

LIMA PROYECTOS SAS

CONTRATO No. 6799143 de 2024

PRESTAR EL SERVICIO DE CONSULTORÍA TÉCNICA PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE COSECHA DE AGUA (APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA Y AGUA ATMOSFÉRICA), PARA LA SECRETARÍA DISTRITAL DE SALUD Y SUS SEDES EN CUSTODIA.

FASE II. FACTIBILIDAD DEL PROYECTO

FONDO FINANCIERO DISTRITAL DE SALUD

SUPERVISORES: ING. ÁNGELA MARÍA BERNAL SÁNCHEZ

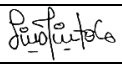
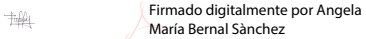
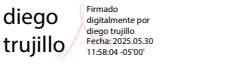
CONSULTOR: LIMA PROYECTO S.A.S

BOGOTÁ, MAYO 2025

Control de versiones

VERSIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN/MODIFICACIÓN	FOLIOS
0	25-04-25	Emisión Inicial	
1	15-05-25	Atención a observaciones generales	Varios

Revisión y aprobación

N° VERSIÓN		00
RESPONSABLE ELABORACIÓN (PROFESIONAL AMBIENTAL)	NOMBRE	ING. LAURA CHAPARRO MP N° 15238-335710BYC
	FIRMA	
RESPONSABLE ELABORACIÓN (INGENIERO CIVIL)	NOMBRE	ING. EDWIN ACEVEDO MP N° 041037-0721386BYC
	FIRMA	
RESPONSABLE ELABORACIÓN (INGENIERO CIVIL)	NOMBRE	ING. ANDRES FELIPE CALLEJAS MP N° BYC
	FIRMA	
RESPONSABLE REVISIÓN DIRECCIÓN DE CONSULTORÍA	NOMBRE	ING. LINA MARCELA LIZARAZO MP N° 25202-105662CND
	FIRMA	
APROBACIÓN SUPERVISIÓN ENTIDAD CONTRATANTE	NOMBRE	ING. ÁNGELA MARÍA BERNAL SÁNCHEZ
	FIRMA	 Firmado digitalmente por Angela María Bernal Sànchez
	NOMBRE	ING. DIEGO FERNANDO TRUJILLO GONZALEZ
	FIRMA	 diego trujillo Firmado digitalmente por diego trujillo Fecha: 2025.05.30 11:58:04 -05'00'
	NOMBRE	ING. LINA ROCIO AGUILAR
	FIRMA	 Lina Rocío Aguilar Arévalo Firmado digitalmente por Lina Rocío Aguilar Arévalo Fecha: 2025.05.30 11:26:15 -05'00'
	NOMBRE	ING. JORGE EDY LOAIZA
	FIRMA	 Jorge Edy Loaiza Cala Firmado digitalmente por Jorge Edy Loaiza Cala
	NOMBRE	ARQ. LAURA HERRERA
	FIRMA	 Firmado digitalmente por Laura Victoria Herrera
	NOMBRE	ING. WAINERS FABIAN PARRA PAEZ
	FIRMA	 FABIAN PARRA Firmado digitalmente por FABIAN PARRA
	NOMBRE	ING. CARLOS GALEANO
	FIRMA	 CARLOS GALEANO Firmado digitalmente por CARLOS GALEANO Fecha: 2025.05.30 12:22:12 -05'00'
	FECHA	15 DE MAYO 2025

CONTENIDO

Pág.
1 DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVA....11
1.1 CONCEPTO Y FUNDAMENTO TECNICO....11
1.2 DESCRIPCIÓN DE LA CAPTACIÓN....11
2 ANÁLISIS DE AFECTACIONES A LA INFRAESTRUCTURA EXISTENTE....15
2.1 INSPECCIÓN TÉCNICA DE LA SEDE....15
2.2 EVALUACIÓN DE COMPATIBILIDAD CON LOS SISTEMAS EXISTENTES....16
2.3 REQUIRIMIENTO INFRAESTRUCTURAL DE LA ALTERNATIVA....17
3 DISEÑO DETALLADO DE LA ALTERNATIVA....20
3.1 MEMORIAS DE CÁCULO....20
3.2 PLANOS HIDROSANITARIOS....26
3.3 REMISIÓN A ANEXOS....30
4 MANTENIMIENTO Y MONITOREO DE LA ALTERNATIVA....31
4.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE FLUJO EN LAS TUBERÍAS DE CAPTACIÓN....31
4.2 PROCEDIMIENTOS DE VERIFICACIÓN Y CONTROL....32
4.3 IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES QUE REQUIEREN MANTENIMIENTO PERIÓDICO (TANQUES, TUBERÍAS, BOMBA, ETC.)....33
4.4 PROCEDIMIENTOS Y FRECUENCIAS DE MANTENIMIENTO....35
4.5 COSTOS ESTIMADOS DE MANTENIMIENTO....36
5 ANÁLISIS DE RIESGOS, IMPACTO AMBIENTAL Y SST....38
5.1 RIESGOS ASOCIADOS A LA IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE LA ALTERNATIVA....38
5.2 PROTOCOLOS Y CONDICIONES DE SST EN LA IMPLEMENTACIÓN DE LA ALTERNATIVA....38
5.3 IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE LA ALTERNATIVA....41

5.4 IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA IMPL. Y PM DE LA ALTERNATIVA 41
5.5 PLAN DE CONTINGENCIA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA ALTERNATIVA 44
6 PERMISOS, LICENCIAS O AUTORIZACIONES 45
6.1 LISTADO DE LICENCIAS NECESARIAS PARA INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE LA ALTERNATIVA 45
7 COMPONENTE PRESUPUESTAL 48
7.1 ANÁLISIS DE INSUMOS NECESARIOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y P.E.M DE LA ALTERNATIVA 48
7.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA REDES, MATERIALES Y EQUIPOS 48
7.3 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS 49
7.4 A ANÁLISIS DE MERCADO (COTIZACIONES) 49
7.5 CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN Y P.E.M DE LA ALTERNATIVA 50
7.6 ANÁLISIS DE NECESIDAD DE INTERVENTORÍA 50
7.7 PRESUPUESTO 50
7.8 ENFOQUE DE LA EJECUCIÓN A LA METODOLOGIA PMBOK 7ª EDICION 52
7.9 ANALISIS FINANCIERO DEL PROYECTO 56
8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 63
9 BIBLIOGRAFIA 65

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1Valores de los coeficientes a, b, c y d para el cálculo de las curvas IDF, para Colombia.....20
Tabla 2 Valores precipitación anual máxima. 20
Tabla 3 Resumen estadístico de datos de precipitación.....21
Tabla 4 Valores IDF estación CAR Manjui.....22
Tabla 5 Inventario 25
Tabla 6 Simbología utilizada en EPANET.....26
Tabla 7 Resultados Hidráulicos de EPANET nodos 28
Tabla 8 Resultados Hidráulicos de EPANET tuberías 28
Tabla 9 Procedimientos de verificación y control.....33
Tabla 10 Componentes y mantenimiento 34
Tabla 11 Procedimientos y frecuencia de mantenimiento.....36
Tabla 12 Costos estimados de mantenimiento 37
Tabla 13 MATRIZ DE LEOPOLD PARA LA EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES.....42

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Ilustración 1 Cubierta Administrativo, Sede No.1 Centro Distrital de Salud 11
Ilustración 2 Cubierta Hemocentro, Sede No.1 Centro Distrital de Salud 12
Ilustración 3 Cubierta DUES, Sede No.1 Centro Distrital de Salud.....12
Ilustración 4 Cubierta Laboratorio, Sede No.1 Centro Distrital de Salud 13
Ilustración 5 Cubierta Auditorio, Sede No.1 Centro Distrital de Salud 13
Ilustración 6 Ubicación tanque subterráneo.....14
Ilustración 7 Redes de agua lluvia 15
Ilustración 8 Espacio para tanque subterráneo de agua y bomba, Sede No.1 Centro Distrital de Salud 16
Ilustración 9 Curvas IDF estación Puente Aranda. 23
Ilustración 10 Modelo hidráulico en EPANET 27
Ilustración 11 PRESUPUESTO DE OBRA 51
Ilustración 12 Principios y dominios PMBOK 53
Ilustración 13 Analisis costo-beneficio trimestral.....61

INTRODUCCIÓN

En el marco del contrato No. 6799143 de 2024, el proyecto “REALIZAR LA CONSULTORÍA TÉCNICA PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE COSECHA DE AGUA (APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA Y AGUA ATMOSFÉRICA), PARA LA SECRETARÍA DISTRITAL DE SALUD Y SUS SEDES EN CUSTODIA” avanza a su segunda fase, enfocada en la factibilidad técnica, ambiental, social, jurídica y financiera de dos alternativas de aprovechamiento de aguas lluvias y/o atmosféricas en la Sede ID No. 1, predio Centro Distrital de Salud. Esta fase tiene como objetivo profundizar en el análisis de las alternativas propuestas, evaluando su viabilidad y sostenibilidad, para sentar las bases de su implementación a futuro.

En esta etapa, se realiza un análisis de las posibles afectaciones a la infraestructura existente, identificando las adecuaciones estructurales, espaciales y/o de redes necesarias. Presentando así, los diseños retratados en planos arquitectónicos, estructurales e hidrosanitarios para cada alternativa, asegurando que los sistemas sean funcionales y cumplan con los estándares técnicos requeridos.

Dentro del alcance de esta fase, también se plantea un plan de mantenimiento periódico y se plantea la implementación de un sistema de monitoreo para medir la cantidad de agua captada, lo que permitirá una gestión eficiente del recurso.

El proyecto también contempla el análisis de riesgos e impacto ambiental, así como establecer las licencias o autorizaciones necesarias para la implementación y puesta en marcha de la alternativa. Buscando así, el cumplimiento de la normativa vigente, como el Decreto 1076 de 2015 y la Resolución 2115 de 2007. Asimismo, se elaborará un plan de seguridad y salud en el trabajo para la fase constructiva, identificando riesgos y estableciendo medidas de prevención y contingencia para garantizar la integridad de los trabajadores.

Finalmente, se evaluará el componente presupuestal y financiero de la alternativa. En este apartado se efectuará un análisis de mercado para identificar proveedores de materiales y/o servicios afines al alcance de la alternativa, así como el análisis de precios unitarios y de necesidad de implementar interventoría, con el propósito de establecer la programación y el presupuesto general de la implementación de la alternativa y determinar así, su viabilidad generala partir de la metodología PMBOK 7.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema sostenible de cosecha de agua lluvia para la Sede ID No. 1 Centro Distrital de Salud, que garantice su viabilidad técnica, ambiental y financiera, contribuyendo a la reducción del consumo de agua potable y al cumplimiento de las políticas de gestión hídrica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la capacidad técnica y estructural de la sede para la implementación de sistemas de captación de agua lluvia.
- Desarrollar diseños de la alternativa propuesta cumpliendo con normativas y conceptos técnicos en las disciplinas aplicables.
- Analizar el impacto ambiental y social, asegurando el cumplimiento de normativas como el Decreto 1076 de 2015 y la Resolución 2115 de 2007
- Estimar la rentabilidad del proyecto mediante un análisis PMBOK 7, considerando el ahorro económico por reducción en el consumo de agua potable, así como los costos de implementación y mantenimiento.
- Proponer un plan de monitoreo y mantenimiento para garantizar la operatividad a largo plazo.

1 DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVA

1.1 CONCEPTO Y FUNDAMENTO TECNICO

La Alternativa 2 propone un sistema integrado de captación de agua lluvia para abastecer de agua para riego a la sede ID No. 1 Centro Distrital de Salud en zona urbana de la ciudad de Bogotá D.C. en la localidad de Puente Aranda, diseñado bajo criterios técnicos que permiten aprovechar de manera óptima las condiciones climáticas y geográficas de esta zona. El fundamento del sistema se basa en la interpretación de curvas IDF (Intensidad - Duración - Frecuencia) para definir la intensidad máxima de lluvia en un período de retorno de 10 años, buscando asegurar la resistencia y suficiencia de capacidad de la infraestructura ante eventos probabilísticos determinados.

1.2 DESCRIPCIÓN DE LA CAPTACIÓN

La captación de agua lluvia se realiza mediante las cubiertas de los edificios:

Administrativo que tiene un área de superficie de 1012,38 m² aproximada y que tiene 6 bajantes con diámetro interno de 6 pulgadas.

Ilustración 1 Cubierta Administrativo, Sede No.1 Centro Distrital de Salud



Fuente: Elaboración propia, a partir de visita a la sede, Noviembre 2024

Hemocentro con un área en cubierta de 1455,12 m^2 aproximadamente, que cuenta con 6 bajantes entre 6 y 4 pulgadas.

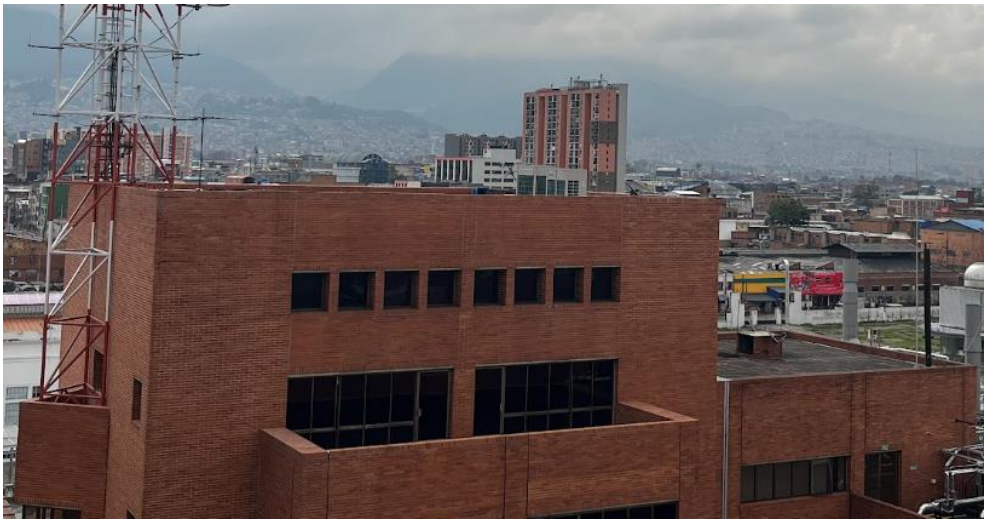
Ilustración 2 Cubierta Hemocentro, Sede No.1 Centro Distrital de Salud



Fuente: Elaboración propia, a partir de la visita a la sede en Noviembre 2024

DUES que tiene un área de superficie de 215,7 m^2 aproximada y tiene 3 bajantes con diámetro interno de 4 pulgadas.

