

Desarrollo de un sistema de captación y distribución de agua lluvia potabilizada de bajo costo para vivienda unifamiliar en Chocó, Colombia, gestionado bajo los dominios de desempeño del Estándar para la Dirección de Proyectos del PMI

Juan Carlos Peñaloza Espejo

Asesor

Vanessa Paola Pertuz Peralta

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería ECBTI

Maestría en Gerencia de Proyectos

2025

Resumen

El acceso a agua potable es un desafío crítico en el departamento de Chocó, Colombia. A pesar de contar con alta pluviometría, el departamento enfrenta limitaciones en infraestructura que aseguren un suministro seguro de agua. Este proyecto se enfoca en el desarrollo teórico de un sistema de captación y distribución de agua lluvia potabilizada, diseñado para una vivienda unifamiliar, aplicando la Guía del PMBOK® del Project Management Institute (PMI). El objetivo es proporcionar un plan detallado y sostenible que aproveche el agua de lluvia para consumo humano, mejorando la calidad de vida de los residentes.

El proyecto incluye el diseño del sistema de captación, almacenamiento, filtración y distribución, especificando los materiales y la mano de obra necesarios para su eventual implementación. Utilizando la Guía del PMBOK®, el proyecto se gestiona integrando los dominios de desempeño del PMI para asegurar la entrega de valor, la sostenibilidad y la alineación con los objetivos del proyecto a lo largo de su ciclo de vida.

Los resultados esperados incluyen un modelo integral que pueda adaptarse a otras viviendas en condiciones similares, ofreciendo una solución escalable. Este proyecto, además de abordar el problema de escasez de agua potable, promueve la conservación de los recursos hídricos y la sostenibilidad a largo plazo para comunidades vulnerables en la región.

Palabras clave: Captación de agua pluvial, Potabilización, Filtración de agua, Agua lluvia, Sostenibilidad

Abstract

Access to potable water is a critical challenge in the department of Chocó, Colombia. Despite having high rainfall levels, the department faces infrastructure limitations that prevent the provision of a safe water supply. This project focuses on the theoretical development of a rainwater harvesting and distribution system, designed for a single-family household, applying the PMBOK® Guide from the Project Management Institute (PMI). The objective is to provide a detailed and sustainable plan that utilizes rainwater for human consumption, improving the quality of life for local residents.

The project includes the design of the harvesting, storage, filtration, and distribution system, specifying the materials and labor required for eventual implementation. Using the PMBOK® Guide, the project is managed by integrating the PMI performance domains to ensure value delivery, sustainability, and alignment with project objectives throughout its lifecycle.

The expected outcomes include a comprehensive model that can be adapted to other homes in similar conditions, offering a scalable solution. In addition to addressing the issue of potable water scarcity, this project promotes the conservation of water resources and long-term sustainability for vulnerable communities in the region.

Keywords: Rainwater harvesting, Potabilization, Water filtration, Rainwater, Sustainability

Contenido

Introducción	1
Definición del problema.....	4
Objetivos	9
Objetivo General	9
Objetivos específicos.....	9
Resumen de contenido	10
Marco de referencia.....	12
Marco conceptual	12
Marco teórico	18
Sistema para la captación y distribución de agua lluvia.....	18
Calidad del agua lluvia captada.....	24
Filtración de agua lluvia.....	27
Lineamientos del PMI.....	28
Estándar para la Dirección de Proyectos del PMI.....	30
Herramientas de la guía del PMBOK®.....	34
Plan para la Dirección del Proyecto	36
Normativa Sanitaria sobre calidad del agua para consumo humano en Colombia	37
Marco contextual.....	39
Antecedentes	41
Metodología	54
Fase 1: Caracterización del Contexto Ambiental, Social y Económico.....	55
Fase 2: Evaluación Técnica y Económica de Alternativas Tecnológicas	57

Fase 3: Formulación del Plan para la Dirección del Proyecto	59
Resultados	64
Fase 1: Caracterización del Contexto Ambiental, Social y Económico.....	64
Recolección y Análisis de Información Ambiental a partir de Datos del IDEAM.....	64
Caracterización Social mediante el Registro de Interesados.....	78
Caracterización Económica a partir de Información del DANE y Fuentes Locales	83
Análisis de Planes de Desarrollo, ASIS y Documentos Locales para el Contexto Social, Económico y de Acceso al Agua.....	92
Fase 2: Evaluación Técnica y Económica de Alternativas Tecnológicas	101
Identificación y Descripción de Alternativas Tecnológicas para el Sistema	112
Estimación de Costos de Alternativas mediante Consulta a Proveedores o Expertos	118
Definición de Criterios Técnicos de Evaluación de Alternativas.....	125
Análisis Comparativo de Alternativas mediante Matriz de Criterios Técnicos	126
Elaboración del Flujo de Caja Proyectado del Sistema.....	129
Aplicación de Indicadores Financieros: VPN, TIR y RCB.....	134
Selección de la Alternativa Más Viable Técnica y Económicamente.....	137
Fase 3: Formulación del Plan para la Dirección del Proyecto	138
Dominio del Enfoque de Desarrollo y del Ciclo de Vida.....	139
Dominio de la Planificación:.....	145
Dominio de Desempeño de los Interesados:	192
Dominio del Equipo	200
Dominio de la Entrega	207
Dominio del Trabajo del Proyecto	215

Dominio de la Medición del desempeño:.....	222
Dominio de la Incertidumbre	224
Conclusiones	239
Bibliografía.....	246

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Metodología de Trabajo</i>	54
Tabla 2 <i>Desarrollo del Plan para la Dirección Basado en Dominios de Desempeño</i>	62
Tabla 3 <i>Precipitaciones Anuales en el Chocó</i>	67
Tabla 4 <i>Número de Días con Lluvia</i>	73
Tabla 5 <i>Registro de Interesados</i>	78
Tabla 6 <i>Acueducto Chocó vs Línea Nacional</i>	83
Tabla 7 <i>Necesidades básicas insatisfechas (NBI)</i>	86
Tabla 8 <i>Incidencia de Pobreza Multidimensional del Chocó</i>	90
Tabla 9 <i>Índice de Pobreza Multidimensional Privaciones por Hogar Según Variable</i>	91
Tabla 10 <i>Dimensionamiento Sistema de Agua Lluvia</i>	111
Tabla 11 <i>Alternativas de Solución</i>	112
Tabla 12 <i>Estimación de Costo de Alternativas</i>	118
Tabla 13 <i>Tabla Resumen Alternativas</i>	123
Tabla 14 <i>Estimación de Costos Alternativas</i>	124
Tabla 15 <i>Matriz de Ponderación de Criterios Técnicos</i>	127
Tabla 16 <i>Costos Evitados</i>	132
Tabla 17 <i>Descripción de Categorías para el Flujo de Caja</i>	132
Tabla 18 <i>Costos Estimados por Alternativa para el Flujo de Caja</i>	133
Tabla 19 <i>Flujo de Caja Alternativa 1</i>	133
Tabla 20 <i>Flujo De Caja Alternativa 2</i>	133
Tabla 21 <i>Flujo de Caja Alternativa 3</i>	134
Tabla 22 <i>Indicadores Financieros de las Alternativas</i>	135

Tabla 23 <i>Cronograma de Actividades para el Proyecto</i>	152
Tabla 24 <i>Componente de Captación, Canal y Bajantes</i>	157
Tabla 25 <i>Componente de almacenamiento</i>	161
Tabla 26 <i>Componente de Filtración</i>	163
Tabla 27 <i>Componente de Potabilización</i>	164
Tabla 28 <i>Restricciones en el uso de Recursos</i>	168
Tabla 29 <i>Supuestos en el uso de Recursos</i>	169
Tabla 30 <i>Listado de Recursos por Fases</i>	170
Tabla 31 <i>Asignación de recursos en el cronograma</i>	175
Tabla 32 <i>Estrategia de Adquisición de Recursos</i>	177
Tabla 33 <i>Sostenibilidad del Proyecto</i>	178
Tabla 34 <i>Restricciones Costos</i>	179
Tabla 35 <i>Supuestos de los Costos</i>	179
Tabla 36 <i>Recurso Humano Fase 1 Planificación</i>	181
Tabla 37 <i>Recurso Humano Fase 2</i>	181
Tabla 38 <i>Recurso Humano Fase 3 Costos Detallados</i>	183
Tabla 39 <i>Recurso Humano Fase 3 Implementación General</i>	184
Tabla 40 <i>Listado de Materiales Detallado</i>	184
Tabla 41 <i>Presupuesto del Proyecto</i>	187
Tabla 42 <i>Seguimiento y Control de Costos</i>	191
Tabla 43 <i>Estrategias de Involucramiento Interesados</i>	194
Tabla 44 <i>Plan de Comunicaciones con los Interesados</i>	196
Tabla 45 <i>Interesados en el Ciclo de Vida del Proyecto</i>	197

Tabla 46 <i>Seguimiento a la Participación y Gestión de Expectativas</i>	199
Tabla 47 <i>Formación y Desarrollo del Equipo</i>	201
Tabla 48 <i>Entorno y Condiciones para el Trabajo</i>	203
Tabla 49 <i>Matriz de Monitoreo y Evaluación del Equipo</i>	206
Tabla 50 <i>Planificación y Control de los Entregables</i>	207
Tabla 51 <i>Estándares de Calidad Aplicados</i>	209
Tabla 52 <i>Estrategias de Aseguramiento y Control de la Calidad</i>	211
Tabla 53 <i>Métricas de Calidad</i>	213
Tabla 54 <i>Métricas Aplicadas por Entregable</i>	214
Tabla 55 <i>Herramientas para el Control del Trabajo</i>	217
Tabla 56 <i>Lista de Verificación por Entregable</i>	218
Tabla 57 <i>Bitácora de Versiones</i>	218
Tabla 58 <i>Matriz de Control de Entregables</i>	219
Tabla 59 <i>Solicitud Cambio Proyecto</i>	221
Tabla 60 <i>Ejemplo Solicitud de Cambio</i>	221
Tabla 61 <i>Indicadores para la Medición del Desempeño del Proyecto</i>	222
Tabla 62 <i>Registro Estructurado de Riesgos Identificados</i>	226
Tabla 63 <i>Matriz de Calificación de Amenazas y Oportunidades</i>	229
Tabla 64 <i>Análisis de Amenazas y Oportunidades del Proyecto</i>	230
Tabla 65 <i>Planificación de Respuestas para Mitigar Amenazas y Potenciar Oportunidades</i>	233
Tabla 66 <i>Tabla De Monitoreo y Seguimiento de Riesgos</i>	236

