sonia. (2014). Libro Water Conservation in Urban Households. Editor IWA Publishing.
- GCTRATAMIENTO. (2023). ¿Para qué sirve el desarenador de aguas residuales?
- Grupo Hidráulica. (2023). ¿Cuáles son los tipos de tuberías y cómo elegir las?
- HIDRACUA. Captación. Ríos y manantiales. El origen del agua potable.
- Adler Ilán. (2008). Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Manual de captación de aguas de lluvia para centros urbanos.
- Hidrosistemas. (2022). Qué es un Caudalímetro. <https://hidrosistemas.cl/web/que-es-un-caudalimetro/>
- Ibarra John. (2012). Universidad Autónoma de Bucaramanga. Diseño de sistemas de control del mecanismo para la limpieza de tanques de la empresa Multinsa.
- Lizzy Nesa Bagyam Mariyadass. (2023). AIP Conference Proceedings. Automatic cleaning of ship tanks using robotic arm.
- López, C. (2010). Un acercamiento a las cubiertas verdes. Editorial FBPSA.
- Malik, M Ali, H Latan. 2023. Artículo. Green project management practices, green knowledge acquisition and sustainable competitive advantage: Empirical evidence
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2024. Gestión Integral del Recurso Hídrico. Calidad.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). Viceministerio de Políticas y Normalización Ambiental. Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico. Documento Técnico de Soporte. Lineamientos para potencializar el USO DEL AGUA LLUVIA
- Miranda Kate. (2023). Trabajo de grado. Universidad del Valle de Guatemala. Estrategias para el aprovechamiento de agua pluvial en edificaciones acorde a los lineamientos de la certificación sostenible EDGE. <https://repositorio.uvg.edu.gt/handle/123456789/4888>
- Mohd Saiful Azimi Mahmud. (2020). SpringerLink. Multi-objective Route Planning for Underwater Cleaning Robot in Water Reservoir Tank.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Oficina Regional de la Fao Para América Latina y el Caribe. (Santiago, Chile, Abril De 2013). Captación y Almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe.
- Palacio Castañeda Natalia. (2013). Biblioteca Digital de Bogotá. Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia.
- Pérez Itzel. (2014). Proyecto. Diseño de un filtro empacado para el tratamiento del agua pluvial de la ciudad de MÉXICO. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://repositoriodigital.tuxtla.tecnm.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/2864/MDRPIQ2014012.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Proton y Chocat, Proton A, C. B. (2007). Long term behaviour of an infiltration trench. NOVATECH.
- Robichaud, Lauren Bradley. 2011. Artículo Greening Project Management Practices for Sustainable Construction.
- Rodríguez Luis F. y Gómez Yolanda. Revista ciencia. (2007). El origen Cósmico del agua. Vol. 58 núm.
- Secretaria Distrital de Ambiente. (2023). Techos verdes y jardines verticales: medida de adaptación al cambio climático.
- Secretaria Distrital de Ambiente. (2023). Techos verdes y jardines verticales. Guía técnica infraestructura vegetada actualizada.
- Sierra Roncancio, S. S. Cano Muñoz, J. G. y Rojas Sánchez, F. (2015). Gestión comunitaria del agua en sistemas agropecuarios: (ed.). Cundinamarca, Corporación Universitaria Minuto de Dios.
- Soluciones Hidropluviales. (2018). Captación agua de lluvia en el mundo. Agua de lluvia.
- Teixeira, Celimar. (2019). MDPI. Comparative Analysis of Granular and Membrane Filters for Rainwater Treatment.
- Universidad Nacional de Trujillo. (2023). System for the Recovery and Reuse of Gray Water to Save Water in Public Restrooms of Companies in Peru
- Valdez, Cisneros. Tecnologías A&S, Tecnologías de abastecimiento de agua. Recolección de techos.

WATER STATIO. (2019). ¿Cómo funciona un filtro de agua?.

Xingmei Liu, Xuyang Zhang, Minghua Zhang. (2008). ASA CSSA SSSA. Journal of Environmental Quality. Major Factors Influencing the Efficacy of Vegetated Buffers on Sediment Trapping: A Review and Analysis.