Ilustración 3 Cubierta DUES, Sede No.1 Centro Distrital de Salud



Fuente: Elaboración propia, a partir de la visita a la sede en Noviembre 2024

Laboratorio con un área en cubierta de 1050 m^2 aproximadamente, que cuenta con 3 bajantes de 4 pulgadas.

Ilustración 4 Cubierta Laboratorio, Sede No.1 Centro Distrital de Salud



Fuente: Elaboración propia, a partir de la visita a la sede en Noviembre 2024

Auditorio que tienen un área de superficie de 291 m² con dos bajantes, una de 4 y otra de 6 pulgadas.

Ilustración 5 Cubierta Auditorio, Sede No.1 Centro Distrital de Salud



Fuente: Elaboración propia, a partir de la visita a la sede en Noviembre 2024

El agua lluvia recolectada mediante las bajantes de los edificios mencionados será conducida hacia un tanque de tratamiento subterráneo con capacidad de 10000 litros, ubicado en la zona verde frente a la ampliación del Hemocentro (lado de la carrera 33). Desde allí, el agua será distribuida mediante un sistema de bombeo a distintas zonas verdes de la sede.

Ilustración 6 Ubicación tanque subterráneo



Fuente: Imagen sacada de satélites pro

2 ANÁLISIS DE AFECTACIONES A LA INFRAESTRUCTURA EXISTENTE

2.1 INSPECCIÓN TÉCNICA DE LA SEDE

Durante las visitas técnicas realizadas a la Sede No. 1 - Centro Distrital de Salud, se llevó a cabo una inspección visual detallada de las cubiertas, bajantes y sistemas de conducción existentes en los edificios Administrativo, Hemocentro, DUES, Laboratorio y Auditorio. Se identificó que cada edificio cuenta con bajantes pluviales individuales en buen estado general, pero actualmente conectadas a los sistemas de drenaje pluvial del distrito sin aprovechamiento hídrico.

Ilustración 7 Redes de agua lluvia



Fuente: Elaboración propia, a partir de la visita a la sede en Noviembre 2024

Asimismo, se verificó que la sede cuenta con espacio en una zona verde exactamente por el lado de la carrera 33 frente a la zona ampliada del Hemocentro, con espacio disponible para la instalación del tanque de tratamiento de agua lluvia de 10000 litros, y la bomba.

Ilustración 8 Espacio para tanque subterráneo de agua y bomba, Sede No.1 Centro Distrital de Salud



Fuente: Elaboración propia, a partir de visita a la sede, Abril 2025

2.2 EVALUACIÓN DE COMPATIBILIDAD CON LOS SISTEMAS EXISTENTES

La infraestructura actual de la Sede No. 1 no cuenta con un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias, por lo que las bajantes pluviales existentes descargan directamente al sistema de drenaje urbano sin ningún tipo de tratamiento o recolección. Esto hace que no exista una compatibilidad directa con el nuevo sistema propuesto, por lo cual se requerirá la modificación de las redes actuales para su integración con el sistema de cosecha.

Durante la evaluación técnica, se determinó que la recolección de agua lluvia se limitará a las cubiertas, las juntas entre edificios y las plazoletas. Esta decisión se fundamenta en que estas áreas presentan un menor riesgo de contaminación del escurrimiento superficial, en comparación con otras zonas del predio. En particular, se excluyen los parqueaderos debido a que el agua que escurre por esas superficies puede estar contaminada con aceites, residuos orgánicos e inorgánicos, y otros agentes propios del tránsito peatonal y vehicular. Captar agua en estas zonas implicaría un tratamiento más exigente y mayores riesgos para su reutilización.

Respecto a las bajantes pluviales existentes, se intervendrán a nivel del sótano para modificarlas, redirigiendo su descarga hacia un tanque de almacenamiento y tratamiento de agua lluvia con capacidad de 10,000 litros. Una vez tratada, el agua será impulsada mediante un sistema de bombeo y distribuida hacia las zonas verdes de la sede.

Para ello, se instalará una nueva red de tuberías que recorrerá el sótano y perforará la losa en los puntos necesarios para abastecer las áreas ajardinadas del complejo: la zona de parqueaderos, la plazoleta, la entrada principal y las áreas verdes adyacentes a la cancha. Esta solución integral optimizará el aprovechamiento del agua captada, garantizando su distribución eficiente en todos los espacios vegetados del recinto.

Esta solución garantiza que el agua recolectada sea tratada y reutilizada de manera eficiente, asegurando su calidad y optimizando la infraestructura existente con intervenciones mínimas.

2.3 REQUIRIMIENTO INFRAESTRUCTURAL DE LA ALTERNATIVA

La implementación del sistema de captación de agua lluvia en la Sede No. 1 requiere una serie de adecuaciones infraestructurales, a nivel superficial para garantizar la recolección eficiente del recurso y su posterior integración al sistema interno de abastecimiento de agua. Los requerimientos principales incluyen:

2.3.1 Adaptación de las bajantes existentes

Será necesario intervenir las bajantes pluviales actuales de los edificios Administrativo, Hemocentro, DUES, Laboratorio, Auditorio y plazoleta principal,

principalmente en el tramo inferior, para redirigir sus descargas hacia una red común de recolección. Estas adaptaciones incluirán el uso de codos, derivaciones y sellos hidráulicos para evitar el retorno de olores o la entrada de contaminantes.

2.3.2 Construcción de redes de conducción internas:

Se instalará una red de tuberías en PVC sanitario de alta resistencia (tipo pesada), de diámetros entre 4” y 6”, dependiendo del caudal aportado por cada edificio. Esta red se proyecta con pendiente mínima del 2% y estará dispuesta en forma perimetral pasando por el interior del sótano, interconectando las bajantes modificadas con el tanque subterráneo de la sede.

2.3.3 Instalación del tanque de almacenamiento de agua lluvia

El sistema contemplará la instalación de un tanque de almacenamiento semi subterráneo con capacidad para 10,000 litros, el cual estará destinado a recibir el caudal captado desde las cubiertas, juntas estructurales y plazoletas del complejo. Este tanque estará ubicado en la zona verde antes mencionada, de fácil acceso para labores de mantenimiento.

El tanque será de tipo prefabricado en polietileno de alta densidad (PEAD). Contará con una cámara de inspección, tapas herméticas, sistema de rebose y ventilación pasiva para evitar la acumulación de gases. Además, incluirá una unidad de pretratamiento, como un filtro de hojas y sedimentos, que permitirá separar sólidos gruesos antes de su ingreso al tanque.

2.3.4 Sistema de distribución tratada

Una vez almacenada y tratada, el agua lluvia será distribuida mediante un sistema de bombeo automatizado que impulsará el recurso hídrico hacia los puntos de riego designados. Este sistema constará de una bomba centrífuga de velocidad controlada, instalada en un gabinete técnico con protección contra humedad y acceso restringido.

El agua será conducida desde la bomba a través de una red de tuberías de polietileno de alta densidad (PEAD) o PVC hidráulico, con diámetro calculado para garantizar el caudal requerido sin pérdidas significativas de presión. La red de tuberías recorrerá el sótano perimetralmente y ascenderá mediante perforaciones estratégicas en la losa, permitiendo la distribución hacia las áreas verdes.

Los puntos de riego incluyen:

- Jardines en la zona de parqueaderos
- Plazoleta principal
- Acceso peatonal
- Áreas verdes adyacentes a la cancha

Adicionalmente, siguiendo la sugerencia del equipo técnico de la sede, se incluirá el reemplazo total de las válvulas de riego en las zonas mencionadas debido al deterioro de las existentes.

3 DISEÑO DETALLADO DE LA ALTERNATIVA

3.1 MEMORIAS DE CÁCULO

Para el estudio hidrológico de este proyecto se empleó la metodología de curvas IDF (Intensidad - Duración - Frecuencia), una de las herramientas más utilizadas para el diseño de sistemas de recolección de aguas lluvias. En este caso, se aplicó la metodología establecida por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

Como primer paso, se seleccionó la estación climatológica más cercana al sitio de estudio, que corresponde a la estación Puente Aranda. Esta estación está ubicada en la región Andina, y según la clasificación de INVIAS, se utilizan los siguientes coeficientes para la formulación de las curvas IDF:

Tabla 1Valores de los coeficientes a, b, c y d para el cálculo de las curvas IDF, para Colombia.

Región	a	b	c	d
Andina	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe	24.85	0.22	0.5	0.1
Pacifico	13.92	0.19	0.58	0.2
Orinoquia	5.53	0.17	0.63	0.42

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se analizaron los datos de precipitación máxima diaria registrada anualmente en la estación Puente Aranda. Este registro comprende los años 2009 a 2022 y permite evidenciar la variabilidad interanual de los eventos máximos de lluvia en la zona.

Tabla 2 Valores precipitación anual máxima.

EST. RMCAB PTE. ARANDA	
AÑO	PMAX
2009	26
2010	50.1
2011	21.9
2012	49.4
2013	22.5

2014	22.5
2015	20
2016	43.3
2017	54.7
2018	17.8
2019	16
2020	24.8
2021	19
2022	29.7

Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos analizados, se obtuvieron los siguientes resultados estadísticos:

Tabla 3 Resumen estadístico de datos de precipitación.

N	14
Media	29.84 mm
Desviación estandar	13.457
%Var.	45%

Fuente: Elaboración propia

A partir de estos resultados y los parámetros establecidos por INVIAS para la región Andina, se empleó la siguiente fórmula para el cálculo de intensidades:

$$I = \frac{a * T_r^d}{(t+b)^c}$$

Donde:
I= Intensidad de precipitación (mm/h)
t= Duración de la lluvia (minutos)
Tr= Periodo de retorno (años)
a,b,c,d= Coeficientes regionales proporcionados por INVIAS

A partir de esta fórmula, se calcularon las intensidades de precipitación para diferentes combinaciones de duración y periodo de retorno. La siguiente tabla presenta los valores obtenidos:

Tabla 4 Valores IDF estación Puente Aranda

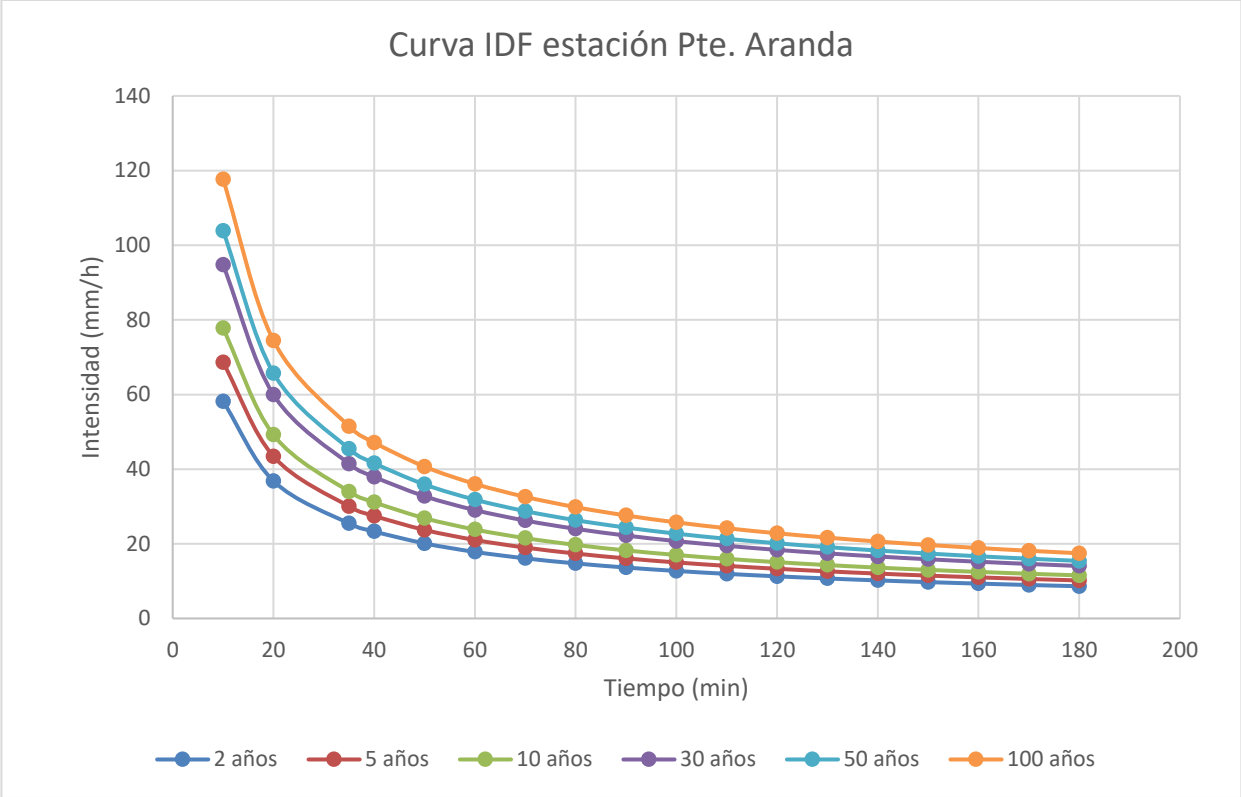
Tiempo	Periodo de retorno (años)					
(min)	2 años	5 años	10 años	30 años	50 años	100 años
10	58.2001793	68.6362464	77.7568975	94.7590612	103.885163	117.689827
20	36.8336304	43.4383907	49.2106528	59.9709533	65.7466649	74.4833372
35	25.458887	30.0240044	34.0137108	41.451079	45.4431696	51.4818345
40	23.3112053	27.4912147	31.1443542	37.9543148	41.6096373	47.1388876
50	20.1188948	23.7264805	26.8793474	32.7567304	35.9114815	40.6835387
60	17.8379317	21.0365104	23.8319236	29.0429632	31.8400469	36.0710761
70	16.1123771	19.0015408	21.5265393	26.2334883	28.7599958	32.5817358
80	14.7531559	17.3985932	19.7105858	24.0204621	26.3338364	29.8331789
90	13.6497365	16.097316	18.2363898	22.2239214	24.3642736	27.601893
100	12.7328119	15.0159746	17.0113556	20.7310238	22.7275972	25.7477287
110	11.9565298	14.1004948	15.9742233	19.4671142	21.3419625	24.1779654
120	11.2892399	13.3135509	15.0827072	18.3806611	20.1508747	22.8286012
130	10.7083291	12.6284751	14.3065959	17.4348469	19.1139705	21.6539092
140	10.1971738	12.0256628	13.6236796	16.6026054	18.2015772	20.6202734
150	9.74325551	11.4903509	13.0172334	15.863555	17.3913499	19.7023801
160	9.33695218	11.011192	12.474402	15.2020292	16.6661135	18.8807714
170	8.97073515	10.5793074	11.9851269	14.6057701	16.0124297	18.1402236
180	8.63862197	10.1876419	11.5414153	14.0650376	15.41962	17.468639