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Mapa Precipitación Promedio Total Anual En Colombia</i>	66
Figura 2 <i>Mapa Número de Días con Lluvias</i>	72
Figura 3 <i>Mapa de Consumo de Agua Potable en Colombia</i>	96
Figura 4 <i>Vivienda Chocó</i>	112
Figura 5 <i>Esquema de Sistema Agua Lluvia</i>	154
Figura 6 <i>Captación y Canal</i>	157
Figura 7 <i>Esquema Almacenamiento</i>	160
Figura 8 <i>Componente de Filtración</i>	163

Introducción

El acceso a agua potable es un derecho fundamental para garantizar una vida digna y saludable, especialmente en comunidades donde la disponibilidad de este recurso es limitada (ONU, 2010). El departamento del Chocó, una de las regiones con mayor pluviometría en Colombia y en el mundo, enfrenta desafíos críticos en el suministro de agua potable debido a la falta de infraestructura adecuada. Algunas áreas de esta región registran precipitaciones anuales que superan los 8,000 milímetros, especialmente en la cuenca del río Atrato y en la selva del Darién. Esta alta pluviometría se debe a factores como la convergencia intertropical y la influencia de corrientes oceánicas, que generan condiciones de humedad constante en la región (IDEAM, 2025a).

El departamento del Chocó enfrenta condiciones de salud significativamente más adversas que el promedio nacional. La tasa de mortalidad infantil en Chocó sigue siendo elevada en comparación con el promedio nacional, reflejando disparidades en la calidad de vida y acceso a servicios de salud en la región (MinSalud, 2024). La desnutrición crónica en menores de 5 años afecta al 13.4% de los niños en el Chocó, frente a un promedio nacional del 10.8% (MinSalud, 2015).

Enfermedades transmisibles relacionadas con el agua y el entorno tropical, como la malaria, son altamente prevalentes en el Chocó, representando el 27,6% de los casos de malaria a nivel nacional (INS,2025). Esta alta incidencia refleja el impacto de factores como el clima tropical de la región y las limitaciones en la infraestructura de salud y saneamiento. Además de la malaria, el Chocó presenta una elevada tasa de enfermedades diarreicas agudas (EDA), particularmente en menores de cinco años, debido al consumo de agua contaminada y la falta de acceso a sistemas de tratamiento de agua. Las infecciones respiratorias agudas (IRA) también

son comunes, exacerbadas por condiciones de humedad y vivienda inadecuadas, las cuales se agravan en zonas sin acceso a agua potable segura y con saneamiento insuficiente.

Estas condiciones de salud afectan a la población general y, de manera desproporcionada, a los grupos más vulnerables, como los niños y las personas mayores. La alta prevalencia de estas enfermedades pone en evidencia la necesidad urgente de implementar intervenciones orientadas a mejorar el acceso a agua potable y a servicios de saneamiento adecuados, con el propósito de reducir la incidencia de enfermedades de origen hídrico y contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes del departamento del Chocó.

Esta situación repercute directamente en la salud y el bienestar de la población, con altos índices de enfermedades relacionadas con el consumo de agua no tratada y contaminada. Estas condiciones subrayan la necesidad urgente de intervenciones focalizadas que aborden las inequidades en salud en la región, garantizando el acceso a recursos de agua potable y servicios de saneamiento adecuados (MinSalud,2024). Ante esta problemática, surge la necesidad de implementar soluciones sostenibles que aprovechen los recursos naturales disponibles en la región, como el agua de lluvia, para mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

El proyecto propone el desarrollo de un sistema fijo de captación, filtrado y distribución de agua lluvia potabilizada en viviendas unifamiliares de Chocó, con el objetivo de proporcionar un acceso seguro, confiable y de bajo costo a este recurso vital. La iniciativa responde a la necesidad urgente de mejorar la calidad de vida de la comunidad. Al aprovechar la alta pluviometría de la región, se pretende mitigar los problemas asociados con la falta de infraestructura, al mismo tiempo que se asegura una gestión eficiente y sostenible del recurso hídrico.

Más allá de proporcionar una solución técnica, el proyecto incorpora los principios establecidos en la Guía del PMBOK® del PMI para optimizar su desarrollo y garantizar una implementación exitosa. A través de una planificación integral, se asegurará que cada etapa del proyecto sea ejecutada de manera ordenada y eficiente (PMI, 2021).

Se desarrollarán los dominios de desempeño del PM de acuerdo a las prácticas recomendadas en la Guía del PMBOK® (PMI, 2021), con el fin de asegurar el control presupuestal y el uso de los recursos disponibles. Esta gestión busca que la solución planteada sea técnicamente viable, operativamente funcional y económicamente accesible para las comunidades destinatarias.

Finalmente, el proyecto tiene como objetivo establecer un modelo replicable que pueda ser adaptado a otras viviendas unifamiliares en Chocó y otras regiones con características similares. Se espera un impacto positivo en la calidad de vida de las personas, mejorando su salud y bienestar general. Este enfoque integral, que combina soluciones técnicas con una metodología de gestión de proyectos, asegura que el sistema de captación y distribución de agua lluvia potabilizada sea eficaz, sostenible y escalable, ofreciendo una respuesta concreta a las necesidades de agua potable en Chocó.

Definición del Problema

El departamento de Chocó, Colombia, es una de las regiones con mayor pluviometría del país, con un promedio anual de precipitación de 6,360 mm, llegando en algunos municipios hasta los 10,486 mm, según los históricos del periodo 1991-2020 (IDEAM, 2025a). Esta abundancia hídrica es constante durante todo el año, con una media de 218 días de lluvia en el departamento, aunque en ciertos municipios puede haber hasta 296 días de lluvia al año (IDEAM, 2025b).

A pesar de esta elevada disponibilidad de agua, la región enfrenta graves problemas de acceso a agua potable debido a la insuficiente infraestructura de acueducto. Según el Plan Departamental de Aguas (PDA) de Aguas del Chocó, solo algunas localidades cuentan con sistemas de acueducto de calidad regular, y en la mayoría de los casos, la infraestructura no satisface la demanda mínima requerida por la población (AguasdelChocó, 2024). Esta situación es especialmente crítica en las áreas rurales y periurbanas, donde la ausencia de redes centralizadas de agua limita la disponibilidad de agua segura para el consumo humano y uso doméstico.

Diversos proyectos en Colombia y otras regiones del mundo con condiciones climáticas similares han demostrado el potencial de la captación de agua de lluvia como una alternativa viable para el acceso a agua potable en comunidades vulnerables. En el departamento de La Guajira, Colombia, la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia en comunidades indígenas ha generado resultados positivos, proporcionando agua potable en áreas sin acceso a fuentes convencionales y reduciendo las tasas de enfermedades relacionadas con el consumo de agua contaminada. Estos sistemas, apoyados por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, han mejorado significativamente las condiciones de salud y calidad de vida en comunidades que enfrentan carencias hídricas (MinSalud, 2024).

Iniciativas similares en otros países de América Latina, como Brasil y México, también destacan el impacto de estos sistemas en comunidades rurales y semiáridas. En el Nordeste de Brasil, el gobierno ha promovido la instalación de cisternas para la captación de agua de lluvia, logrando mejorar la disponibilidad de agua para el consumo humano y actividades agrícolas. Estos proyectos han contribuido al desarrollo sostenible de las comunidades y han reducido la vulnerabilidad de las familias ante la escasez de agua (FAO, 2013).

En México, diversas organizaciones no gubernamentales han implementado sistemas de captación de agua de lluvia en comunidades rurales y urbanas, promoviendo prácticas sostenibles en la gestión hídrica y aumentando el acceso a agua segura. Estos sistemas han sido efectivos para cubrir necesidades básicas de agua en regiones con acceso limitado a infraestructura de acueducto, promoviendo la autosuficiencia y mejorando la resiliencia hídrica de las comunidades (FAO, 2013).

Estas experiencias demuestran que la captación de agua de lluvia es una estrategia efectiva para mejorar el acceso a agua potable en comunidades con limitaciones en infraestructura hídrica. La implementación de sistemas adaptados a las condiciones locales no solo promueve la sostenibilidad y autosuficiencia. Esta práctica contribuye de manera directa al bienestar y al desarrollo social de las poblaciones que enfrentan situaciones de vulnerabilidad hídrica, al ofrecer una alternativa viable para el abastecimiento seguro de agua.

Un estudio sobre el acceso al servicio de acueducto en Quibdó, capital del Chocó, revela que, a pesar de los altos niveles de precipitación anual, la principal fuente de agua para consumo humano en muchas viviendas sigue siendo el agua de lluvia, debido a la falta de infraestructura adecuada (Bermúdez Ríos, 2016). Asimismo, informes del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio destacan que, aunque se han destinado recursos significativos para proyectos de agua y

saneamiento básico en Chocó, persisten deficiencias en la cobertura y calidad de los servicios, afectando principalmente a las comunidades más vulnerables (MinSalud, 2024).

Estas carencias en infraestructura de acueducto y saneamiento básico obligan a las comunidades a depender de fuentes superficiales de agua, que a menudo están contaminadas, lo cual incrementa la incidencia de enfermedades de origen hídrico, especialmente enfermedades gastrointestinales y respiratorias. Estas afecciones impactan particularmente a los grupos más vulnerables, como los niños y las personas de la tercera edad, y repercuten directamente en la salud y calidad de vida de los habitantes del Chocó, quienes enfrentan condiciones precarias debido a las deficiencias en servicios básicos (MinSalud, 2024).

El departamento del Chocó enfrenta condiciones de salud marcadamente más adversas que el promedio nacional, posicionándose como una de las regiones más afectadas por la falta de acceso a agua potable y saneamiento básico. En 2022, la tasa de mortalidad infantil en Chocó fue de 14,57 por cada 1,000 nacidos vivos, significativamente superior al promedio nacional, lo que refleja graves problemas de salud pública y una infraestructura de seguridad social insuficiente para satisfacer las necesidades de la población (MinSalud, 2024).