Fuente: Elaboración propia a partir de datos estación Puente Aranda

Con base en estos datos, se establecieron las intensidades de diseño correspondientes a diferentes duraciones de lluvia (entre 10 y 180 minutos) y a varios periodos de retorno (2, 5, 10, 20, 50 y 100 años), los cuales son requeridos para estimar los caudales de diseño en sistemas de captación pluvial.

Para este proyecto, se seleccionó una intensidad de diseño de 34.013 mm/h, correspondiente a una duración de 35 minutos y un periodo de retorno de 10 años.

Ilustración 9 Curvas IDF estación Puente Aranda.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos estación Puente Aranda

La curva IDF correspondiente a la estación Puente Aranda muestra una tendencia decreciente de la intensidad de la lluvia a medida que aumenta la duración del evento, lo cual es característico del comportamiento hidrológico en zonas montañosas de la región Andina. Asimismo, se observa que, para eventos con mayor periodo de retorno, la intensidad esperada es significativamente mayor, lo que respalda la necesidad del diseño de captación y manejo de aguas lluvias basados en análisis de riesgo y frecuencia.

Los cálculos realizados para estimar los volúmenes de captación fueron los siguientes:

Teniendo los datos de que el área en cubierta es de 4024.2 m^2, con intensidad de la lluvia de 34.01 mm/h y un coeficiente de escorrentía de 0.9.

$$\boldsymbol{Volumen\ Captado} = \frac{\acute{a}rea\ cubierta * Intesidad\ Lluv * Cof\ Esco}{1000}$$

$$\boldsymbol{Volumen\ Captado} = \frac{4024.2\ m^2 * 34.01\ \frac{mm}{h} * 0.9}{1000}$$

$$\boldsymbol{Volumen\ Captado} = 123.19 \frac{m^3}{h}$$

A partir del análisis técnico realizado, se concluye que el sistema propuesto es técnicamente viable, ya que cumple con los requerimientos de tratamiento para potabilizar el agua lluvia recolectada en la sede principal. El diseño se ajusta adecuadamente al caudal estimado de 123.19 m³/mes, garantizando un suministro continuo y seguro del recurso tratado.

Finalmente, esta alternativa representa una solución eficiente y sostenible para el aprovechamiento del agua lluvia, al integrar tecnologías compactas de bajo consumo energético, facilitar la reutilización del recurso hídrico y contribuir con prácticas responsables en la gestión ambiental del edificio.

3.1.1 Metodología de la red hidráulica

La presente alternativa plantea el aprovechamiento de aguas lluvias para ser utilizadas exclusivamente en el riego de zonas verdes de la sede principal. Este enfoque no contempla tratamiento potabilizador, pero sí incluye un proceso básico de cloración con el fin de preservar la calidad del agua durante su almacenamiento en el sistema.

El diseño inició con la identificación de los puntos de captación de aguas lluvias a partir de los planos existentes proporcionados por la Secretaría. Se reconocieron las canaletas y sifones dispuestos en las cubiertas de los bloques de la edificación.

Tras su evaluación, se seleccionaron aquellos puntos cuya captación representaba condiciones aceptables de calidad, descartando únicamente los sifones del parqueadero por su alto riesgo de contaminación con hidrocarburos. Las canaletas y sifones seleccionados fueron conectados a una red de conducción que dirige el flujo hacia un tanque subterráneo de almacenamiento con capacidad de 5000 litros.

Desde este tanque, el agua es clorada previamente para evitar la proliferación de microorganismos durante el tiempo de almacenamiento. Posteriormente, una

bomba de 2 caballos de fuerza, cuya curva característica fue incorporada en el modelamiento, impulsa el caudal hacia los diferentes puntos de consumo. Para esta alternativa, se diseñó e implementó una red nueva de distribución, optimizada para garantizar el suministro eficiente hacia las áreas de riego.

El sistema fue modelado en el software EPANET, donde se establecieron los caudales requeridos por punto de consumo, estimados en 0.1 L/s, y se verificaron las condiciones de operación como presión, velocidad y pérdida de carga, asegurando un desempeño hidráulico adecuado. Esta modelación permitió validar que el sistema puede funcionar correctamente bajo las condiciones previstas y garantizar el abastecimiento sin interrupciones.

El diseño cumple con los lineamientos técnicos establecidos en la NTC 1500 - Código Colombiano de Fontanería, y en el RAS 2000, en lo correspondiente al manejo de aguas lluvias para usos no potables. Adicionalmente, se siguieron criterios técnicos para la selección de materiales, dimensionamiento de tuberías, y especificaciones de instalación que aseguran la operatividad, eficiencia y sostenibilidad del sistema.

3.1.2 Inventario de accesorios y tuberías

A continuación, se presenta el inventario de los accesorios hidráulicos y tramos de tubería para la nueva red desde el tanque a los puntos requeridos para el sistema de distribución propuesto en esta alternativa. Se detallan las cantidades, longitudes y diámetros nominales, clasificados por tipo de accesorio:

Tabla 5 Inventario

Accesorios		**Tubería**	
Accesorios	**Cantidades**	**Longitud (m)**	**diámetro (in)**
Válvula	1	3,73	1
Codo 90°	21	6	1
Codo 45°	2	30	1
Conexión T	2	22,8	1
Válvula conexión	1	16,55	1
Unión	1	8,201	1
Llave	8	22	1
		52,35	1

	29,3	1
	4,29	1
	15,56	1
	18,69	1

Fuente: Elaboración propia

3.2 PLANOS HIDROSANITARIOS

Este proyecto plantea un sistema integrado de tratamiento y distribución de aguas recolectadas, provenientes de la captación pluvial. Para ello, se elaboró un modelo hidráulico mediante el software EPANET, el cual permite simular con precisión el comportamiento de la red, evaluar presiones en distintos puntos y verificar el funcionamiento del sistema ante condiciones reales de operación.

A continuación, se presenta la simbología utilizada en el modelo:

Tabla 6 Simbología utilizada en EPANET.

Símbolo	Nomenclatura	Descripción
	Nodo	Utilizados para dos opciones: 1. Representar puntos de interés como cambios de dirección o tanques de desinfección. 2. Representar los puntos de demanda de agua (Cocina y Baño).
	Reservorio	Representa las entradas principales de agua al sistema: 1. Captación de agua atmosférica 2. Captación desde el tanque de recolección aguas lluvia.
	Tanque	Elemento de almacenamiento central del sistema de distribución.
	Tubería	Conduce el agua desde los puntos de recolección hasta los puntos de consumo.
	Bomba	Se modeló una bomba de 0.5 HP para impulsar el agua desde el tanque hacia la red de consumo.

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se muestra el modelo hidráulico montado en EPANET, para ver a detalle la modelación ver anexo A Modelación hidráulica en EPANET – Alternativa 2.

Ilustración 10 Modelo hidráulico en EPANET



Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior se presenta el modelamiento hidráulico de la red de recolección y distribución de aguas lluvias para la sede principal, realizado mediante el software EPANET. Esta propuesta contempla la recolección de agua lluvia exclusivamente con fines de riego, por lo que el sistema ha sido simplificado para centrarse en la distribución desde un tanque de almacenamiento ya lleno. El agua de lluvia se capta a través de canaletas y sifones que la conducen hacia un tanque subterráneo con capacidad de 5000 litros. Debido a que el propósito del análisis es verificar el funcionamiento del sistema de riego, el proceso de captación no fue modelado, considerando el tanque como una fuente fija de suministro.

Desde el tanque, el agua es impulsada mediante una bomba de 2 caballos de fuerza, cuya curva de operación fue incorporada al modelo hidráulico en EPANET. Esta bomba alimenta una red que distribuye el agua hacia varios nodos, los cuales representan las válvulas o llaves de riego ubicadas estratégicamente en el área verde. Cada nodo fue definido con una demanda aproximada de 0.1 L/s, en concordancia con los requerimientos típicos de un sistema de riego por gravedad o baja presión.

El análisis muestra que el modelo hidráulico opera sin inconvenientes, manteniendo presiones adecuadas y caudales suficientes en cada punto de salida, lo cual valida la viabilidad técnica de esta alternativa. Al estar destinada únicamente al riego, no es necesario incorporar procesos de tratamiento del agua, lo que simplifica tanto el diseño como los costos operativos del sistema. En este sentido, el modelo confirma que la solución propuesta no solo es funcional, sino también eficiente y sostenible en el contexto de aprovechamiento de aguas lluvias para usos no potables.

En la ejecución de la simulación en EPANET, se observan los siguientes resultados hidráulicos:

Tabla 7 Resultados Hidráulicos de EPANET nodos

ID Nodo	Demanda LPS	Cabeza (m)	Presión (m)
Junc 2	0.00	43.67	43.67
Junc 3	0.10	42.62	42.02
Junc 4	0.10	40.09	40.09
Junc 5	0.10	39.69	39.09
Junc 6	0.10	39.56	38.96
Junc 7	0.10	39.46	38.89
Junc 8	0.10	39.54	39.04
Junc 9	0.10	38.53	38.03
Junc 10	0.00	37.66	37.66
Junc 11	0.10	36.67	36.07
Junc 12	0.00	36.76	36.76
Junc 13	0.10	36.68	36.08
Junc 14	0.10	36.51	35.51
Junc 15	0.10	36.50	36.50
Junc 16	0.10	36.50	35.50
Junc 17	0.10	36.45	35.46
Junc 18	0.10	35.26	35.26
Resvr 1	-0.80	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8 Resultados Hidráulicos de EPANET tuberías

ID Tubería	Caudal LPS	Velocidad (m /s)	Pérdida de Carga Unitaria m/km	Factor de Fricción
Tubería 2	0.80	1.58	107.77	0.022
Tubería 3	0.80	1.58	107.77	0.022
Tubería 4	0.70	1.38	84.16	0.022
Tubería 5	0.30	0.59	17.52	0.022
Tubería 6	0.20	0.39	8.27	0.029
Tubería 7	0.10	0.20	2.29	0.029
Tubería 8	0.10	0.20	2.29	0.029
Tubería 9	0.79	0.79	29.85	0.024

Tubería 10	0.79	0.79	29.85	0.024
Tubería 11	0.20	0.20	2.29	0.029
Tubería 12	0.30	0.59	17.52	0.022
Tubería 14	0.10	0.20	2.29	0.029
Tubería 15	0.10	0.20	2.29	0.029
Tubería 16	0.10	0.20	2.29	0.029
Tubería 17	0.30	0.59	17.52	0.022
Tubería 18	0.20	0.39	8.27	0.029
Bomba 1	0.80	0.00	-43.67	0.000

Fuente: Elaboración propia

El análisis hidráulico de los nodos muestra que las presiones en la red varían entre 43.67 metros y 35.26 metros de columna de agua, lo cual indica que el sistema mantiene niveles adecuados para un correcto funcionamiento, garantizando el suministro sin riesgos de presión negativa o insuficiente. La cabeza hidráulica también presenta valores coherentes y estables, lo que refleja un sistema sin pérdidas significativas de energía hidráulica. En cuanto a la demanda, los nodos presentan valores bajos, oscilando entre 0.00 y 0.10 litros por segundo, lo que sugiere una red diseñada para zonas de bajo consumo o residencial, lo que facilita un control eficiente del flujo y reduce la sobrecarga en la red.

Por otro lado, el análisis de las tuberías evidencia que los caudales se encuentran dentro de un rango esperado para el sistema, con valores entre 0.10 y 0.80 litros por segundo, donde las tuberías principales transportan los mayores caudales, asegurando un suministro adecuado hacia los diferentes puntos de consumo. Las velocidades del flujo en las tuberías se mantienen entre 0.18 y 1.58 metros por segundo, rangos que están dentro de las recomendaciones técnicas para evitar tanto sedimentación como pérdidas excesivas por fricción. Las pérdidas de carga unitaria son mayores en las tuberías con mayor caudal, lo cual es normal en estas condiciones, mientras que en las tuberías secundarias estas pérdidas son mínimas. Además, los factores de fricción se encuentran en valores típicos de materiales hidráulicos en buen estado, lo que indica que las tuberías no presentan deterioros ni obstrucciones que puedan afectar el desempeño del sistema.

En conclusión, el modelo hidráulico desarrollado con EPANET demuestra que el sistema de distribución es eficiente y confiable. Las condiciones de presión, velocidad y caudal son adecuadas para el funcionamiento óptimo del sistema, asegurando que el agua llegue con la presión necesaria a todos los puntos de la red sin pérdidas significativas ni riesgos de daños. Por tanto, el diseño propuesto cumple con los requisitos técnicos fundamentales para garantizar un suministro

continuo, seguro y eficiente, respaldando la viabilidad y funcionalidad del proyecto hidráulico.

3.3 REMISIÓN A ANEXOS

Como parte de la documentación técnica del proyecto, se adjuntan los siguientes archivos para respaldar el diseño y análisis del sistema:

- Modelación hidráulica: Anexo A Modelación hidráulica en EPANET – Alternativa 2.

- Planos de la red: Anexo B Detalle Red Captación, en formato PDF (para visualización rápida) y en formato DWG (para edición o detalles técnicos).

- Planos de la red: Anexo C Detalle Red de suministro V0

4 MANTENIMIENTO Y MONITOREO DE LA ALTERNATIVA

El mantenimiento y monitoreo del sistema de captación, tratamiento y distribución de agua lluvia para riego es esencial para asegurar su operatividad continua, prevenir daños a la infraestructura y garantizar el uso eficiente del recurso hídrico recolectado. Dado que el uso del agua en esta alternativa no es para consumo humano, los requerimientos de tratamiento son menos rigurosos en términos sanitarios, pero igualmente relevantes desde el punto de vista hidráulico, técnico y ambiental.

Esta sección describe el diseño del sistema de medición, los procedimientos de control, las rutinas de mantenimiento, los componentes críticos del sistema y una estimación referencial de costos de operación.

4.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE FLUJO EN LAS TUBERÍAS DE CAPTACIÓN

El sistema de medición estará orientado a monitorear el caudal recolectado desde las cubiertas, con el objetivo de cuantificar la eficiencia del sistema frente a eventos de lluvia, estimar volúmenes mensuales disponibles para riego, evaluar la necesidad de mantenimiento por posibles obstrucciones y analizar el balance entre agua captada y agua distribuida.

Se propone la instalación de un medidor ultrasónico tipo clamp-on, ubicado en la tubería principal que conduce el agua desde las bajantes hacia el tanque de almacenamiento subterráneo. Esta ubicación permite registrar el total de caudal captado sin necesidad de intervención invasiva sobre la tubería.

4.1.1 Ubicación del medidor

El medidor se instalará en un tramo horizontal de la tubería principal de ingreso al tanque, dentro de un cuarto técnico o cámara de inspección de fácil acceso, cumpliendo con los criterios de rectitud y ausencia de turbulencias.

4.1.2 Características del medidor recomendado

- Tecnología ultrasónica no intrusiva (clamp-on).
- Compatible con tuberías de HDPE de 3”.
- Alimentación a batería o red eléctrica con respaldo.
- Precisión ±1% y memoria interna para almacenamiento de datos.
- Salida de datos para conexión a sistema de monitoreo o descarga manual.

4.2 PROCEDIMIENTOS DE VERIFICACIÓN Y CONTROL

La verificación del sistema debe realizarse siguiendo un esquema de control técnico programado que asegure la funcionalidad de todos sus componentes. De forma mensual, se debe realizar una inspección visual de las bajantes, rejillas, filtros de ingreso y conexiones visibles de la red de captación. Esta revisión permite detectar obstrucciones por hojas, residuos sólidos o acumulaciones de sedimentos, los cuales podrían comprometer el caudal recolectado.

El sistema de bombeo debe ser verificado mensualmente para asegurar que no existan variaciones de presión, sobrecalentamientos ni sonidos anormales que indiquen fallos mecánicos. Es importante revisar el estado de los anclajes, la presión de trabajo y el consumo eléctrico, comparando los valores con los parámetros establecidos por el fabricante. En caso de evidenciar alteraciones, se debe realizar mantenimiento preventivo o correctivo inmediato.

El sistema de medición de caudal debe verificarse cada dos meses para confirmar la precisión de las lecturas. Esto incluye la limpieza de sensores (en caso de acumulación externa), revisión del visor digital o pantalla, y confirmación de que el sistema almacene correctamente los datos o los transmita al sistema de monitoreo si existe conexión remota.

En situaciones en las que se observe olor desagradable en el agua, turbidez inusual o disminución del rendimiento del riego, será necesario realizar una revisión especial del tanque de almacenamiento y del sistema de distribución. Estas

revisiones se deben complementar con el registro en el formato de seguimiento técnico, el cual debe ser diligenciado y almacenado por el personal responsable del sistema.

Para facilidad de lectura se hace una tabla resumen de lo mencionado anteriormente.

Tabla 9 Procedimientos de verificación y control

Componente	**Frecuencia**	**Actividades de Verificación**	**Acciones Correctivas/Preventivas**
Red de Captación	Mensual	- Inspección visual de bajantes, rejillas, filtros y conexiones.	- Limpieza de obstrucciones (hojas, residuos, sedimentos) para evitar comprometer el caudal.
Sistema de Bombeo	Mensual	- Verificar presión, temperatura y sonidos anormales. - Revisar anclajes, presión de trabajo y consumo eléctrico (comparar con parámetros del fabricante).	- Mantenimiento preventivo/correctivo si hay variaciones de presión, sobrecalentamiento o fallos.
Medición de Caudal	Bimestral	- Limpieza de sensores. - Revisar visor digital/pantalla y almacenamiento/transmisión de datos.	- Ajustar o reparar sensores si hay inexactitudes en las lecturas.
Tanque y Distribución	Según necesidad	- Revisión especial si hay olores, turbidez o rendimiento bajo en el riego. - Registro en formato de seguimiento técnico.	- Limpieza o reparación de componentes afectados. - Almacenar documentación por el personal responsable.

Fuente: Elaboración propia

4.3 IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES QUE REQUIEREN MANTENIMIENTO PERIÓDICO (TANQUES, TUBERÍAS, BOMBA, ETC.)

Dentro del sistema de captación y uso de agua lluvia para riego, se identifican cinco componentes principales que requieren mantenimiento periódico. En primer lugar, las bajantes y tuberías de captación, al estar expuestas a elementos externos, pueden acumular residuos orgánicos como hojas, ramas o polvo, lo que exige su

limpieza mensual. En segundo lugar, los filtros ubicados en los puntos de ingreso al tanque tienden a retener partículas sólidas y deben ser inspeccionados cada quince días, lavándolos con agua a presión para garantizar su eficiencia.

El tanque subterráneo de almacenamiento es otro componente crítico que puede acumular lodos, algas o residuos en el fondo, por lo que se recomienda realizar su vaciado y lavado interno con solución desinfectante entre cada tres y seis meses, dependiendo del comportamiento del sistema. El sistema de bombeo, compuesto por una bomba centrífuga con control automático, debe ser verificado mecánica y eléctricamente de manera bimestral. Este mantenimiento incluye limpieza externa, prueba de presión, verificación de ruidos y revisión del sistema de alimentación.

Finalmente, la red de distribución de agua tratada hacia las zonas verdes requiere inspección bimensual para detectar posibles obstrucciones, fugas o daños en las conexiones. Estas revisiones se deben complementar con un reporte de mantenimiento técnico que documente las acciones realizadas y que permita hacer seguimiento a la condición de cada componente del sistema.

Para facilidad de lectura se hace una tabla resumen de lo mencionado anteriormente.

Tabla 10 Componentes y mantenimiento

Componente	**Frecuencia de Mantenimiento**	**Actividades Principales**	**Acciones Correctivas/Preventivas**
Bajantes y tuberías de captación	Mensual	- Limpieza de residuos orgánicos (hojas, ramas, polvo).	- Desobstrucción para evitar bloqueos en el flujo de agua.
Filtros de ingreso al tanque	Quincenal	- Inspección y lavado con agua a presión.	- Reemplazo o reparación si están dañados o saturados.
Tanque subterráneo de almacenamiento	3 a 6 meses	- Vaciado, lavado interno y desinfección con solución adecuada.	- Eliminación de lodos, algas o sedimentos para evitar contaminación.
Sistema de bombeo	Bimestral	- Limpieza externa, prueba de presión, verificación de	- Reparación o ajuste en caso de fallos mecánicos o eléctricos.

		ruidos y revisión eléctrica.	
Red de distribución	Bimestral	- Inspección de obstrucciones, fugas o daños en conexiones.	- Reparación de fugas o reemplazo de elementos dañados para garantizar el riego eficiente.

Fuente: Elaboración propia

4.4 PROCEDIMIENTOS Y FRECUENCIAS DE MANTENIMIENTO

El mantenimiento del sistema de captación, tratamiento y distribución de agua lluvia para riego debe llevarse a cabo de forma sistemática y programada, con el fin de evitar fallos en los componentes, garantizar la eficiencia del sistema y prolongar su vida útil. Las actividades de mantenimiento incluyen tanto tareas rutinarias de inspección como intervenciones técnicas específicas, de acuerdo con la naturaleza de cada componente.

La limpieza de las bajantes y rejillas debe realizarse mensualmente, ya que estas zonas están expuestas a la intemperie y tienden a acumular residuos como hojas, tierra o basura arrastrada por la lluvia. Esta limpieza evita obstrucciones en el sistema y garantiza un flujo constante de agua hacia el tanque. Por su parte, los filtros de ingreso, cuya función es separar sedimentos y partículas gruesas antes del almacenamiento, deben limpiarse cada quince días. Este proceso se realiza retirando los filtros, lavándolos con agua a presión y volviéndolos a instalar correctamente.

El tanque de almacenamiento subterráneo requiere una limpieza interna trimestral, para remover lodos o residuos orgánicos que puedan acumularse en el fondo y afectar la calidad del agua. Esta limpieza implica el vaciado parcial o total del tanque, seguido de un lavado con solución desinfectante. La bomba centrífuga que impulsa el agua hacia las zonas verdes debe revisarse bimestralmente. Esta revisión incluye la verificación del funcionamiento eléctrico, el estado de las conexiones, la presión generada y la limpieza del cuerpo de la bomba.

La red de riego también forma parte del sistema y debe ser inspeccionada cada dos meses para detectar fugas, obstrucciones o deterioro de uniones y válvulas. Por último, el medidor de caudal, fundamental para el control del volumen captado y

distribuido, debe ser calibrado y revisado semestralmente por personal técnico capacitado.

El procedimiento general de mantenimiento inicia con el cierre de las válvulas de ingreso y salida del sistema, y la desconexión de los equipos eléctricos si es necesario. Posteriormente se realiza la inspección visual y la limpieza de filtros, tuberías y conexiones accesibles. En el caso del tanque, se procede a su lavado con solución clorada y enjuague con agua limpia. La bomba se prueba en condiciones controladas y se revisan todos los elementos de la red de distribución. Finalmente, todas las actividades se registran en un formato institucional que permite la trazabilidad del mantenimiento y facilita futuras intervenciones.

A continuación, se presentan los procedimientos y frecuencias de mantenimiento en una tabla resumen:

Tabla 11 Procedimientos y frecuencia de mantenimiento

Actividad	Frecuencia	Responsable
Limpieza de bajantes y rejillas	Mensual	Auxiliar de mantenimiento
Limpieza de filtro de ingreso	Quincenal	Técnico hidrosanitario
Revisión y lavado del tanque	Trimestral	Equipo técnico especializado
Verificación del sistema de bombeo	Mensual	Técnico eléctrico / mecánico
Limpieza y prueba de red de riego	Bimensual	Personal de jardinería
Verificación y calibración del medidor	Semestral	Técnico de instrumentación

Fuente: Elaboración propia

4.5 COSTOS ESTIMADOS DE MANTENIMIENTO.

La implementación de un sistema de mantenimiento preventivo implica costos operativos que deben ser considerados dentro del presupuesto general de funcionamiento del sistema. Estos costos dependen de la frecuencia de intervención, los recursos humanos requeridos, los insumos utilizados y la complejidad de las actividades de mantenimiento.

El costo mensual de limpieza de bajantes y filtros se estima en aproximadamente doscientos mil pesos colombianos, considerando el tiempo de intervención y el personal requerido. El mantenimiento del tanque, que incluye vaciado, limpieza interna y desinfección, tiene un costo aproximado de trescientos cincuenta mil pesos por intervención, y se realiza cada tres meses. El sistema de bombeo, por su parte,

requiere mantenimiento técnico bimestral, cuyo costo ronda los trescientos mil pesos, incluyendo revisión eléctrica y pruebas de presión. A esto se suman los insumos de limpieza y desinfección, estimados en cien mil pesos por trimestre, y la inspección de la red de riego, que tiene un costo bimensual de aproximadamente doscientos cincuenta mil pesos.

El total anual estimado para el mantenimiento completo del sistema asciende a siete millones quinientos mil pesos colombianos (COP 7.500.000). Este valor puede variar dependiendo del comportamiento del sistema, la intensidad de las lluvias, la frecuencia de uso del agua para riego y los costos del mercado local.