Además, las enfermedades relacionadas con infecciones respiratorias agudas (IRA) y enfermedades diarreicas agudas (EDA) en menores de cinco años presentan una incidencia considerablemente más alta en Chocó que en el resto del país. A de abril de 2025 la tasa de mortalidad por EDA en menores de cinco años en Chocó alcanzó 7.01 por cada 100,000, en comparación con la media nacional de 0.39 por cada 100,000 (INS, 2025b). Esta cifra subraya la dependencia de las comunidades en fuentes superficiales de agua, que frecuentemente están contaminadas y agravan los problemas de salud, afectando particularmente a los grupos más vulnerables, como los niños y los ancianos.

En años recientes, la malaria ha surgido como una de las enfermedades más prevalentes en la región, representando el 27,6% de los casos nacionales en 2025. La alta incidencia de malaria, junto con la mortalidad y morbilidad causadas por EDA e IRA en niños, pone en evidencia el impacto directo del consumo de agua contaminada y de la falta de servicios básicos en la salud de la población (INS, 2025b).

Estas condiciones críticas resaltan la necesidad urgente de intervenciones focalizadas para reducir las inequidades en salud y mejorar el acceso a agua potable y servicios de saneamiento adecuados en la región. Estas acciones no solo contribuirían a disminuir la incidencia de enfermedades, sino que también elevarían considerablemente la calidad de vida de los habitantes del Chocó, especialmente de sus poblaciones más vulnerables (INS, 2025b).

El desarrollo de un sistema de captación y distribución de agua lluvia potabilizada constituye una alternativa viable y sostenible para enfrentar los desafíos de acceso a agua potable en el departamento del Chocó, dado que la región presenta una de las mayores tasas de precipitación del país, lo que posibilita un abastecimiento constante de agua de lluvia. La implementación de esta estrategia permitiría disminuir la dependencia de fuentes de agua no seguras y, con ello, contribuir a la reducción de enfermedades asociadas al consumo de agua contaminada, mejorando las condiciones de salud y calidad de vida de la población. La experiencia de proyectos desarrollados en territorios como La Guajira, así como en países como Brasil y México, ha demostrado que los sistemas de captación de agua lluvia son una alternativa efectiva para garantizar el acceso a agua potable en comunidades rurales que carecen de infraestructura de acueducto (FAO, 2013). La propuesta, al estar basada en un sistema de bajo costo y de fácil mantenimiento, tiene el potencial de ser replicada en otras regiones del país que

enfrenten condiciones similares, fortaleciendo la sostenibilidad y la autosuficiencia hídrica en comunidades en situación de vulnerabilidad.

El objetivo de este proyecto es desarrollar un sistema de captación y distribución de agua lluvia potabilizada para una vivienda unifamiliar en Chocó, aplicando el estándar para la dirección de proyectos del PMI. La implementación de este marco de trabajo asegurará una planificación y ejecución sistemáticas, optimizando los recursos disponibles y minimizando los riesgos asociados con el proyecto.

¿Cómo puede el estándar para la dirección de proyectos del PMI (Project Management Institute) ser aplicado para estructurar y ejecutar el desarrollo de un sistema de captación y distribución de agua lluvia potabilizada en una vivienda unifamiliar en Chocó?

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un sistema para la captación y distribución de agua lluvia potabilizada de bajo costo para una vivienda unifamiliar en Chocó, integrando dominios de desempeño del PMI para asegurar el valor entregado y la sostenibilidad del sistema.

Objetivos Específicos

Identificar las condiciones ambientales, sociales y económicas de las viviendas unifamiliares en Chocó, mediante un proceso de levantamiento de información gestionado bajo los lineamientos de la guía del PMBOK®

Evaluar la viabilidad técnica y económica de las alternativas tecnológicas para la captación, almacenamiento, potabilización y distribución de agua lluvia, aplicando buenas prácticas de análisis de alternativas y gestión de costos, enmarcadas en el Dominio de Desempeño de la Planificación del Estándar para la Dirección de Proyectos del PMI.

Elaborar el Plan para la Dirección del Proyecto del sistema de agua lluvia potabilizada, integrando los dominios de desempeño del Estándar para la Dirección de Proyectos del PMI

Resumen de Contenido

El trabajo de grado está estructurado en torno al desarrollo de un sistema de captación y distribución de agua lluvia potabilizada de bajo costo para una vivienda unifamiliar en el departamento del Chocó, Colombia. El documento integra un enfoque metodológico guiado por la Guía del PMBOK® (2021), articulando principios de gestión de proyectos con una caracterización técnica, social y ambiental del contexto. La estructura abarca desde la identificación del problema hasta el diseño de una solución factible, gestionada mediante los dominios de desempeño definidos por el PMI.

El marco de referencia se compone de tres apartados. El marco conceptual define términos técnicos fundamentales para el sistema, como captación, almacenamiento, filtración, desinfección y distribución del agua lluvia, así como conceptos clave de la gestión de proyectos. El marco teórico incorpora antecedentes documentados en estudios nacionales e internacionales, que describen experiencias de implementación de sistemas similares en Colombia, México, Brasil, India y Pakistán. El marco contextual describe las condiciones del departamento del Chocó, incluyendo los niveles de precipitación, los indicadores de salud pública, las carencias en infraestructura hídrica y la baja cobertura de acueducto.

La metodología del trabajo se desarrolla en tres fases. La primera corresponde a la caracterización del contexto ambiental, social y económico, y contempla la recolección de datos climatológicos del IDEAM, el análisis de condiciones socioeconómicas a partir de estadísticas del DANE y fuentes locales, la aplicación de una encuesta a los actores involucrados y la revisión de planes de desarrollo y diagnósticos sectoriales. Esta fase permite identificar necesidades prioritarias y condiciones de vulnerabilidad en zonas sin acceso a agua potable, y establecer las posibilidades técnicas para la captación de agua lluvia.

La segunda fase consiste en la evaluación técnica y económica de alternativas. En ella se identifican tecnologías disponibles para la captación, tratamiento y distribución de agua lluvia, y se formulan tres opciones tecnológicas con sus respectivos costos y características operativas. La selección de la alternativa más viable se realiza mediante una matriz de ponderación que incluye criterios técnicos, económicos y de adaptabilidad local. La alternativa seleccionada contempla un sistema híbrido de bajo costo, que integra un módulo de filtración con zeolitas, un tanque de almacenamiento de 500 litros y un esquema de distribución por gravedad o bombeo. Se desarrolla un análisis financiero con indicadores como el flujo de caja, el valor presente neto, la tasa interna de retorno y la relación beneficio-costos, proyectando un retorno de la inversión a partir del tercer año de implementación.

La tercera fase corresponde a la formulación del Plan para la Dirección del Proyecto, fundamentado en los ocho dominios de desempeño del PMI. El dominio del enfoque de desarrollo y ciclo de vida establece la progresión por fases y la entrega por etapas. En el dominio de planificación se definen el alcance, cronograma, presupuesto, recursos, calidad, riesgos, adquisiciones y comunicaciones. En el dominio del equipo se precisan los roles técnicos y comunitarios requeridos para el desarrollo e implementación del sistema. La gestión de interesados se aborda mediante un análisis de poder e interés, y se incorporan estrategias de participación activa. Los dominios del trabajo del proyecto y de las entregas se desarrollan mediante líneas base e indicadores de cumplimiento. La medición del desempeño se estructura a partir de variables técnicas, económicas y sociales, y el dominio de la incertidumbre incluye estrategias de gestión de riesgos y adaptación frente a condiciones climáticas, operativas y sociales.

Marco de Referencia

Marco Conceptual

Abastecimiento de agua: Proceso mediante el cual el agua es recolectada desde fuentes naturales como nacientes, pozos, ríos o mediante sistemas de captación de agua lluvia, transportada a través de tuberías o canalizaciones hacia viviendas o espacios comunitarios, donde puede ser utilizada para consumo humano o usos domésticos, previo tratamiento cuando es necesario (Richards et al., 2021; Ali et al., 2025a).

Acumulación de sedimentos: Proceso mediante el cual los materiales suspendidos en el agua de lluvia, como sólidos, nutrientes y metales, se depositan en el fondo del tanque de almacenamiento, generando condiciones que favorecen la liberación de contaminantes y el deterioro de la calidad del agua durante el almacenamiento prolongado (Gao et al., 2024).

Agua Potable: Agua para el consumo humano, utilizada para beber, cocinar, higiene y actividades domésticas. (Valdivielso, s.f.).

Agua lluvia: Agua que se origina en la atmósfera y cae como precipitación, transportando posibles contaminantes del aire o de las superficies de captación como techos, por lo que requiere tratamiento antes de su uso para consumo humano o agrícola (Villagómez-Márquez et al., 2023; Mazurkiewicz et al., 2022).

Aguas Pluviales: Provenientes de la lluvia, no son absorbidas por el suelo y fluyen desde techos u otras superficies. Aunque no es potable, carece de contaminantes y puede tratarse para diversos usos.

Aprovechamiento de agua lluvia: Uso planificado del agua de lluvia recolectada desde superficies impermeables, almacenada en tanques y tratada mediante procesos como filtración y desinfección, permitiendo su utilización en actividades domésticas, agrícolas o industriales,

mientras se contribuye al ahorro de agua potable, la eficiencia energética y la reducción de la escorrentía urbana (Ali & Sang, 2023; Rodrigues et al, 2022).

Calidad físico-química del agua: Característica del agua que incluye parámetros como pH, temperatura, dureza, alcalinidad, nitratos, hierro, manganeso, cloruros, sólidos disueltos y conductividad. Estos parámetros permiten evaluar si el agua es apta para usos domésticos o potables, siempre que se complemente con control microbiológico (Mazurkiewicz et al., 2022).

Cámara de asentamiento y filtración: Estructura que recibe el agua recolectada y permite que los sólidos suspendidos se depositen, seguida de una cámara con materiales filtrantes como grava y arena que elimina partículas finas y mejora la calidad del agua antes de su almacenamiento o recarga al subsuelo (Naik et al., 2024).

Captación de agua lluvia: Una solución para zonas periurbanas con problemas de acceso al agua potable, consiste en aprovechar el agua de lluvia para diversos usos (Belelli, s.f.). La captación y gestión eficiente son medidas para conservar y aumentar las reservas de agua.

Captación de agua lluvia desde techos: Es una técnica que consiste en recolectar agua de lluvia desde las superficies de techos, conduciéndola mediante canaletas y tuberías hacia sistemas de almacenamiento para su posterior uso en actividades domésticas, agrícolas o industriales. Esta práctica contribuye a mitigar la escasez hídrica, la sobreexplotación de acuíferos y el riesgo de inundaciones urbanas, siempre que se garantice su tratamiento adecuado para uso seguro (Lepcha et al., 2024; Naik et al., 2024).

Contaminación microbiológica: Presencia de microorganismos como bacterias coliformes, bacterias mesófilas y psicrófilas en el agua de lluvia almacenada. Esta contaminación aumenta por la temperatura y la acumulación de materia orgánica, lo que representa un riesgo para la salud si el agua no se desinfecta adecuadamente (Mazurkiewicz et al., 2022).

Desinfección con hipoclorito de sodio: Método de bajo costo que utiliza cloro en solución para eliminar microorganismos presentes en el agua recolectada. Este tratamiento mantiene niveles seguros de cloro durante el almacenamiento, reduciendo el riesgo de enfermedades por bacterias como *Escherichia coli* o *Salmonella* (Richards et al., 2021)

Filtración de agua: Proceso físico mediante el cual el agua pasa a través de materiales filtrantes como arena, carbón activado o zeolitas, que retienen partículas sólidas, materia orgánica y microorganismos, mejorando su calidad antes de la desinfección o el consumo (Gupta et al., 2023; García-Ávila et al., 2023).

Flujo de caja: es una herramienta que permite proyectar en el tiempo los ingresos y egresos de un proyecto, incluyendo la inversión inicial, los costos operativos y los beneficios futuros. Esta proyección es la base para evaluar la sostenibilidad económica y calcular indicadores financieros como el VPN, la TIR o la Relación Costo-Beneficio (Ali & Sang, 2023).

Microcontaminantes orgánicos en el agua lluvia: Compuestos como pesticidas y productos industriales que pueden encontrarse en el agua de lluvia recolectada, dependiendo de las actividades agrícolas o urbanas cercanas. Su presencia representa un riesgo potencial para la salud si el agua se utiliza sin tratamiento (Villagómez-Márquez et al., 2023).

Precloración: Adición controlada de cloro al agua antes de su paso por membranas cerámicas o filtros, con el objetivo de inhibir el crecimiento de biopelículas bacterianas que obstruyen los sistemas de filtración y mejorar el flujo de agua tratada (Miwa et al., 2025).

Sistema de captación de agua lluvia: Es un sistema diseñado para recolectar agua de lluvia desde superficies impermeables como techos o patios y almacenarla en tanques para usos potables y no potables. Estos usos incluyen el consumo humano, riego de jardines, limpieza de

terrazas, lavado de vehículos y descarga de inodoros, dependiendo de la demanda local y las condiciones de suministro. (Ali et al., 2025a).

Protocolo de purificación de agua: Conjunto de procedimientos físicos, químicos y biológicos que permiten eliminar sólidos, microorganismos y sustancias químicas del agua recolectada, garantizando su aptitud para usos domésticos o potables. Incluye procesos como filtración, desinfección con cloro o luz ultravioleta y control del almacenamiento (Lepcha et al., 2024).

Sistemas de Captación de Agua Lluvia: Infraestructura diseñada para recolectar, almacenar, tratar y distribuir agua de lluvia desde superficies impermeables, integrando componentes como sistemas de captación, almacenamiento, filtración y distribución, con aplicaciones en abastecimiento doméstico, comunitario o urbano (Suprapti et al., 2025; Carpio-Vallejo et al., 2024).

Sistema de primera descarga: Componente instalado en los sistemas de captación de agua lluvia que desvía los primeros litros del agua recolectada, evitando que sedimentos, excrementos, hojas y contaminantes acumulados en el techo lleguen al sistema de almacenamiento. Este mecanismo mejora la calidad del agua recolectada y es clave para proteger la salud en usos domésticos o recreativos (García-Ávila et al., 2023; Richards et al., 2021).

Superficies aceptables para la captación de agua: Las superficies utilizadas para la captación de agua lluvia pueden ser de diversos materiales. Algunas, como las láminas de asbesto, cartón y tejas porosas, solo permiten recolectar agua para usos no potables debido al riesgo de contaminación. Otras, como losas de concreto en buen estado, resultan más adecuadas para la captación de agua que, con el tratamiento adecuado, puede destinarse a consumo humano (SEDEMA, 2020).

Superficies aceptables para la captación de agua: Superficies como techos de concreto, tejas cerámicas, láminas plásticas o metálicas, que permiten recolectar agua de lluvia para usos no potables o potables, dependiendo del material y el tratamiento posterior, considerando que materiales porosos o contaminantes pueden afectar la calidad del agua recolectada (Gao et al., 2024; Carpio-Vallejo et al., 2024).

Interceptor: Componente del sistema de captación que evita la entrada de materiales sólidos como hojas o sedimentos al tanque de almacenamiento, generalmente mediante mallas o sistemas de primera descarga que mejoran la calidad del agua recolectada (Richards et al., 2021; Gupta et al., 2023).

Tanque de almacenamiento: Estructura impermeable utilizada para almacenar agua lluvia recolectada, diseñada para evitar la contaminación externa mediante tapas selladas, sistemas de ventilación controlada y facilidades de acceso para limpieza y mantenimiento periódico (Richards et al., 2021; Gao et al., 2024).

Sistema de drenaje: Su diseño debe considerar variables como la cantidad de agua a recolectar, la existencia de tanques de almacenamiento previos, las necesidades de consumo, y la viabilidad de construcción.

Tratamiento del agua lluvia: Conjunto de procesos que incluye prefiltración para retener sólidos gruesos, filtración para eliminar turbidez y partículas finas, y desinfección mediante cloración o radiación ultravioleta, con el objetivo de garantizar la calidad del agua para usos potables o no potables, según las necesidades del usuario (Richards et al., 2021; Mazurkiewicz et al., 2022).

Filtración: Es un método crucial en el tratamiento del agua, donde un filtro retiene sólidos suspendidos, permitiendo el paso de una mezcla filtrada. Según Ávila y Moreno (2016), la

filtración con arena común puede eliminar virus por completo, reducir bacterias entre un 99% y 99.9%, y eliminar organismos protozoarios o huevos de nematodos hasta en un 99.99%. También puede reducir el carbono orgánico biodegradable en un 50% y el hierro entre un 30% y 90%.

Filtro de carbón: Un material natural con microagujeros que atrapan y descomponen contaminantes como aceite mineral, hidrocarburos, microorganismos, herbicidas, pesticidas, y compuestos que generan mal olor y sabor en el agua (Ávila & Moreno, 2016).

Filtración por zeolitas: Utiliza zeolitas, estructuras cristalinas que absorben metales alcalinos, para neutralizar elementos como fosfatos, sulfatos y cloruros, capturando partículas de hasta 5 micras (Ávila & Moreno, 2016).

Osmosis inversa: Técnica que utiliza una membrana con una malla extremadamente fina para filtrar el agua bajo presión, logrando una descontaminación completa. Esta membrana puede filtrar partículas sólidas de tamaño microscópico, hasta 0.0005 micras.

Desinfección del agua: Proceso crucial para eliminar microorganismos y agentes patógenos, que puede lograrse mediante agentes químicos, como el cloro, o procesos físicos, como la radiación ultravioleta.

Desinfección con luz ultravioleta: Método que utiliza luz artificial para alterar las características moleculares y la función celular de los microorganismos, destruyéndolos. Este enfoque elimina bacterias coliformes y puede reemplazar el uso de cloro y ozono (Ávila & Moreno, 2016).

Desinfección con cloro: Utilización de soluciones de cloro para eliminar sabor y aroma no deseados y para controlar el crecimiento de algas, hierro, manganeso, sulfuro de hidrógeno, y bacterias como *Escherichia coli* y *Candida parapsilosis* (Correa, 2014).

Prefiltros en sistemas de captación: Prefiltros instalados en las tuberías o canaletas del sistema de captación son esenciales para retener sólidos grandes como materia orgánica, residuos de hojas, ramas, rocas, plásticos y otros elementos nocivos para la salud humana.

Tasa Interna de Retorno (TIR) expresa el porcentaje de rentabilidad que iguala los beneficios y los costos del proyecto en el tiempo. Su utilidad radica en comparar la rentabilidad de diferentes alternativas de inversión (PMI, 2021).

Relación Costo-Beneficio (RCB) compara el valor presente de los beneficios frente a los costos totales del proyecto. Un valor mayor a uno indica que los beneficios superan los costos, lo que respalda la ejecución del proyecto (Ali & Sang, 2023).

Valor Presente Neto (VPN) permite estimar el valor actual de los beneficios futuros descontados, comparado con la inversión requerida. Un VPN positivo indica que el proyecto genera un beneficio económico neto, siendo una herramienta clave para justificar la viabilidad financiera (PMI, 2021).

Marco Teórico

Sistema para la Captación y Distribución de Agua Lluvia

Sistema de captación de agua lluvia es un conjunto de componentes diseñados para recolectar el agua que precipita sobre superficies impermeables, como techos, conducirla mediante canaletas y tuberías hacia tanques de almacenamiento, y someterla a procesos de filtración y desinfección, con el propósito de garantizar su disponibilidad para usos domésticos, agrícolas o potables, dependiendo del tratamiento aplicado (Reyes & Rubio, 2014; Herrera, 2010).

La captación de agua de lluvia se plantea como una solución recomendada para zonas rurales o urbanas marginales que cuentan con suficiente precipitación. Este sistema, basado en el

uso del techo de la vivienda y las canaletas, debe diseñarse de manera que capture el agua y la someta a procesos de descontaminación y desinfección que aseguren su aptitud para el consumo humano (UNATSABAR, 2003).

Diversos enfoques amplían la conceptualización de los sistemas de captación de agua de lluvia, lo que permite el diseño de soluciones detalladas y adaptadas a las condiciones particulares de cada contexto. Herrera (2010) destaca la integración de componentes como el área de captación, el sistema de recolección, el almacenamiento y el bombeo del agua. Por su parte, Reyes y Rubio (2014) proponen configuraciones que van desde sistemas simples hasta esquemas más complejos, según las necesidades de cada comunidad.