A continuación, se presenta la estimación resumida de los costos anuales:

Tabla 12 Costos estimados de mantenimiento

Actividad	**Costo unitario (COP)**	**Frecuencia**	**Costo anual estimado (COP)**
Limpieza de bajantes y filtros	$200.000	Mensual	$2.400.000
Limpieza de tanque	$350.000	Trimestral	$1.400.000
Verificación y mantenimiento de bomba	$300.000	Bimestral	$1.800.000
Insumos de limpieza y desinfección	$100.000	Trimestral	$400.000
Verificación del sistema de riego	$250.000	Bimensual	$1.500.000
Total estimado anual			**$7.500.000**

Fuente: Elaboración propia

5 ANÁLISIS DE RIESGOS, IMPACTO AMBIENTAL Y SST

La implementación del sistema de captación de agua lluvia con fines de riego en la Sede ID No. 1 implica una serie de riesgos que deben ser anticipados y gestionados, tanto durante la ejecución de la obra como durante su operación regular. Estos riesgos comprenden aspectos técnicos, ambientales, laborales y operativos. Adicionalmente, dado que el sistema estará integrado a zonas verdes y áreas exteriores del centro, es necesario considerar las condiciones de seguridad para el personal que realice labores de mantenimiento, así como los impactos ambientales directos e indirectos derivados del funcionamiento del sistema.

5.1 RIESGOS ASOCIADOS A LA IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE LA ALTERNATIVA

Durante la fase de construcción del sistema pueden presentarse riesgos asociados a trabajos en altura, especialmente en la inspección y limpieza de las bajantes de las cubiertas. Existe también riesgo eléctrico si se realizan conexiones en puntos de alimentación sin desconexión adecuada. El uso de herramientas manuales o motorizadas conlleva riesgos de cortes, atrapamientos o lesiones, por lo que es imprescindible el uso de elementos de protección personal. Por otra parte, en la etapa de puesta en marcha, podrían presentarse fallos hidráulicos si los componentes fueron instalados incorrectamente, lo que puede derivar en filtraciones, obstrucciones o pérdidas de presión en la red de riego. La acumulación de residuos en los filtros o en el tanque puede generar deterioro en la calidad del agua y afectar la operatividad del sistema desde los primeros días de funcionamiento.

5.2 PROTOCOLOS Y CONDICIONES DE SST EN LA IMPLEMENTACIÓN DE LA ALTERNATIVA

Para mitigar los riesgos mencionados, se deben aplicar medidas de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) alineadas con la normativa nacional vigente, en especial la Resolución 0312 de 2019. Todo el personal involucrado en la instalación del sistema debe contar con inducción en condiciones seguras de trabajo, incluyendo el uso obligatorio de elementos de protección personal como casco, guantes, botas dieléctricas, gafas protectoras y arnés cuando se trabaje en altura. Además, las

zonas de trabajo deben estar señalizadas y restringidas al tránsito peatonal durante el montaje. Si se realiza excavación para instalación de tanques o redes, se deben aplicar medidas de prevención en excavaciones, tales como apuntalamientos, uso de escaleras de acceso y presencia de un auxiliar en superficie. En la fase de operación y mantenimiento, se debe establecer un protocolo de limpieza seguro, que incluya la manipulación responsable de productos químicos y la supervisión en trabajos en espacios confinados como tanques cerrados.

5.2.1 Gestión documental y de seguimiento

La gestión documental en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) es un componente fundamental para garantizar la trazabilidad de las acciones preventivas, el cumplimiento normativo y la mejora continua del sistema. Para este proyecto, se deberá implementar un expediente técnico de SST que contenga los registros de inducción del personal, actas de entrega de Elementos de Protección Personal (EPP), formatos de inspección diaria de obra, listas de chequeo de condiciones seguras y reportes de incidentes o accidentes. Este expediente deberá ser consolidado por el responsable de SST del contratista o interventor, y estar disponible en sitio durante toda la ejecución del proyecto.

Además, se recomienda implementar un sistema de seguimiento que permita registrar y monitorear los riesgos identificados, así como las medidas de control implementadas y su eficacia. Este sistema puede adoptar el formato de una matriz de riesgos actualizada periódicamente, donde se incluyan controles implementados, responsables, fechas de cumplimiento y observaciones. Los hallazgos relevantes deberán ser socializados en reuniones semanales de obra o comité de seguimiento, según aplique.

5.2.2 Señalización de seguridad

La señalización de seguridad es un componente obligatorio de cualquier intervención técnica que implique riesgos para las personas, y en este caso es particularmente relevante debido a la ubicación del sistema de captación en cubiertas. Toda la zona de trabajo debe contar con señalización temporal visible durante la fase de ejecución, incluyendo avisos de “Área restringida”, “Trabajo en altura”, “Uso obligatorio de EPP”, “Peligro eléctrico”, entre otros.

Durante la fase operativa del sistema, se deberá conservar señalización permanente en los accesos al cuarto técnico o cámara de inspección del tanque subterráneo, indicando claramente que se trata de una zona de acceso restringido y que se requiere autorización para ingreso. Así mismo, se recomienda señalizar el punto de control de la bomba y los tableros eléctricos asociados, con información sobre voltajes, protecciones y medidas de seguridad. Esta señalización deberá cumplir con los lineamientos del Sistema Globalmente Armonizado (SGA), las normas técnicas colombianas NTC 1461 y NTC 3995, y las disposiciones en materia de seguridad y salud en el trabajo (SST) definidas por la Secretaría Distrital de Salud (SDS).

5.2.3 Emergencias y protocolos de respuesta

El proyecto deberá contar con un protocolo específico para la atención de emergencias que puedan derivarse de la instalación o funcionamiento del sistema. Entre los eventos considerados se encuentran caídas desde alturas durante la limpieza y mantenimiento de bajantes, descargas eléctricas por manipulación inadecuada del sistema de bombeo, colapsos de excavación durante el montaje del tanque subterráneo, y derrames o sobrellenado accidental del tanque.

El protocolo de emergencias debe incluir rutas de evacuación, números de contacto de primeros auxilios y brigadas internas, y la disponibilidad de kits de atención (botiquines, extintores, elementos para contención de derrames). En caso de fallos operativos durante la fase de uso del sistema, se deberán establecer procedimientos para suspender la operación, drenar el sistema de forma segura y realizar las reparaciones necesarias con personal calificado. Es indispensable que este protocolo sea socializado con todo el personal involucrado y que se realicen simulacros al menos una vez durante la ejecución del proyecto.

5.2.4 Asignación de responsabilidades

La definición clara de responsabilidades es fundamental para la implementación efectiva del plan de SST. El contratista encargado de la ejecución del proyecto debe designar un responsable de Seguridad y Salud en el Trabajo que cuente con formación en el área, cuya labor será implementar y hacer seguimiento al plan de seguridad, verificar el cumplimiento del uso de EPP, mantener actualizados los registros documentales y liderar las acciones correctivas en caso de incidentes.

Durante la fase operativa del sistema, el centro de salud deberá asignar a un responsable institucional del sistema de captación, quien asumirá el seguimiento de las rutinas de mantenimiento, coordinará las inspecciones, y será el enlace con el área ambiental o de infraestructura. Este responsable deberá contar con formación básica en manejo de sistemas hidrosanitarios y SST, y tener acceso a los protocolos de operación, mantenimiento y contingencia. La claridad en la asignación de roles evita duplicidades, facilita la toma de decisiones y permite responder oportunamente ante cualquier situación de riesgo.

5.3 IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE LA ALTERNATIVA

Durante la ejecución del sistema se generan impactos ambientales de tipo temporal y controlable. Entre los más relevantes se encuentra la generación de residuos sólidos derivados de cortes de tubería, empaques, restos de concreto o excavaciones. También puede haber alteración de zonas verdes al momento de instalar el tanque de almacenamiento subterráneo o la red de distribución, así como compactación del suelo por el tránsito de personal y equipos. En la puesta en marcha, es posible que se liberen pequeñas cantidades de agua con impurezas durante la prueba del sistema, lo que puede afectar áreas de jardín si no se dispone de un drenaje adecuado. Estos impactos son considerados de baja intensidad, reversibles y localizados, siempre que se apliquen medidas de mitigación como disposición diferenciada de residuos, restitución del césped y programación de obra en época seca.

5.4 IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA IMPL. Y PM DE LA ALTERNATIVA

Para evaluar de manera estructurada los impactos ambientales relacionados con la implementación y puesta en marcha de esta alternativa, se elaboró una Matriz de Leopold adaptada a las características del sistema. Esta matriz relaciona acciones del proyecto con efectos ambientales potenciales, asignando valores de intensidad e importancia para estimar la magnitud del impacto.

Tabla 13 MATRIZ DE LEOPOLD PARA LA EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

MATRIZ DE LEOPOLD PARA LA EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES								
ACCIONES QUE PUEDEN CAUSAR EFECTOS AMBIENTALES								
			A. MODIFICACIÓN DEL RÉGIMEN	B. TRANSFORMACIÓN DEL SUELO...	C. EXTRACCIÓN DE RECURSOS	J. ACCIDENTES	
2, EFECTOS AMBIENTALES / 1. ACCIONES			F. Alteración del drenaje	I. Barreras, incluyendo vallados	B. Excavaciones superficiales	B. Escapes y fugas	C. Fallos de funcionamiento
ACCIONES PROPUESTAS							
A. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS	2. AGUA	D. Calidad	9 10	6 4		-6 7	-7 8
	2. AGUA	F. Recarga	1 1	1 2			
	3 ATMOSFERA	B.Clima (micro y macro)	1 2				
B. CONDICIONES BIOLÓGICAS	2. FAUNA	E. Insectos		-3 4			
C. FACTORES CULTURALES	4. NIVEL CULTURAL	B. Salud y seguridad			-3 4		-5 6
	5. SERVICIOS E INFRAESTRUCTURAS	C. Red de servicios		-1 1			
D. RELACIONES ECOLÓGICAS		B. Eutrofización				-3 3	-2 3
		C. Insectos portadores de enfermedades					-4 5
EVALUACIONES DE IMPORTANCIA			13	11	4	10	22

Fuente: Elaboración propia

La matriz de Leopold elaborada para la Alternativa 2, correspondiente al sistema de recolección y distribución de aguas lluvias para riego sin tratamiento, permite identificar los principales impactos ambientales asociados a su implementación y operación. Este sistema incluye la captación desde cubiertas, almacenamiento en un tanque subterráneo de 5000 litros y bombeo mediante una bomba de 2 HP hacia puntos de riego. La evaluación considera diversas acciones potenciales, tales como la modificación del régimen hídrico, transformación del suelo, posibles extracciones indirectas de recursos y la ocurrencia de accidentes técnicos o fallos operativos.

Dentro de los resultados más relevantes se observa que los impactos negativos más significativos están relacionados con la categoría de accidentes y fallos de funcionamiento, la cual alcanza una importancia total de 22 puntos. En este grupo destaca el efecto sobre la calidad del agua, con magnitudes negativas de -6 y -7 e importancias de 7 y 8 respectivamente, reflejando el riesgo de estancamiento, contaminación o mal manejo del recurso recolectado. A esto se suman los impactos sobre la salud y seguridad de los usuarios, evaluados con magnitudes de -3 a -5 e importancias de hasta 6, lo cual evidencia la necesidad de asegurar una operación adecuada para evitar afectaciones por humedad, acumulación de agua o fallas eléctricas. También se identifican posibles efectos ecológicos, como la eutrofización y la proliferación de insectos portadores de enfermedades, con magnitudes negativas moderadas y valores de importancia entre 3 y 5.

La acción de modificación del régimen hídrico, con una evaluación total de importancia de 13 puntos, representa una alteración directa sobre el comportamiento natural del agua en el sitio. En esta categoría se resalta nuevamente la calidad del agua, esta vez con una magnitud positiva de 9 e importancia de 10, al asumir un control del recurso mediante su recolección. Adicionalmente, se observa un impacto positivo leve sobre el clima micro y macro, con magnitud +1 e importancia 2, dado que el riego constante podría incrementar ligeramente la humedad ambiental en el entorno inmediato.

En cuanto a la transformación del suelo, con una importancia acumulada de 11 puntos, se evidencian impactos sobre la fauna insectil, en especial por la humedad generada en suelos intervenidos por el sistema de riego, que podría favorecer la presencia de vectores como mosquitos. Desde el componente de extracción de recursos, aunque el impacto es menor, se reconoce un efecto positivo leve sobre la recarga hídrica del subsuelo, con magnitud +1 e importancia 2, producto de la posible infiltración del agua de riego.

Finalmente, en el ámbito cultural y de servicios, se identifican impactos menores pero presentes. El efecto sobre la red de servicios, con una magnitud de -1 e importancia de 1, está relacionado principalmente con el consumo eléctrico asociado al funcionamiento de la bomba. En lo que respecta a salud y seguridad, se ratifican las observaciones anteriores con valores de impacto moderado, reforzando la necesidad de implementar un mantenimiento adecuado.

En conjunto, esta matriz evidencia que el sistema propuesto para riego con aguas lluvias sin tratamiento genera impactos ambientales en su mayoría localizados, de baja a media intensidad y fácilmente mitigables. Se trata de una alternativa viable desde el punto de vista ambiental, con un enfoque en la sostenibilidad y el aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos, siempre que se acompañe de un manejo responsable y medidas operativas que minimicen los riesgos identificados.

5.5 PLAN DE CONTINGENCIA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA ALTERNATIVA

El plan de contingencia se diseña para responder ante eventos inesperados que puedan poner en riesgo la ejecución del proyecto, la seguridad del personal o el funcionamiento del sistema una vez esté en operación. En fase constructiva, los eventos críticos identificados incluyen accidentes por caídas, contacto eléctrico, colapso de excavaciones y retrasos por condiciones climáticas extremas. La respuesta ante estos escenarios debe incluir protocolos claros de primeros auxilios, procedimientos de evacuación y disponibilidad de equipos de protección adecuados. También se deben contar con pólizas de seguro vigentes que cubran daños materiales y responsabilidad civil.

En fase de operación, los eventos que podrían requerir respuesta inmediata incluyen obstrucciones en la red de captación, fallos del sistema de bombeo, derrames por sobrellenado del tanque o presencia de agua estancada con olor desagradable. Las acciones correctivas incluyen cierre del sistema, limpieza inmediata de componentes, activación del sistema de drenaje de emergencia y ajuste de frecuencias de mantenimiento. El personal responsable del sistema debe recibir capacitación en el protocolo de contingencias, que debe ser documentado, probado mediante simulacros y actualizado cada seis meses, incorporando las lecciones aprendidas en el uso real del sistema.