En las áreas rurales sin acceso a acueductos, los habitantes obtienen agua directamente o mediante un tratamiento deficiente, lo que genera problemas de salud pública asociados a enfermedades gastrointestinales (Michael, s.f.). La implementación de sistemas de recolección de agua de lluvia representa una alternativa viable para el suministro de agua potable, además de contribuir a reducir el desperdicio y promover el ahorro (Palacio, 2010). La falta de acceso al agua potable en comunidades rurales exige determinar tratamientos adecuados que permitan la reutilización segura del agua de lluvia para consumo humano (Hernández, 2019).

De acuerdo con Rodrigues et al. (2022), los sistemas de captación de agua lluvia contribuyen a la sostenibilidad urbana al integrar beneficios ambientales, sociales y económicos. Estos sistemas permiten el ahorro de agua potable para usos no potables y reducen la escorrentía urbana, mitigando riesgos de inundaciones y contaminación difusa. Además, al disminuir la demanda de agua de los sistemas públicos, contribuyen al ahorro energético y a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente cuando el sistema opera sin bombas o utiliza equipos eficientes. La viabilidad de estos sistemas depende del costo del agua, la demanda

del usuario, el tamaño del tanque y las políticas de incentivo. En algunos contextos, la rentabilidad económica requiere subsidios, aunque los beneficios indirectos como la resiliencia climática y la protección de infraestructuras urbanas justifican su promoción mediante políticas públicas. Los RWHS deben ser considerados como herramientas integrales para la gestión sostenible del agua en ciudades y comunidades vulnerables al cambio climático (Rodrigues et al., 2022). Si bien estos beneficios son evidentes en sistemas urbanos conectados a infraestructuras públicas, en zonas rurales como Chocó estos sistemas contribuyen principalmente a la autosuficiencia hídrica, reduciendo la dependencia de fuentes contaminadas o de acarreo de agua desde fuentes lejanas.

De acuerdo con Nandi y Gonela (2022), los sistemas de captación de agua lluvia han evolucionado de soluciones locales a estrategias de política pública para enfrentar la crisis hídrica en ciudades y comunidades rurales. La literatura científica ha centrado su atención en aspectos técnicos, dejando de lado consideraciones de política, gobernanza y viabilidad social. Los autores proponen un marco conceptual que articula la teoría neo-institucional, la teoría de la agencia y la teoría de la modernización ecológica para superar estas limitaciones. Este marco permite comprender cómo las políticas públicas, los incentivos económicos, los comportamientos sociales y las dinámicas institucionales influyen en la adopción y sostenibilidad de estos sistemas. Además, integra variables espaciales, sociales y económicas que permiten diseñar sistemas híbridos, combinando captación centralizada y descentralizada, adaptados a las realidades de cada territorio (Nandi & Gonela, 2022). Aunque estas teorías ofrecen un marco valioso para diseñar políticas públicas a gran escala, en el caso de Chocó se requiere un enfoque más pragmático que combine tecnologías apropiadas, participación comunitaria y bajo costo para garantizar la sostenibilidad local.

De acuerdo con Ali y Sang (2023), la implementación de sistemas de captación de agua lluvia en ciudades planas como Islamabad, Lahore, Peshawar y Khanpur ofrece beneficios en la reducción del consumo de agua potable y en el ahorro energético asociado al bombeo de agua subterránea. La eficiencia de estos sistemas depende del tamaño del tanque, la demanda de agua, las condiciones climáticas y el consumo energético requerido para el bombeo. En climas húmedos como Islamabad, un sistema con tanque de 20 m³ alcanza un ahorro de hasta 126 m³ de agua por año y una confiabilidad del 80 % para demandas combinadas, mientras que en climas desérticos como Khanpur el ahorro es considerablemente menor. Los beneficios energéticos son más relevantes en ciudades con altos consumos energéticos para el bombeo, como Lahore. La evaluación económica mediante la relación beneficio-costos muestra que estos sistemas son viables en Islamabad, Lahore y Peshawar, mientras que en Khanpur requieren subsidios gubernamentales para ser económicamente factibles. Para maximizar los beneficios, es necesario dimensionar adecuadamente el sistema y considerar factores hidráulicos, económicos y energéticos en la planificación urbana (Ali & Sang, 2023). Aunque estos resultados provienen de ciudades asiáticas con sistemas urbanos avanzados, en Chocó, con precipitaciones mucho mayores y consumos domésticos más bajos, los sistemas podrían requerir tanques de menor tamaño para alcanzar niveles similares de autosuficiencia hídrica.

De acuerdo con García-Ávila et al. (2023), los sistemas de captación y almacenamiento de agua lluvia representan una solución viable para enfrentar la escasez de agua en zonas rurales. Estos sistemas, compuestos por techos, canaletas, tuberías y tanques de almacenamiento, permiten recolectar agua que requiere tratamiento y mantenimiento para su uso seguro. Factores como el material del techo, el tipo de tanque y las prácticas de operación y mantenimiento afectan directamente la calidad del agua recolectada. Estos sistemas generan beneficios

económicos, sanitarios y sociales, al reducir el uso de fuentes contaminadas, disminuir los costos de perforación de pozos y optimizar el tiempo dedicado a la recolección de agua. La evaluación de parámetros como pH, turbidez, E. coli, plomo y nitratos permite determinar la aptitud del agua para usos domésticos. La implementación de tecnologías como sistemas automáticos de primera descarga, filtración y desinfección, junto con políticas de apoyo y educación comunitaria, es fundamental para asegurar la sostenibilidad de estos sistemas (García-Ávila et al., 2023).

En el caso del Chocó, estos beneficios son especialmente relevantes dado que las comunidades rurales suelen depender de fuentes superficiales sin tratamiento o de agua de lluvia recolectada sin medidas sanitarias. La implementación de sistemas que incluyan mecanismos de primera descarga y tratamiento básico representa una oportunidad viable para mejorar la calidad del agua y reducir los riesgos para la salud pública, siempre que se garantice la apropiación comunitaria y el acompañamiento técnico

Según Ali et al. (2025a), los sistemas de captación de agua lluvia aportan beneficios al disminuir el exceso de agua que escurre por las superficies urbanas y al ahorrar agua potable. La eficiencia de estos sistemas depende de factores como la cantidad de lluvia anual, la distribución de los eventos lluviosos y la duración de los periodos secos. Los mejores resultados se logran en zonas con lluvias frecuentes y pocos días secos. Para que el sistema sea eficiente, su diseño debe ajustarse a las condiciones climáticas y a las necesidades de uso, garantizando un almacenamiento adecuado que permita aprovechar al máximo el agua recolectada (Ali et al., 2025a).

Este criterio es especialmente favorable para Chocó, donde las lluvias son constantes y de alta intensidad a lo largo del año, lo que permite diseñar sistemas de menor capacidad de

almacenamiento, optimizando recursos y reduciendo costos de infraestructura, a diferencia de regiones con largos periodos secos.

De acuerdo con Ali et al. (2025b), los sistemas de captación de agua lluvia representan una estrategia viable para reducir la presión sobre las redes urbanas de drenaje y los sistemas de suministro de agua y energía. Estos sistemas recolectan agua desde superficies impermeables, como techos, para su uso en actividades tanto potables como no potables, lo que permite disminuir la dependencia de las fuentes convencionales de agua. Además, su implementación contribuye a la mitigación de inundaciones urbanas, la adaptación al cambio climático y la mejora de la autosuficiencia hídrica y energética de las ciudades. Los autores destacan que el desempeño de estos sistemas está condicionado por variables como la variabilidad espacial y temporal de la lluvia, el tamaño del tanque, la superficie de captación y la demanda de los usuarios, y que requieren un tratamiento adecuado antes de su uso potable debido a los riesgos. Si bien estos efectos son visibles en entornos urbanos, en contextos rurales como los del Chocó, la principal contribución de estos sistemas es fortalecer la autosuficiencia hídrica familiar, al reducir la dependencia de fuentes inseguras o de difícil acceso, promoviendo además prácticas sostenibles de captación y almacenamiento adaptadas a las capacidades locales.

Los estudios revisados destacan que los sistemas de captación de agua lluvia han sido implementados exitosamente en contextos urbanos y rurales de Asia, América Latina y Europa, mostrando beneficios en la reducción del consumo de agua potable, el control de escorrentías urbanas y el ahorro energético asociado al bombeo de agua subterránea (Rodrigues et al., 2022; Ali y Sang, 2023; Ali et al., 2025a). En ciudades del sur de Asia como Islamabad y Lahore, en Pakistán, estos sistemas logran altos niveles de eficiencia cuando su diseño considera variables climáticas, hidráulicas y económicas, permitiendo optimizar el uso del agua lluvia en contextos

urbanos caracterizados por una creciente demanda y limitaciones en el suministro de agua potable (Ali y Sang, 2023).

Sin embargo, la experiencia internacional muestra que estos sistemas deben adaptarse a las condiciones específicas de cada territorio. En el caso de Chocó, a diferencia de las ciudades asiáticas o de las zonas urbanas donde predominan sistemas presurizados y tecnologías avanzadas, se requiere un enfoque que priorice la simplicidad operativa, el bajo costo y la sostenibilidad comunitaria. Esto se debe a que las comunidades rurales del departamento enfrentan limitaciones de acceso a energía, recursos técnicos y capacidad de mantenimiento, lo que exige soluciones que puedan ser operadas de forma manual, con materiales disponibles localmente y con bajo requerimiento energético (García-Ávila et al., 2023; Hernández, 2019).

Asimismo, la alta pluviometría de Chocó ofrece ventajas que no se observan en climas áridos o semiáridos, ya que permite un abastecimiento casi continuo durante gran parte del año, reduciendo la dependencia de grandes sistemas de almacenamiento. No obstante, la elevada carga orgánica del agua, la falta de infraestructura sanitaria y el riesgo de contaminación por heces de animales en los techos exigen implementar mecanismos de pretratamiento, filtración y desinfección para garantizar la potabilidad del agua (García-Ávila et al., 2023; Palacio, 2010).

Por tanto, si bien las experiencias internacionales demuestran la viabilidad de estos sistemas, el diseño para Chocó debe centrarse en soluciones de bajo costo, fácil mantenimiento, con etapas claras de tratamiento y con participación activa de la comunidad en su operación y sostenibilidad.

Calidad del Agua Lluvia Captada

De acuerdo con Richards et al. (2021), los sistemas de captación de agua lluvia desde techos complementan el suministro de agua en zonas rurales con acceso limitado, como las

escuelas en India. El almacenamiento prolongado del agua recolectada incrementa la presencia de bacterias coliformes, por lo que se requiere aplicar procesos de desinfección para garantizar su uso seguro. La aplicación de hipoclorito de sodio reduce significativamente la carga microbiana del agua almacenada, manteniendo niveles aceptables por hasta 30 a 37 días. La implementación del sistema permitió suplir el 25 % del agua utilizada para lavado y descarga de inodoros en una escuela, alcanzando estándares de calidad equivalentes a los del agua potable mediante un tratamiento sencillo y de bajo costo. El éxito del sistema depende del diseño adecuado del tanque, el manejo del sistema de primera descarga y la aplicación periódica de desinfectantes como el hipoclorito de sodio (Richards et al., 2021).

Según Mazurkiewicz et al. (2022), el agua de lluvia almacenada en tanques subterráneos puede variar en su calidad microbiológica, aunque en muchos casos cumple con las condiciones físicas y químicas para ser potable. Factores como la temperatura, la materia orgánica acumulada y la falta de tratamiento favorecen la presencia de bacterias que superan los niveles seguros. Además, el agua almacenada puede ser corrosiva y dañar las tuberías o tanques. Los autores sugieren controlar estos riesgos mediante monitoreo, filtración, desinfección y corrección de la corrosividad para garantizar un uso seguro del agua, especialmente cuando se destina a actividades domésticas (Mazurkiewicz et al., 2022).

Carpio-Vallejo et al. (2024), menciona que la captación de agua lluvia desde techos es una estrategia útil para las ciudades que buscan adaptarse al cambio climático. Aunque ofrece beneficios ambientales, puede representar un riesgo para la salud por la presencia de bacterias en el agua almacenada en cisternas y estanques. Un estudio en Hannover mostró que estos sistemas pueden acumular bacterias que superan los límites recomendados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos y la Unión Europea para aguas recreativas. El contacto con esta

agua puede causar enfermedades, especialmente en niños. Por esto, los autores recomiendan establecer controles, monitorear la calidad del agua y realizar mantenimiento y tratamiento antes de su uso para actividades no potables (Carpio-Vallejo et al., 2024).

De acuerdo con Gao et al. (2024), la calidad del agua recolectada en sistemas de captación de agua lluvia desde techos se ve comprometida durante el almacenamiento prolongado en temporadas secas debido a la acumulación de sedimentos y a los procesos bioquímicos que ocurren en el fondo del tanque. El estudio demostró que estos sistemas presentan una estratificación del oxígeno disuelto que limita los procesos de autodepuración y favorece la liberación de contaminantes como nitrógeno, compuestos orgánicos y metales pesados. Los autores resaltan que, aunque las concentraciones iniciales de contaminantes pueden ser bajas, el almacenamiento sin recirculación o tratamiento puede derivar en la acumulación de sustancias que afectan la calidad del agua, como el amonio y el hierro, además de generar olores y coloración no deseada. Por ello, proponen estrategias de monitoreo y gestión que incluyan el control del oxígeno disuelto y el diseño de ciclos óptimos de uso, recomendando el consumo del agua almacenada dentro de los primeros 12 a 26 días para evitar su deterioro (Gao et al., 2024a).

Gao et al. (2024), menciona que los sistemas de captación de agua de lluvia requieren controlar las condiciones del agua almacenada para mantener su calidad. El estudio señala que el nivel de oxígeno en el agua influye en su capacidad para limpiarse de forma natural. Los tanques sellados o con aireación controlada mejoran este proceso, aunque en todos los casos se detectó acumulación de nitratos que puede afectar su uso para consumo humano. Por esta razón, es necesario aplicar controles para manejar el oxígeno y los nutrientes del agua almacenada, especialmente en zonas urbanas donde se busca aprovecharla por más tiempo (Gao et al., 2024b).

De acuerdo con Anindita et al. (2025), los sistemas de captación de agua lluvia se utilizan cada vez más para enfrentar la falta de agua potable. Sin embargo, el agua recolectada puede contener bacterias que representan un riesgo para la salud, especialmente en zonas urbanas e industriales. Entre los microorganismos encontrados se destacan bacterias como *Escherichia coli*, *Salmonella* y otros patógenos, algunos incluso resistentes a antibióticos. Por esta razón, es necesario aplicar tratamientos como filtración, desinfección con cloro o luz ultravioleta para asegurar que el agua recolectada sea segura, especialmente cuando se usa como única fuente de agua (Anindita et al., 2025).

Miwa et al. (2025) explican que los sistemas de captación y tratamiento de agua lluvia deben ser de bajo costo, consumir poca energía y ser eficaces en la eliminación de contaminantes. La combinación de un canal con esponjas y una membrana cerámica que funciona con gravedad resulta útil en zonas rurales o lugares sin acceso a electricidad. El estudio muestra que este sistema, junto con la aplicación de cloro antes del filtrado, mejora la calidad del agua al eliminar sólidos, materia orgánica, color, turbidez y microorganismos. Sin embargo, el rendimiento del sistema puede bajar si no se controla la acumulación de bacterias que forman capas en la membrana y obstruyen el paso del agua (Miwa et al., 2025).

Filtración de agua lluvia

Según Ross et al. (2025), los sistemas de captación de agua lluvia requieren incorporar soluciones complementarias de tratamiento que garanticen la calidad del agua para consumo humano, especialmente en zonas rurales con infraestructura limitada. Los autores desarrollaron un sistema de filtración simple y económico, que, mediante un diseño vertical de capas filtrantes de materiales naturales, logró mejorar parámetros críticos como la acidez, turbidez, contenido mineral y presencia de microorganismos patógenos en el agua recolectada. Este sistema, al

combinarse con un dispositivo de primera descarga, demostró ser efectivo para producir agua potable a partir de agua lluvia en condiciones controladas, representando una alternativa accesible y sostenible para comunidades rurales. Los resultados evidencian que, si bien la filtración mejora significativamente la calidad del agua, es necesario realizar adaptaciones al sistema según las características locales y garantizar el mantenimiento periódico para conservar su efectividad (Ross et al., 2025).

De acuerdo con Gupta et al. (2023), el uso de filtros rápidos de arena representa una alternativa económicamente viable para mejorar la calidad del agua de lluvia recolectada desde techos, especialmente en comunidades rurales con recursos limitados. La investigación desarrollada en el Instituto Indio de Tecnología de Roorkee demostró que estos filtros, contruidos con materiales accesibles como arena, carbón y grava, son capaces de reducir significativamente la turbidez y mejorar otros parámetros de calidad del agua, como el pH y la dureza, hasta cumplir con los estándares establecidos por la norma IS 10500:2012 para agua potable. La efectividad del sistema se incrementa al aumentar la profundidad de la capa de arena, siendo el diseño con mayor profundidad el que alcanzó las mejores tasas de remoción de turbidez (hasta un 98.85 %). Este tipo de tecnología, combinada con sistemas de primera descarga, permite optimizar la captación y tratamiento del agua lluvia para usos domésticos, reduciendo la exposición a contaminantes y mejorando la aceptabilidad del agua en términos de color y olor (Gupta et al., 2023).

Lineamientos del PMI

Los lineamientos de la guía del PMBOK® Séptima Edición se entienden como el conjunto de principios, dominios de desempeño, modelos, métodos y artefactos que orientan la gestión de proyectos hacia la entrega de valor en diversos contextos. Estos lineamientos

constituyen orientaciones flexibles que permiten a los equipos adaptar su forma de trabajar según el entorno, las necesidades de los interesados y las características específicas del proyecto (PMI, 2021).

En primer lugar, los 12 principios de la dirección de proyectos proporcionan las bases éticas y conductuales que deben guiar las decisiones y acciones del equipo del proyecto. Estos principios incluyen aspectos como la entrega de valor, la gestión de riesgos, el liderazgo, la adaptación al contexto y la colaboración con los interesados (PMI, 2021).

En segundo lugar, los 8 dominios de desempeño del proyecto agrupan las áreas clave que deben gestionarse de forma integral para alcanzar los resultados previstos. Estos dominios son: interesados, equipo, enfoque de desarrollo y ciclo de vida, planificación, trabajo del proyecto, entrega, medición e incertidumbre (PMI, 2021).

Además, la guía del PMBOK® define un catálogo de modelos, métodos y artefactos que los equipos pueden seleccionar y adaptar según las características del proyecto. Estos incluyen herramientas de análisis, técnicas de planificación, formatos de documentación, sistemas de monitoreo y elementos de comunicación que apoyan la ejecución del proyecto de manera efectiva (PMI, 2021).

En el marco del proyecto de captación y distribución de agua lluvia potabilizada en Chocó, estos lineamientos permiten estructurar la gestión de manera flexible y orientada a los resultados esperados. La aplicación de los principios y dominios de desempeño facilita la integración de las condiciones ambientales, sociales y técnicas del contexto, mientras que el uso de modelos, métodos y artefactos apoya la identificación de riesgos, la planificación de respuestas y el control del proyecto. De este modo, se asegura que cada decisión y acción contribuya a maximizar el valor social y sanitario para las comunidades beneficiarias,

manteniendo la alineación con los objetivos estratégicos de sostenibilidad y acceso al agua segura.

Estándar para la Dirección de Proyectos del PMI

El Estándar para la Dirección de Proyectos del PMI constituye la base normativa que define qué es la dirección de proyectos y cómo debe llevarse a cabo para lograr resultados alineados con el propósito estratégico de las organizaciones. De acuerdo con el Project Management Institute (PMI, 2021), este estándar establece un marco de referencia aplicable a cualquier tipo de proyecto, sin importar su tamaño, sector o enfoque de desarrollo, ya sea predictivo, adaptativo o híbrido.