6 PERMISOS, LICENCIAS O AUTORIZACIONES

La implementación del sistema de captación, almacenamiento y distribución de agua lluvia para fines de riego no requiere, en términos generales, una licencia ambiental completa, ya que no implica el aprovechamiento directo de fuentes hídricas naturales, ni descarga en cuerpos de agua superficiales o subterráneos. Sin embargo, de acuerdo con la legislación ambiental, urbanística y sanitaria vigente, es necesario identificar los trámites y autorizaciones aplicables para garantizar la legalidad y trazabilidad del proyecto.

6.1 LISTADO DE LICENCIAS NECESARIAS PARA INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE LA ALTERNATIVA

A continuación, se presentan las subcategorías de permisos que podrían ser requeridas para esta alternativa, considerando las características técnicas de la intervención y su localización en una sede institucional del sector salud.

6.1.1 Permisos ambientales

Aunque el sistema utiliza una fuente hídrica alternativa (agua lluvia), su instalación y operación puede generar impactos menores que deben ser gestionados ante las autoridades ambientales locales. En este sentido, no se requiere licencia ambiental formal conforme al Decreto 1076 de 2015, ya que no se altera significativamente ningún recurso natural. Sin embargo, en caso de que durante la limpieza de filtros, tanque o canaletas se generen vertimientos con alto contenido de residuos orgánicos o químicos, la entidad deberá evaluar si aplica la necesidad de un permiso de vertimientos de carácter puntual, tramitado ante la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA). Además, se recomienda incorporar el sistema de captación y riego dentro del Plan Institucional de Gestión Ambiental (PIGA), como una acción de uso eficiente del recurso hídrico.

6.1.2 Licencias de construcción y uso del suelo

El proyecto no contempla obras de modificación estructural de la sede ni cambio en el uso del suelo, por lo tanto, en principio no requiere licencia urbanística. Sin embargo, si la instalación del tanque de almacenamiento o la red de riego implica

excavaciones o cimentaciones que interfieran con elementos estructurales existentes o zonas de acceso público, podría requerirse una licencia de construcción en la modalidad de adecuación, gestionada ante una curaduría urbana. En cuanto al uso del suelo, se confirma que la actividad de recolección y uso de agua lluvia para riego es completamente compatible con el uso institucional de servicios de salud, conforme al Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Bogotá D.C., Decreto 555 de 2021.

6.1.3 Permisos sanitarios

Dado que el agua recolectada no será destinada a consumo humano ni a procesos sanitarios internos, no se requiere registrar el sistema como fuente alterna de abastecimiento ante la Secretaría Distrital de Salud. Sin embargo, se debe garantizar que el sistema no represente riesgos sanitarios indirectos, como proliferación de vectores (mosquitos, roedores), generación de olores o acumulación de aguas estancadas. En ese sentido, el tanque debe permanecer cerrado, ventilado y mantenido en condiciones óptimas, y se recomienda que el personal encargado de su operación esté familiarizado con los protocolos básicos de desinfección preventiva. De ser necesario, la sede podrá informar a la Secretaría de Salud sobre la operación del sistema como buena práctica ambiental, sin que ello implique trámites regulatorios obligatorios.

6.1.4 Permisos Complementarios

En el desarrollo de la obra podrían requerirse autorizaciones temporales, como el permiso de ocupación del espacio público, si se requiere instalar materiales, maquinaria o equipos en áreas externas de uso peatonal o comunal. Esta autorización debe gestionarse ante el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) o la alcaldía local, indicando el tiempo, área ocupada y tipo de intervención. También podría aplicarse la exigencia de cumplimiento del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), si se instalan nuevos tableros o redes eléctricas asociadas al sistema de bombeo. En ese caso, la instalación deberá ser certificada por un organismo acreditado.

6.1.5 Consideraciones especiales

Independientemente de los permisos exigibles, el proyecto deberá implementar una estrategia de gestión documental que permita centralizar toda la información

relacionada con trámites, planos, manuales técnicos, fichas de mantenimiento, pólizas y cronogramas de ejecución. Esta información será clave tanto para auditorías como para garantizar el seguimiento institucional del sistema a mediano plazo. Además, se recomienda socializar internamente el proyecto, explicando al personal de mantenimiento, jardinería y dirección administrativa los beneficios del sistema, su forma de operación y las restricciones de uso. Esta socialización refuerza el sentido de pertenencia y facilita la conservación del sistema en el tiempo. Por último, si el sistema llega a ampliarse en el futuro para incorporar otros usos del agua, se deberá revisar nuevamente el marco normativo y realizar los ajustes regulatorios correspondientes.

7 COMPONENTE PRESUPUESTAL

En este numeral se describe de una manera ordenada la forma en que se desarrollará el COMPONENTE PRESUPUESTAL para la alternativa de aprovechamiento de agua lluvia, de tal forma que los productos elaborados cumplan con las especificaciones y alcances establecidos contractualmente, teniendo en cuenta el alcance particular del sector a estudiar y diseñar, así como las recomendaciones de las diferentes áreas del proyecto.

7.1 ANÁLISIS DE INSUMOS NECESARIOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y P.E.M DE LA ALTERNATIVA

La planeación y definición de parámetros para la elaboración de presupuestos de obra comprende: la identificación de materiales, equipos y actividades necesarias derivadas de los diseños desarrollados, como parte de la planeación financiera y componente presupuestal; la ubicación geográfica del proyecto; el estudio y análisis de la información existente; y la adopción de las bases de datos de precios del IDU, utilizando para ello la versión vigente publicada en la página oficial de la entidad.

7.1.1 Recopilación de las cantidades de obra

Las cantidades de obra son suministradas por cada una de las diferentes especialidades que integran los estudios y diseños de la alternativa diseñada, teniendo como base los planos de diseños.

7.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA REDES, MATERIALES Y EQUIPOS

Las especificaciones técnicas son documentos que detallan las características, requisitos y procedimientos necesarios para la realización de cada uno de los ítems del proyecto. Estas se constituyen una guía para asegurar que el resultado final cumpla con los estándares de calidad, funcionalidad y seguridad requeridos.

De manera generalizada, se redactaron las especificaciones de construcción según la utilización de los ítems del proyecto, los cuales corresponden con cada uno de los ítems incluidos en el presupuesto de obra.

En el ANEXO D. ESPECIFICACIONES TECNICAS se presenta el documento con las especificaciones técnicas de construcción definidas para el proyecto.

7.3 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Para determinar los Análisis de Precios Unitarios para cada ítem de obra, se tuvo como insumo principal la base de datos de precios del IDU en cada uno de los elementos que ella proporciona, ya sean estos los rendimientos, cantidades y precios de materiales y/o equipo.

Se realiza el respectivo análisis para todos los componentes del A.P.U. (materiales, mano de obra, equipo y transporte) y luego se suman para determinar el valor del costo directo de la actividad. El valor obtenido en el costo directo del APU, será redondeado a la unidad de peso. El formato para este cálculo corresponde a los modelos estándar del IDU.

En el ANEXO E. PRESUPUESTO_&_APUS_ALT2_ID02_V0 se presentan los análisis de precios unitarios para cada uno de los ítems del proyecto. Así mismo, se presenta el listado de materiales, personal, equipos y transporte requeridos para el proyecto.

7.4 A ANÁLISIS DE MERCADO (COTIZACIONES)

Los precios de los materiales están respaldados por las bases de datos del IDU actualizadas al año 2025. En el precio se incluye el IVA y el valor del transporte al sitio de la obra. En el caso de un precio no incluido en las bases de datos IDU, se presentan las cotizaciones necesarias de los proveedores del insumo.

La mano de obra considerada en el A.P.U., corresponde a la que se emplea directamente en la ejecución de la actividad. En cuanto a los ingenieros y el personal administrativo de la obra, estos se incluirán en el análisis de A.I.U.

Para el costo se define una escala salarial basada en el salario mínimo legal vigente (SMMLV) que se pagará en la obra clasificando el personal en maestros, oficiales y ayudantes y asignado el salario a cada uno de ellos. La base para la definición de estos costos es la base de precios del IDU vigente para 2025.

El equipo seleccionado corresponde con la tarea y el plan de obra por ejecutar.

En cuanto al costo del transporte, se ha incluido un incremento por distancia correspondiente al 15% del costo total del ítem.

7.5 CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN Y P.E.M DE LA ALTERNATIVA

Se elabora un Programa de Trabajo, de acuerdo con una secuencia lógica y armónica en el desarrollo de cada una de las actividades de la obra agrupada en capítulos, planteando la ejecución de las obras en un plazo técnica y económicamente adecuado.

Se tendrán en cuenta los rendimientos históricos que se han alcanzado para la ejecución de contratos de esta naturaleza, permitiendo establecer los rendimientos que se pueden alcanzar en el presente proyecto.

En el ANEXO F. CRONOGRAMA ALTERNATIVA 2 CDS. se presenta el cronograma de obra elaborado para el proyecto.

7.6 ANÁLISIS DE NECESIDAD DE INTERVENTORÍA

De acuerdo con el alcance del proyecto, se recomienda a la entidad contar con una supervisión técnica que permita garantizar el alcance del proyecto y el cumplimiento de las especificaciones técnicas; por lo anterior, para este proyecto no se evidencia la necesidad de contratar una interventoría externa.

7.7 PRESUPUESTO

Con los precios unitarios de cada ítem y las respectivas cantidades de obra, se determinó el presupuesto básico de la obra en pesos colombianos.

El valor de cada actividad se determinó con la operación matemática de multiplicar la cantidad de obra de la respectiva actividad por su valor unitario, este valor debe redondearse a la unidad del peso (sin centavos). La suma de estas actividades dará como resultado el valor del presupuesto total, al cual le fue incluido el AIU desde la realización de los APU. El total del presupuesto será la suma del Presupuesto Básico o costo directo más el valor correspondiente al A.I.U. estimado para el proyecto.

A continuación, se presenta el resumen del presupuesto general de obra:

Ilustración 11 PRESUPUESTO DE OBRA

PRESUPUESTO DE OBRA					
NOMBRE DEL PROYECTO:	COSECHAS DE AGUA LLUVIA SEDE ID 01 CDS (ALTERNATIVA 2)			AÑO BASE DE LOS PRECIOS	2024-I M.O. 2025

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT	VR UNITARIO	VR TOTAL
1	CAPITULO 1. PRELIMINARES				
1.1	REPLANTEO GENERAL	M2	26.25	$ 4,580.79	$ 120,245.75
1.2	CERRAMIENTO EN VARA ROLLIZA Y LONA H=1.50 M DISTANCIA ENTRE POSTES 2 M	ML	36.25	$ 61,202.39	$ 2,218,586.78
1.3	EXCAVACION MANUAL EN MATERIAL COMUN.	M3	17.90	$ 47,626.32	$ 852,511.13
1.4	RETIRO TUBERIA EXISTENTE 0" A 12" (SEGÚN DISEÑO)	ML	9.64	$ 15,899.90	$ 153,275.04
1.5	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TAPONES DE PRUEBA DE 0" A 6" EN PUNTOS DE RED INHABILITADA, (SEGÚN DISEÑO)	UN	14.00	$ 24,412.47	$ 341,774.61
2	CAPITULO 2. INSTALACIONES HIDRAULICAS				
2.1	SUMINISTRO E INSTALACIÓN TUBERÍA SANITARIA PVC D= 6" INCLUYE SOPORTE ANCLADO A TECHO	ML	167.72	$ 98,131.35	$ 16,458,590.36
2.2	ARTICULACION RED PLUVIAL EXISTENTE CON RED PLUVIAL NUEVA INCULYE ACCESORIOS SANITARIOS 0" A 6"	UN	18.00	$ 211,280.52	$ 3,803,049.29
2.3	SUMINISTRO E INSTALACIÓN PUNTOS "REINICIO DE NIVEL" INC. ACCESORIOS SEGÚN DISEÑO	UN	2.00	$ 1,048,402.88	$ 2,096,805.76
2.4	SUMINISTRO E INSTALACIÓN TANQUE CILINDRICO HORIZONTAL POLIETILENO 10000 LTS. INC. ACCESORIOS Y EQUIPO MONTACARGAS	UN	1.00	$ 18,788,581.91	$ 18,788,581.91
2.5	SUMINISTRO E INSTALACION DE SISTEMA DE BOMBEO Y MEDICION PARA RED DE SUMINISTRO DE AGUA	UN	1.00	$ 4,344,074.02	$ 4,344,074.02
2.6	SUMINISTRO E INSTALACION DE RED PVC 1" RDE 13.5 - INCLUYE ACCESORIOS	ML	305.80	$ 30,993.30	$ 9,477,749.92
2.7	SUMINISTRO E INSTALACION PUNTO DE SUMNISTRO DE AGUA PARA RIEGO (LLAVE MANGUERA)	UN	8.00	$ 71,452.97	$ 571,623.78
3	CAPITULO 3. ESTRUCTURA Y OTROS				
3.1	CONCRETO 3000 PSI (HECHO EN OBRA)	M3	1.08	$ 541,255.08	$ 584,962.51
3.2	MURO EN LADRILLO TOLETE E=0.12 MTS	M2	0.55	$ 112,184.31	$ 61,207.76
3.3	SUMINISTRO E INSTALACIÓN PERFILERIA METALICA PARA ESTRUCUTRA DE CERRAMIENTO Y CUBIERTA DIMENSIONES Y CALIBRES SEGÚN DISEÑO	KG	451.0	$ 19,448.50	$ 8,772,187.58
3.4	REGATAS O PERFORACIONES SOBRE MUROS Y PISOS EN CONCRETO	M2	1.54	$ 5,020.65	$ 7,731.06
3.5	SALIDA TOMA GFCI CABLE 8AWG THHN. TUBERIA IMC Ø 3/4 X 50M - INCLUYE TOMA, BREAKER Y ACCESORIOS	UN	1.00	$ 2,146,900.73	$ 2,146,900.73
3.6	RELLENO DE REGATAS EN MUROS, INCLUYE PAÑETE LISO 1:4	M2	1.54	$ 31,284.45	$ 48,173.49
3.7	CERRAMIENTO Y CUBIERTA EN LAMINA ACERO INOXIDABLE Cal. 18 INC. TUBERIA DE CERRAMEINTO	M2	84.12	$ 52,592.50	$ 4,424,080.76
3.8	SUMINSITRO E INSTALACION DE PUERTA LAMINA COLD ROLLED CAL 18 INC MARCO	M2	1.70	$ 585,188.38	$ 994,820.25
4	CAPITULO 4. TRANSPORTES				
4.1	TRANSPORTE DE MATERIAL PRODUCTO DE EXCAVACIÓN Y ESCOMBROS A SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL AUTORIZADO, INCLUYE CARGUE, DESCARGUE Y DERECHOS DE BOTADERO.	M3	17.90	$ 43,566.58	$ 779,841.78
				TOTAL COSTO DIRECTO	$ 77,046,774.27
				ADMINISTRACION 24%	$ 18,491,225.82
				IMPREVISTOS 1%	$ 770,467.74
				UTILIDAD 5%	$ 3,852,338.71
				TOTAL COSTO INDIRECTO	$ 23,114,032.28
				TOTAL PRESUPUESTO	$ 100,160,806.55