Este estándar se organiza en tres componentes fundamentales. En primer lugar, describe un sistema para la entrega de valor, donde los proyectos son vistos como parte de un sistema organizacional más amplio orientado a generar beneficios para los interesados. En segundo lugar, establece 12 principios de dirección de proyectos que guían el comportamiento profesional de quienes lideran y participan en proyectos. Finalmente, introduce un enfoque basado en dominios de desempeño, los cuales agrupan actividades críticas que deben gestionarse de manera integrada para alcanzar los resultados previstos (PMI, 2021).

El Estándar reconoce que los proyectos existen en entornos dinámicos y, por tanto, promueve la adaptación continua de las prácticas a las características particulares de cada proyecto. Este enfoque permite que la dirección de proyectos se centre en generar valor de manera sostenible, optimizando las capacidades del equipo, gestionando la incertidumbre y respondiendo efectivamente a las necesidades de los interesados (PMI, 2021).

Dominios de desempeño del PMI

El Estándar para la Dirección de Proyectos del Project Management Institute (PMI) presenta un marco compuesto por principios y dominios de desempeño que orientan la gestión de proyectos hacia la generación de valor para los interesados. Según la Guía del PMBOK® Séptima Edición, estos dominios se entienden como componentes interrelacionados que abarcan aspectos estratégicos y operativos del proyecto, permitiendo alinear los entregables y procesos con el contexto, las necesidades y las expectativas de las partes interesadas (PMI, 2021).

Entre estos dominios se encuentran la gestión de los interesados, la gestión del equipo, el enfoque de desarrollo y ciclo de vida, la planificación, la ejecución del trabajo del proyecto, la entrega de valor, la medición del desempeño y la gestión de la incertidumbre. Cada uno de estos dominios contribuye a que los proyectos sean gestionados de forma integral y adaptativa. En su conjunto, permiten abordar de manera eficiente la gestión de recursos, la atención a los riesgos y el cumplimiento de las expectativas de los interesados, factores que, de acuerdo con el PMI (2021), son determinantes para el éxito de cualquier iniciativa.

De acuerdo con la Guía del PMBOK® (PMI, 2021), el dominio de desempeño de los interesados comprende las prácticas necesarias para identificar, analizar y gestionar de forma proactiva las expectativas, intereses, necesidades y niveles de influencia de todas las personas, grupos u organizaciones que interactúan con el proyecto. La gestión efectiva de este dominio garantiza que los interesados participen desde las primeras etapas y durante todo el ciclo de vida del proyecto, mediante mecanismos de comunicación continua y estrategias que promueven la participación activa y oportuna. Estas estrategias incluyen el análisis de poder, influencia y actitud de cada interesado, la definición de planes de involucramiento y el monitoreo constante de su nivel de compromiso. Mantener una comunicación permanente permite al equipo de proyecto comprender las expectativas y percepciones de los interesados, gestionar

adecuadamente los acuerdos y facilitar la toma de decisiones informadas que contribuyen al logro de los objetivos previstos.

El dominio de desempeño de la planificación establece las actividades que permiten definir y estructurar el trabajo requerido para alcanzar los resultados del proyecto. Según el PMI (2021), este dominio incluye la formulación del alcance, la definición de las actividades necesarias, la asignación de recursos, la estimación de los costos y la identificación de riesgos. La planificación se desarrolla de manera iterativa y continua a lo largo del proyecto, lo que permite ajustar las acciones según el contexto, los cambios del entorno y las necesidades emergentes de los interesados. La planificación proporciona la base para coordinar al equipo, gestionar las restricciones y asegurar que los entregables se produzcan conforme a lo acordado. Este dominio contribuye a establecer una hoja de ruta clara que orienta la ejecución del proyecto hacia la entrega de valor.

El dominio del trabajo del proyecto se enfoca en la ejecución disciplinada y controlada de las actividades previamente planificadas, garantizando que los entregables se desarrollen conforme a los requisitos establecidos. Este dominio abarca la gestión de los recursos humanos, técnicos y materiales necesarios para realizar las tareas, la supervisión del avance, la gestión de los cambios y la solución de problemas que puedan surgir durante la ejecución. De acuerdo con el PMI (2021), el trabajo del proyecto requiere mantener una coordinación efectiva entre el equipo y los interesados, asegurar el cumplimiento de los estándares de calidad y gestionar las restricciones de tiempo y costo. La ejecución efectiva del trabajo permite transformar los planes en resultados tangibles, generando entregables que satisfacen las necesidades del proyecto y aportan valor a la organización y a los interesados.

El dominio del enfoque de desarrollo y del ciclo de vida permite definir el modelo de ejecución que se adapta a las características del proyecto, considerando las condiciones del entorno, el nivel de incertidumbre y las expectativas de los interesados. Según el PMI (2021), este dominio contempla la elección entre enfoques predictivos, adaptativos o híbridos, definiendo la cadencia de entrega y las fases o etapas que estructuran el desarrollo del proyecto. La selección del enfoque adecuado facilita la gestión de la complejidad y permite al equipo ajustar la ejecución a medida que se generan nuevos conocimientos o se presentan cambios en las condiciones del proyecto. El ciclo de vida proporciona una estructura que permite organizar el trabajo, establecer puntos de control y gestionar la entrega progresiva de los resultados.

El dominio de la entrega se orienta a asegurar que los productos, servicios o resultados generados por el proyecto cumplan con los criterios de aceptación y satisfagan las necesidades de los interesados. Este dominio integra la gestión de los entregables, la validación de su calidad y la verificación de que estos contribuyen efectivamente a los objetivos estratégicos del proyecto. De acuerdo con el PMI (2021), la entrega de valor representa el propósito fundamental de todo proyecto, por lo que este dominio promueve la evaluación continua de los resultados obtenidos y el ajuste de las acciones para maximizar el beneficio para los interesados. La gestión de la entrega incluye también la planificación de la transición de los entregables al entorno operativo, asegurando su sostenibilidad y utilidad.

El dominio de la medición permite establecer mecanismos para evaluar de manera objetiva el desempeño del proyecto, utilizando indicadores que reflejan el cumplimiento de los objetivos en términos de alcance, tiempo, costo, calidad y valor entregado. Según el PMI (2021), este dominio abarca la definición de métricas, la recopilación y análisis de datos, la elaboración de informes y la presentación de información útil para la toma de decisiones. La medición

continua permite al equipo identificar desviaciones, anticipar problemas y aplicar acciones correctivas que aseguran el avance del proyecto conforme a lo planificado. Este dominio facilita la rendición de cuentas y la transparencia ante los interesados, fortaleciendo la confianza en la gestión del proyecto.

El dominio de la incertidumbre se centra en la identificación, análisis y gestión de los riesgos que impactan los objetivos del proyecto, tanto en forma de amenazas como de oportunidades. De acuerdo con el PMI (2021), la incertidumbre es una condición presente en todo proyecto, por lo que su gestión se desarrolla de manera constante y adaptativa. Este dominio promueve la implementación de estrategias que permiten anticipar escenarios, evaluar la probabilidad e impacto de los riesgos y definir respuestas que reducen la exposición a amenazas o potencian las oportunidades. La gestión de la incertidumbre fortalece la capacidad del equipo para tomar decisiones informadas y aumentar la resiliencia del proyecto frente a condiciones cambiantes.

Herramientas de la Guía del PMBOK®

La Guía del PMBOK® Séptima Edición reconoce una serie de herramientas y artefactos que sirven como apoyo para gestionar de manera estructurada los diferentes aspectos de un proyecto. Estas herramientas son flexibles y adaptables a cualquier tipo de proyecto, permitiendo documentar información, facilitar la toma de decisiones y guiar las actividades necesarias para alcanzar los objetivos propuestos. El PMI (2021) clasifica estas herramientas dentro de lo que denomina modelos, métodos y artefactos, los cuales complementan los dominios de desempeño y principios de la gestión de proyectos.

Una de las herramientas fundamentales es el registro de interesados, que permite identificar y documentar las partes interesadas del proyecto, sus expectativas, niveles de

influencia y necesidades. Esta herramienta es clave para gestionar el levantamiento de información sobre las condiciones sociales, económicas y ambientales que afectan el contexto del proyecto. De igual manera, el análisis de alternativas es una herramienta que facilita la comparación estructurada de diferentes soluciones tecnológicas, considerando aspectos técnicos, económicos y operativos para seleccionar la opción más viable en términos de valor y sostenibilidad.

Para gestionar los aspectos económicos, el PMI recomienda el uso de métodos de estimación de costos, tales como las estimaciones análogas y paramétricas, que permiten calcular los recursos financieros requeridos con base en información histórica o en métricas de unidades de medida relevantes. Estos métodos forman parte de las prácticas de planificación que aseguran que los costos sean gestionados de manera realista y alineada con los recursos disponibles. Asimismo, el Plan para la Dirección del Proyecto es una herramienta integradora que documenta cómo se gestionará el alcance, los recursos, los tiempos, los costos y los riesgos, orientando la implementación del sistema propuesto.

El registro de riesgos es una herramienta que permite documentar los riesgos identificados, sus causas, impactos y las respuestas planificadas para mitigarlos. Esta herramienta se relaciona con el dominio de la incertidumbre y permite gestionar de manera proactiva los factores que podrían afectar el éxito del proyecto. La aplicación de estas herramientas, de acuerdo con el PMI (2021), proporciona una base metodológica sólida para planificar, ejecutar y controlar proyectos de forma eficiente, adaptándose a las características y necesidades de cada contexto.

En el presente proyecto, estas herramientas permiten estructurar cada fase del trabajo de manera ordenada y documentada. El registro de interesados se utiliza para gestionar la

información del contexto social y económico de las viviendas en Chocó. El análisis de alternativas y las estimaciones de costos apoyan la evaluación técnica y económica del sistema. El Plan para la Dirección del Proyecto orienta la organización de las actividades y el control del proyecto, mientras que el registro de riesgos facilita la identificación y gestión de amenazas que puedan afectar la implementación del sistema de captación y distribución de agua lluvia.

Plan para la Dirección del Proyecto

El Plan para la Dirección del Proyecto constituye el conjunto integrado de estrategias, decisiones y componentes necesarios para guiar el desarrollo del proyecto y asegurar la entrega de valor. Según el Project Management Institute (2021), este plan se configura como un marco adaptable que permite coordinar el trabajo, asignar recursos, establecer controles y facilitar la comunicación entre los actores involucrados. Su formulación se basa en los dominios de desempeño, los cuales representan áreas clave para la dirección efectiva del proyecto en entornos complejos y cambiantes.