Fuente: Elaboración propia

7.8 ENFOQUE DE LA EJECUCIÓN A LA METODOLOGIA PMBOK 7ª EDICION

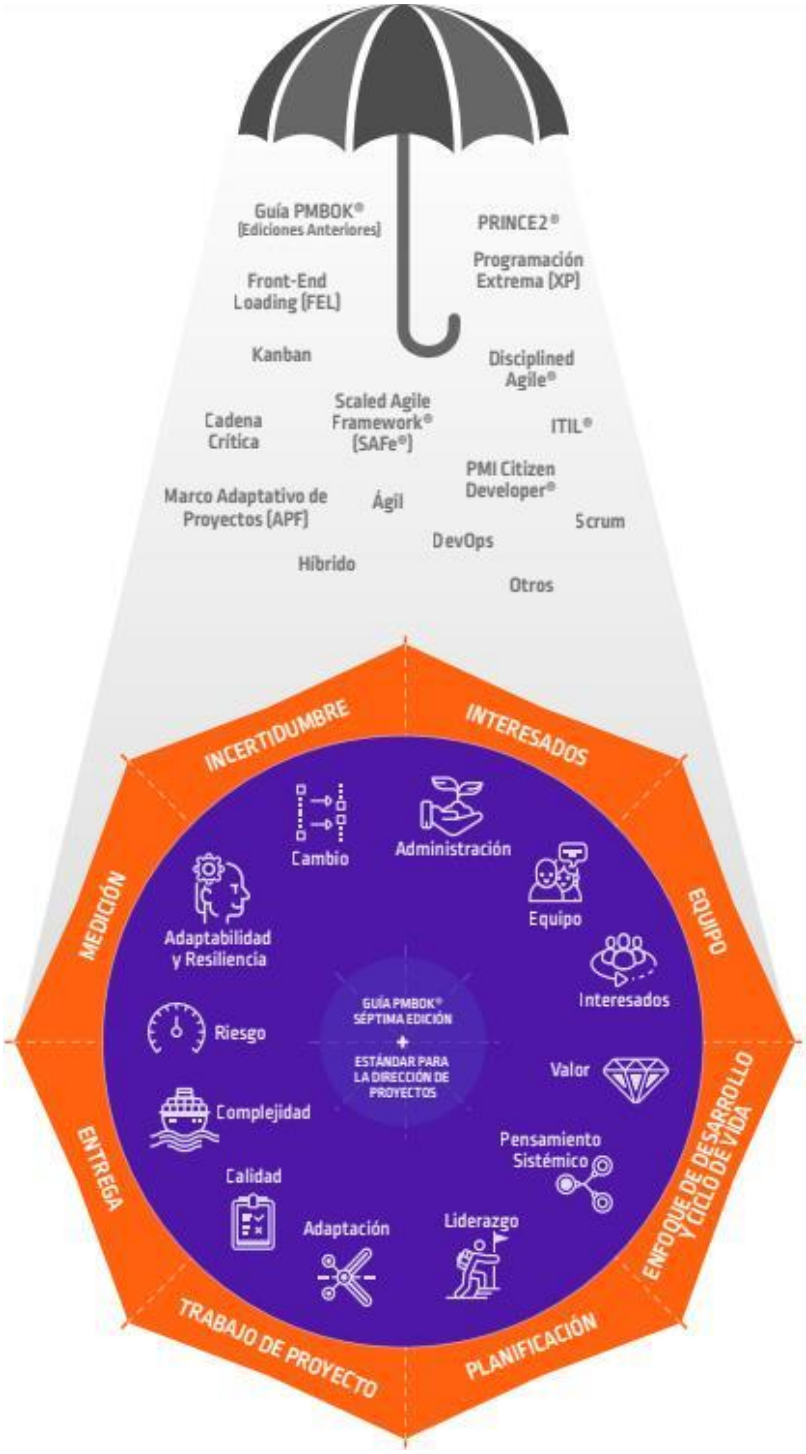
La última edición del PMBOK (Project Management Body of Knowledge) elaborada por el PMI se publica en agosto del año 2021, no para sustituir a la versión anterior sino para ampliar la información en materia de adaptabilidad que requieren los nuevos modelos de negocio. Esta guía se plantea de manera que sea perfectamente compatible con otros estándares de gestión de proyectos y proporcione la autonomía suficiente al director de proyectos para escoger la metodología que mejor se adapta y beneficia al proyecto.

El PMBOK7 es la séptima edición del PMBOK. Define los procesos, las buenas prácticas y las terminologías empleadas con mayor frecuencia en dirección de proyectos y propone una guía para la planificación de proyectos. Está diseñada para ser aplicada en una amplia variedad de proyectos y sirve de ayuda para cualquier fase del ciclo de vida del proyecto, desde la planificación hasta el cierre.

Se organiza en 12 principios y 8 dominios de desempeño. Además, propone una serie de modelos, métodos y artefactos para lograr una dirección de proyectos eficaz, siempre haciendo hincapié en la importancia de la adaptabilidad para ajustarse al contexto del proyecto.

En la siguiente Ilustración se muestran los todos los principios y dominios bajo un paraguas con el fin de mostrar la gran compatibilidad con otras metodologías que tiene la séptima edición del PMBOK.

Ilustración 12 Principios y dominios PMBOK



Fuente: Elaboración propia

Los 12 principios proporcionan orientación para una dirección de proyectos eficaz y podrían equivaler a unas normas que indiquen qué y porqué hacer, y ampliarían las áreas de conocimiento de la sexta edición.

- **Administración:** este principio está dirigido hacia los responsables del proyecto que deben sentir una responsabilidad y compromiso hacia el proyecto, su valor y el equipo, así como hacia la sostenibilidad y entrono de la organización. Se destaca la importancia de la integridad y el comportamiento ético y honesto, el cuidado hacia las personas y asuntos de los que el administrador es responsable, la contabilidad y el cumplimiento de las regulaciones pertinentes.

- **Equipo:** enfatiza el valor del trabajo colaborativo en equipo para lograr el éxito del proyecto, sumado a la adaptación de las habilidades y capacidades específicas de cada miembro para lograr los objetivos. Asimismo, se acentúa las estructuras organizacionales dentro del equipo que mejoran la colaboración y la definición y descomposición de los procesos o paquetes de trabajo de los que son responsables.

- **Interesados:** se remarca que conocer en profundidad a los stakeholders y sus intereses es fundamental. Por ello los proyectos se deben centrar en la entrega de valor a los stakeholders ya que afectan a la gran mayoría de los aspectos de un proyecto como el alcance, el coste o los riesgos. Involucrar a los interesados durante todo el ciclo de vida del proyecto ayuda a minimizar los impactos negativos y maximizar los positivos.

- **Valor:** el proyecto debe tener un enfoque en el valor, asegurándose de que el proyecto crea valor positivo para los stakeholders y cumple sus expectativas. Se considera la generación de valor como el indicador principal del éxito, y acompaña a los entregables y resultados.

- **Pensamiento sistémico:** define un sistema como un conjunto de componentes complejos e interdependientes. Para el éxito del proyecto es necesario reconocer, evaluar y responder a las interacciones dentro del propio proyecto y con su entorno. Se menciona también el hecho de que los proyectos están sometidos a continuos cambios y es responsabilidad de los líderes de estos mantener una atención constante a las condiciones internas y externas.

- **Liderazgo:** todo tipo de proyecto necesita comportamientos de liderazgo por parte de los gerentes del proyecto para proporcionar una visión clara y motivar al equipo, pero también por parte de los miembros del equipo para avanzar hacia el éxito. Se recalca que un buen líder necesita adaptar su estilo de liderazgo a la situación que puede cambiar a lo largo de la vida del proyecto.

- **Adaptación:** el entorno del proyecto está en constante cambio y es necesario ser flexible y adaptarse para lograr maximizar los beneficios y el valor. Es por esto que no existe un único enfoque que se ajuste a todos los proyectos y adaptar la metodología consigue resultados positivos y una mayor probabilidad de éxito.

- **Calidad:** todos los entregables deben cumplir con los estándares y requisitos de calidad identificados. Para ello, se deben incluir medidas para controlar la calidad durante todo el proceso de manera que se optimicen los recursos disponibles y aumentar las posibilidades de obtener el resultado deseado.

- **Complejidad:** este principio destaca la aceptación de la complejidad del proyecto y de su entorno. Existen una cantidad de aspectos interconectados y factores de incertidumbre que en ocasiones no se pueden prever. En lugar de evitar la complejidad, se debe evaluar y reaccionar ante ella de manera sistemática.

- **Riesgo:** la existencia de riesgos en todo tipo de proyectos es inevitable. Es necesario buscar la manera de identificarlos y evaluarlos de manera proactiva, de manera que no supongan un detrimento en el valor del proyecto y se exploten los riesgos positivos para transformarlos en oportunidades.

- **Adaptabilidad y resiliencia:** la adaptabilidad se define como la capacidad de reaccionar ante posibles cambios y la resiliencia como la capacidad de absorber un impacto y recuperase después de un fracaso. Esto conlleva elaborar planes de contingencia y de respuesta, así como ajustar el enfoque del proyecto cuando sea necesario.

- **Cambio:** se resalta la importancia de asumir la presencia de cambios durante todo el proyecto y descartar la idea de cambio como algo negativo. Son inevitables y es necesario estar preparado para gestionarlos rápidamente y

lograr adaptarse al nuevo entorno. La integración efectiva del cambio, siempre cumpliendo las necesidades de los interesados, aumenta las probabilidades de completar un proyecto con éxito.

De acuerdo con el contexto anterior, se recomienda que para la ejecución del proyecto se aplique la guía metodológica del PMBOK 7ª EDICION, como garantía de desarrollo sistemático, del proyecto.

7.9 ANALISIS FINANCIERO DEL PROYECTO

Como entrada para el desarrollo de la planeación de un proyecto, y en general como base para el control de recursos, tiempos, calidad; es indispensable conocer su viabilidad técnica y económica.

Es así que el análisis costo-beneficio (ACB) es un método de evaluación económica de proyectos de inversión pública; proyectos donde los fines son de mejora, crecimiento, desarrollo y/o protección económica, social y/o ambiental.

En esencia, el método consiste en comparar los beneficios generados por un proyecto contra sus costos, para dos propósitos:

- Determinar si es una buena inversión.
- Comparar proyectos alternativos.

De acuerdo con Benson, Twigg y Rosseto (2007, p. 101) "*sirve para determinar el máximo rendimiento de la inversión en un proyecto, facilitar una comparación racional de las posibles opciones y asegurar que las decisiones sobre inversión se adopten con responsabilidad*".

En la gestión de proyectos se encuentran diversos propósitos por los cuales se puede adelantar un análisis costo-beneficio.

Algunos ejemplos de propósitos son los siguientes:

- Determinar si el proyecto es una buena inversión y vale la pena hacerse (justificación y factibilidad económica).
- Comparar opciones alternativas (clasificación y orden de elegibilidad de las opciones).

- Establecer prioridades en la ejecución de proyectos ya aprobados.
- Determinar el orden de ejecución de los componentes de un mismo proyecto, por ejemplo, por rentabilidad de componentes, acuerdos con la comunidad, restricciones ambientales, sensibilidad de costos contingentes, entre otros.

No en todos los proyectos es recomendado hacer un análisis costo beneficio, sobre todo en virtud del costo del análisis mismo.

Algunos criterios básicos a tener en cuenta, siguiendo a TRB (2010), desarrollados para proyectos del sector transporte y aplicables a diferentes proyectos públicos son los siguientes:

1. El costo potencial del proyecto es lo suficientemente significativo como para justificar el gasto de recursos en medición y evaluación de los beneficios e impactos esperados.
2. La razón de ser del proyecto es la mejora, crecimiento, desarrollo y/o protección económica, social y/o ambiental, y no el cumplimiento ineludible de una orden judicial.
3. Los impactos ambientales o sociales que están fuera de la medición de los costos y beneficios del proyecto son:
   (a) insignificantes en magnitud,
   (b) medibles en forma práctica que pueden usarse dentro del ACB, o
   (c) identificables para ser considerados por alguna otra forma de evaluación del proyecto fuera del ACB.

7.9.1 Indicadores de la decisión

A continuación, se definen los indicadores que se utilizan en el análisis costo-beneficio. Se indican las siguientes convenciones para las variables básicas:

n: número de años en los cuales los beneficios y costos son analizados.
I: número del año de referencia (cero para el momento de inicio de la línea de tiempo).
Bi: beneficios del proyecto en el año i.
Ci: costos del proyecto en el año i.
d: tasa de interés de descuento.

- **Valor actual neto (VAN):** Es la diferencia entre beneficios descontados y los costos descontados (también llamado valor presente neto).

- **Relación beneficio-costo (RBC):** Es el cociente entre beneficios descontados sobre costos descontados.

- **Tasa interna de retorno (TIR):** Es la tasa de descuento (d) para la cual el valor actual neto (VAN) del proyecto es cero.

- **Periodo de retorno (o de recuperación) de la inversión (Nr):** Es el número de años que demoran los beneficios descontados acumulados para exceder los costos descontados acumulados, de tal manera que en los años posteriores al periodo de recuperación de la inversión, los beneficios son superiores a los costos. También llamado punto de equilibrio.

- **Relación costo-efectividad (RCE):** Indicador alternativo para cuando los beneficios no son monetizados. Es el costo de lograr una unidad de beneficio particular en especie o, su inverso, el beneficio en especie que se pueden obtener para un costo particular.

Cada indicador constituye en sí mismo una regla de decisión en el análisis costo-beneficio.

7.9.2 Revisión de las alternativas de intervención

El análisis costo-beneficio como parte de la evaluación ex ante de proyectos tiene su máxima utilidad cuando se trata de comparar proyectos alternativos, que bien podrían estar en cualquiera de sus fases de reinversión: prefactibilidad, factibilidad o diseño. En cualquier caso, es indispensable que las alternativas estén definidas a tal punto que permitan identificar, medir y valorar monetariamente los costos y los beneficios de cada uno, de manera homogénea, a lo largo de la vida útil del proyecto.

7.9.3 Valoración de los costos para cada opción de intervención

Para cada una de las alternativas de intervención se deben valorar de manera monetaria los costos del proyecto a lo largo de su vida útil, localizados en el año que corresponda en la línea de tiempo.

La conformación y descripción general de los costos de un proyecto de intervención es la siguiente:

- **Costo inicial:** incluye los diseños para construcción o implementación con sus respectivos estudios, la construcción de las obras, gestión ambiental de obras, adquisiciones, licencias, permisos, servicios públicos, compensaciones a población afectada económicamente, y en general todo lo que implique erogación monetaria en la fase de construcción o implementación.

- **Costos de operación:** todos los costos periódicos de servicios y gastos de personal necesarios para el normal funcionamiento de la opción de intervención considerada.

- **Costos de mantenimiento:** comprenden las intervenciones en componentes del proyecto orientadas a subsanar el desgaste y deterioro por el normal funcionamiento, la obsolescencia, el daño contingente, entre otros aspectos que de manera periódica puedan afectar la funcionalidad del proyecto según su concepción original.

- **Costos de rehabilitación:** corresponden a nuevas inversiones destinadas a prolongar la vida útil de un proyecto que se acerca a su fin. Normalmente implicaría un nuevo análisis costo beneficio. En la gestión del riesgo de desastres se presenta cuando la necesidad continua manifiesta. En este concepto de costo se incluye el de repotenciación, que consiste en la actualización o modernización de componentes clave del proyecto.

- **Costos de fin del proyecto:** son los costos en que se recurre por actividades de desmonte de componentes, abandono de locaciones, cierre de sedes, manejo de residuos, entre otras, al final de la vida útil del proyecto.

Se observa que los costos pueden ser estimados de manera práctica ya que los componentes y actividades a costear se derivan de los diseños del proyecto y terrenos para el emplazamiento, que suelen tener precios de mercado; salvo que sea un proyecto de innovación tecnológica sin antecedentes en sus materiales y/o técnicas de construcción.

7.9.4 Valoración monetaria de los beneficios

Para el análisis costo-beneficio, la valoración los beneficios de un proyecto implica cuantificar y evaluar los resultados positivos que generará, tanto en términos financieros como sociales y de otro tipo. Este proceso ayuda a determinar la

viabilidad y el impacto del proyecto, facilitando la toma de decisiones sobre su ejecución.

Beneficios tangibles e intangibles:

- Beneficios tangibles: Aquellos que pueden ser medidos y cuantificados fácilmente, como aumento de ingresos, reducción de costos o mejoras en la productividad.

- Beneficios intangibles: Aquellos que son más difíciles de cuantificar, pero que tienen un impacto importante en la organización, como mejora de la imagen, mayor satisfacción del cliente o mayor motivación de los empleados.

Algunos de los beneficios del proyecto o la alternativa son:

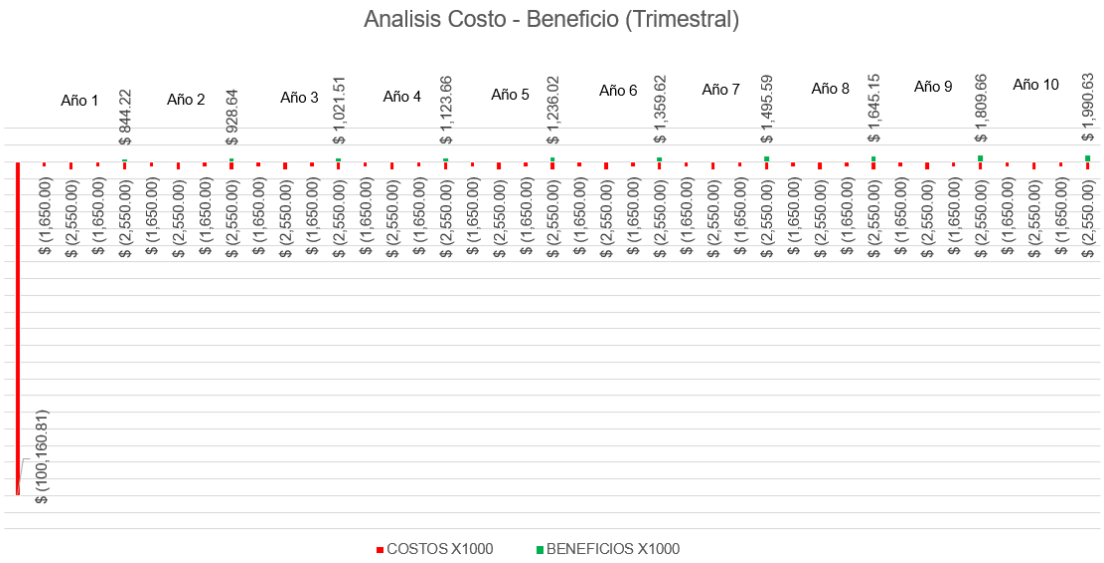
- Aumento de ingresos
- Reducción de costos
- Mejora de la calidad
- Aumento de la productividad
- Mayor motivación de los empleados
- Mejora de la reputación de la organización
- Contribución al desarrollo social
- Beneficios ambientales

En resumen, la valoración de beneficios de un proyecto es un proceso esencial para evaluar su viabilidad y su impacto, asegurando que el proyecto sea rentable y que contribuya a los objetivos de la organización.

Con el fin de realizar el análisis financiero de las alternativas, en el documento de la Fase III se presenta el desarrollo de los indicadores de evaluación económica para el proyecto, para un periodo n: 10 años.

Considerando el análisis financiero realizado para un periodo de vida útil estimado de 10 años y estimando una tasa de descuento de 9%, esta última de acuerdo con la tasa de interés efectiva anual definida por el Departamento de Planeación Nacional (DNP) como tasa social de descuento para la evaluación social de proyectos, especialmente para aquellos que proveen bienes públicos cuyos resultados afectan a las generaciones futuras.

Ilustración 13 Analisis costo-beneficio trimestral



Fuente: Elaboración propia

Aplicando una tasa de descuento del 9% para un horizonte de evaluación de 10 años, y considerando tanto los costos operativos estimados como los beneficios generados por el ahorro en consumo de agua potable, se obtuvo un costo descontado acumulado de $168.954,87 (en miles de pesos) y un beneficio descontado acumulado de $12.343,75 (en miles de pesos).

Con base en estos valores, los indicadores financieros calculados para la alternativa 2 fueron:

- Valor Actual Neto (VAN): -$156.611 < 0
- Relación Beneficio-Costo (RBC): 0,07 < 1
- Tasa Interna de Retorno (TIR): -9,03%

Los resultados del análisis financiero para la Alternativa 2, que contempla la recolección, almacenamiento y distribución de agua lluvia con fines de riego de jardines, zonas verdes y huertos, muestran que, bajo un enfoque estrictamente económico, el proyecto no resulta rentable.

No obstante, es importante señalar que este tipo de soluciones no tiene como propósito principal generar retornos financieros directos, sino aportar al cumplimiento de objetivos estratégicos de sostenibilidad ambiental, uso eficiente del recurso hídrico y adaptación al cambio climático. La reducción de la presión sobre el sistema de acueducto, la promoción del uso de fuentes hídricas alternativas y el fortalecimiento de la autosuficiencia institucional en el manejo del recurso agua representan beneficios sustanciales, aunque no cuantificados en el modelo económico.

En ese sentido, aunque los indicadores financieros tradicionales no arrojan resultados positivos, la implementación de esta alternativa sigue siendo técnicamente viable, ambientalmente pertinente y socialmente coherente. Este tipo de inversiones en infraestructura verde y resiliente deben evaluarse con una visión integral, considerando también su impacto ecológico, su valor pedagógico en la promoción del cuidado del agua, y su contribución a los compromisos institucionales frente a la sostenibilidad.

Además, este análisis parte de la premisa de que el sistema de captación no busca sustituir completamente el suministro convencional de agua potable, sino complementarlo para usos no prioritarios. Esto implica que la demanda de agua del acueducto no se elimina, sino que se reduce parcialmente, limitando así los ahorros económicos directos atribuibles al proyecto.

Por todo lo anterior, se recomienda que la viabilidad de esta alternativa sea valorada desde una perspectiva integral y multisectorial, en la cual el criterio financiero sea complementado por el análisis ambiental, social y operativo. En muchos casos, los beneficios ambientales y de sostenibilidad institucional justifican ampliamente la inversión, incluso si los modelos financieros tradicionales no reflejan una rentabilidad inmediata.

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El sistema propuesto de captación y aprovechamiento de agua lluvia para riego en la Sede ID No. 1 del Centro Distrital de Salud demuestra ser técnica, ambiental y financieramente viable. A partir del análisis hidrológico basado en curvas IDF, se diseñó una infraestructura adecuada para la recolección, tratamiento y distribución eficiente del recurso hídrico, permitiendo su uso responsable en zonas verdes institucionales sin comprometer la calidad ambiental ni sanitaria del entorno.

La modelación hidráulica realizada con el software EPANET evidenció que el sistema mantiene presiones y caudales adecuados para su funcionamiento, asegurando un suministro continuo en los puntos de demanda. Asimismo, las intervenciones a la infraestructura existente son mínimas y localizadas, lo que garantiza una implementación sin alteraciones significativas al funcionamiento actual de la sede.

Desde el punto de vista ambiental, los impactos negativos asociados a la obra y operación son de baja magnitud y reversibles, mientras que los impactos positivos como la reducción en el consumo de agua potable y el fortalecimiento de prácticas sostenibles resultan significativos. En cuanto a la seguridad y salud en el trabajo, se establecieron protocolos de SST adecuados para minimizar riesgos durante la construcción y operación del sistema.

Se recomienda avanzar con la implementación del sistema propuesto, iniciando los trámites requeridos para permisos menores ante las autoridades ambientales y urbanísticas, asegurando que se integren dentro del Plan Institucional de Gestión Ambiental (PIGA) de la sede.

Es importante garantizar que el personal de mantenimiento y operación esté debidamente capacitado en los protocolos de funcionamiento, seguridad y contingencia. Asimismo, se sugiere realizar actividades de socialización con la comunidad institucional, con el fin de fomentar la apropiación del proyecto y promover la conciencia ambiental.

Dado el potencial de replicabilidad del sistema, se recomienda evaluar su aplicación en otras sedes de la Secretaría Distrital de Salud, especialmente aquellas con áreas

verdes amplias o donde el consumo de agua potable para riego represente un costo operativo significativo.

Finalmente, se sugiere establecer un sistema de seguimiento y evaluación periódica del desempeño del sistema, incluyendo indicadores de caudal recolectado, uso del agua, frecuencia de mantenimiento y ahorro en el consumo de agua potable, para garantizar su sostenibilidad técnica y financiera en el tiempo.

9 BIBLIOGRAFIA

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2015). *Decreto 1076 de 2015 - Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente*. Obtenido de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: https://www.minambiente.gov.co/normativa/decreto-1076-de-2015/

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2020). Guía técnica para la implementación de sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. Obtenido de IDEAM: http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21141/Guia_aprovechamiento_agua_lluvia.pdf

Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá (SDA). (2021). Lineamientos para proyectos sostenibles en gestión hídrica. Obtenido de SDA: https://www.ambientebogota.gov.co/lineamientos-gestion-hidrica

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2017). *Guidelines for drinking-water quality (4th ed.)*. Obtenido de OMS: https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2020). Metodología general para la evaluación social de proyectos. Obtenido de DNP: https://www.dnp.gov.co/programas/inversiones-y-finanzas-publicas/Paginas/metodologias-evaluacion.aspx

Benson, C., Twigg, J. y Rossetto, T. (2007). Tools for mainstreaming disaster risk reduction: Guidance notes for development organisations. Obtenido de ProVention Consortium: https://www.preventionweb.net/publication/tools-mainstreaming-disaster-risk-reduction-guidance-notes-development-organisations

Project Management Institute (PMI). (2021). *PMBOK Guide (7th ed.) - The Standard for Project Management*. Obtenido de PMI: https://www.pmi.org/pmbok-guide-standards/foundational/pmbok