El dominio de Enfoque de Desarrollo y Ciclo de Vida define el método de gestión y la secuencia de fases del proyecto. Para el desarrollo de sistemas de captación de agua lluvia, un enfoque predictivo permite estructurar las actividades de forma secuencial, facilitando el control técnico y metodológico. Desde el dominio de Planificación, se organizan aspectos como el alcance, el cronograma, los recursos y los costos, articulando una hoja de ruta que orienta la ejecución y permite tomar decisiones informadas. El dominio de Interesados establece las estrategias para identificar y gestionar los actores del proyecto, asegurando su participación efectiva mediante mecanismos de comunicación y alineación de expectativas. A su vez, el dominio del Equipo define la asignación de funciones, el liderazgo y la colaboración,

estructurando una organización funcional capaz de ejecutar el plan conforme a los recursos disponibles y al conocimiento técnico requerido.

Los entregables definidos desde el dominio de Entrega se diseñan con base en criterios de utilidad, sostenibilidad y adecuación al contexto, estableciendo parámetros verificables para su aceptación. El dominio de Trabajo del Proyecto integra operativamente todas las áreas del plan, coordinando las actividades y recursos en función de una lógica estructurada que facilite el desarrollo de la solución. En apoyo a esta estructura, el dominio de Medición del Desempeño incorpora indicadores que permiten evaluar avances, validar resultados y mantener el enfoque del proyecto en la generación de valor. Finalmente, el dominio de Incertidumbre guía la gestión de riesgos mediante la identificación, análisis y formulación de respuestas, fortaleciendo la capacidad del proyecto para mantenerse operativo ante eventos no previstos.

El Plan para la Dirección del Proyecto, estructurado con base en estos ocho dominios, constituye una herramienta fundamental para la formulación, validación y gestión técnica de alternativas de solución, permitiendo alinear los objetivos del proyecto con los principios de valor, adaptabilidad y participación promovidos por el estándar del PMI.

Normativa Sanitaria Sobre Calidad del Agua para Consumo Humano en Colombia

La calidad del agua destinada al consumo humano en Colombia está regulada por la Resolución 2115 de 2007, expedida por el entonces Ministerio de la Protección Social. Este marco normativo establece los valores máximos permisibles de los parámetros microbiológicos, fisicoquímicos y organolépticos que debe cumplir el agua para ser considerada potable, así como los instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia que deben adoptar los prestadores del servicio. Su propósito es proteger la salud de la población mediante el suministro

de agua segura, conforme a lo dispuesto en el Decreto 1575 de 2007, que define el sistema de control y vigilancia para la calidad del agua.

En términos microbiológicos, la resolución exige la ausencia total de *Escherichia coli* y coliformes totales en 100 mL de muestra, dada su relación directa con enfermedades transmitidas por el agua. En cuanto a los parámetros fisicoquímicos, se establecen límites para la turbiedad (máximo 2 Unidades Nefelométricas de Turbiedad, UNT), color aparente (máximo 15 Unidades de Platino-Cobalto), pH (entre 6.5 y 9.0), entre otros. Asimismo, se requiere un nivel mínimo de cloro residual libre de 0.3 mg/L en los puntos extremos de la red de distribución, con el fin de asegurar una protección continua frente a recontaminaciones. Las UNT constituyen una medida estandarizada que cuantifica la presencia de partículas en suspensión que dispersan la luz, siendo un parámetro esencial en el control de calidad del agua potable. Niveles elevados de turbidez pueden interferir con la eficacia de la desinfección y facilitar la supervivencia de microorganismos patógenos, por lo que el cumplimiento del límite normativo busca garantizar tanto la seguridad microbiológica como la aceptabilidad organoléptica del agua destinada al consumo humano.

La resolución también especifica los requisitos que debe cumplir el agua, como la ausencia de olores, sabores y colores anómalos, los cuales, aunque no necesariamente implican un riesgo directo para la salud, afectan la aceptabilidad del recurso y pueden indicar contaminación subyacente.

En el contexto del presente proyecto, la Resolución 2115 de 2007 constituye un referente obligatorio para la definición de los procesos de tratamiento, almacenamiento y desinfección del agua captada. La implementación de filtros con capacidad de remoción de partículas y materia orgánica, así como la aplicación de desinfectantes como hipoclorito de sodio, responde a la

necesidad de cumplir con los estándares sanitarios exigidos por esta regulación. De igual forma, el seguimiento de parámetros como la turbidez y el cloro residual, mediante pruebas de campo periódicas, permite verificar el cumplimiento de los requisitos legales y garantizar la inocuidad del recurso antes de su distribución y consumo.

Marco Contextual

El proyecto se desarrolla en el departamento de Chocó, Colombia, una de las regiones con mayor pluviometría del país, con un promedio anual de precipitación de 6,360 mm, alcanzando en algunos municipios hasta 10,486 mm, según los históricos del periodo 1991-2020 (IDEAM, 2021). Esta abundancia hídrica es constante durante todo el año, con una media de 218 días de lluvia en el departamento, aunque en ciertos municipios puede haber hasta 296 días de lluvia al año (IDEAM, 2021). Este factor es crucial para aprovechar el recurso hídrico disponible y justifica la implementación de sistemas de captación de agua lluvia, lo cual también contribuye a mitigar la escasez de agua potable en la región (Gonzales, s.f.; Herrera, 2010).

Las comunidades rurales del departamento del Chocó enfrentan serios problemas de salud pública asociados al consumo de agua contaminada, situación que se refleja en la alta prevalencia de enfermedades gastrointestinales provocadas por la falta de acceso a fuentes seguras de agua tratada. En respuesta a esta problemática, el proyecto propone no solo mejorar la calidad del agua disponible mediante la captación y potabilización de agua lluvia, sino también fortalecer las capacidades comunitarias a través de la participación activa en los procesos de instalación y mantenimiento de los sistemas, lo que contribuye a garantizar su sostenibilidad en el tiempo (Hernández, 2019). Diversos estudios señalan que la implementación de sistemas de captación de agua pluvial tiene el potencial de mejorar de manera significativa las condiciones de

salud en comunidades vulnerables, reduciendo la exposición a enfermedades de origen hídrico y mejorando el bienestar general de la población (Hernández, 2019).

El sistema propuesto está diseñado para ser de bajo costo, tanto en su instalación como en su mantenimiento, lo que es vital en una región con limitados recursos financieros. Según Flores (2018), los sistemas de captación de agua de lluvia pueden ser económicamente viables con una inversión inicial moderada y un retorno en el corto plazo, lo que asegura su sostenibilidad a nivel comunitario. Además, Acosta (2013) menciona que, en contextos de escasos recursos, como en Chocó, la captación de agua pluvial puede representar una solución autosostenible a largo plazo.

La implementación del proyecto debe cumplir con las normativas locales sobre la calidad del agua y los permisos necesarios para la instalación del sistema de captación. Las regulaciones sobre calidad del agua en Colombia requieren garantizar que el agua recogida sea apta para el consumo humano, lo que implica la adopción de tecnologías de filtrado y desinfección que cumplan con los estándares. El manual de la Gobernación de México (2018) provee directrices claras sobre cómo establecer sistemas de captación pluvial bajo estas normativas.

El aprovechamiento del agua de lluvia representa una alternativa que, además de responder a la problemática de escasez de agua potable, contribuye a la conservación de los recursos hídricos disponibles. De acuerdo con Solórzano (2019), los sistemas de captación de agua lluvia permiten disminuir la presión sobre las fuentes subterráneas y los sistemas de alcantarillado, promoviendo una solución ecológica y sostenible que se adapta a las condiciones locales. En la misma línea, Palacio (2010) destaca que estos sistemas permiten reducir el consumo de agua tratada y minimizar el impacto ambiental asociado a su producción y distribución, generando beneficios integrales tanto para las comunidades que los implementan como para la protección del medio ambiente.

Antecedentes

Rojas, Gallardo y Martínez (2012) abordan la instalación y suministro de un sistema de aguas lluvias, realizando un estudio exhaustivo sobre la calidad del agua obtenida. Llevan a cabo un muestreo del agua y ejecutan análisis de calidad de agua, basándose en la normativa para México en cuanto al consumo de agua. Los resultados revelan la presencia de diversos organismos bacterianos perjudiciales para la salud humana, así como bajas concentraciones de sólidos suspendidos en el agua captada. Se evidencia cómo el agua lluvia recolectada se convierte en una valiosa contribución al consumo no potable, representando una solución efectiva y sostenible desde el punto de vista hídrico.

El estudio de Acosta (2013) se enfoca en crear un sistema de recolección de agua de lluvia para uso industrial en Toluca, México. El autor define variables y condiciones, diseñando así un sistema para captar este tipo de agua. Además, calcula la cantidad de agua a recolectar y evalúa su calidad. Los resultados muestran que los costos de instalación de sistemas convencionales son asequibles, especialmente en áreas con recursos financieros limitados. El problema planteado destaca un ahorro del 10% en el consumo de agua, lo que representa un retorno de inversión en 5 años. La implementación del sistema en toda la planta industrial podría reducir en un 57% los costos anuales de consumo de agua. En este contexto, la implementación de un sistema de captación de agua de lluvia se presenta como una alternativa auto sostenible en condiciones favorables de pluviometría.

Correa (2014) propone el diseño de un sistema de captación y aprovechamiento de aguas lluvias en la cafetería de la Universidad Libre Bogotá, Colombia. Su enfoque se orienta hacia el ahorro de agua potable y la minimización de riesgos por inundaciones. Se plantean dos sistemas de captación con tanques de almacenamiento de 10 m³ y 5 m³ respectivamente, asegurando el

suministro de agua en épocas secas. La viabilidad del proyecto se sustenta en el retorno de inversión al tercer año después de la implementación, gracias al ahorro del recurso hídrico. La investigación resalta la comprensión de las condiciones de sequía y cómo los sistemas de almacenamiento pueden hacer frente a dichas situaciones sin comprometer la funcionalidad de los sistemas de captación de agua lluvia.

Chino, Velarde y Espinoza (2016) proponen la captación de agua de lluvia en la cobertura de viviendas rurales para consumo humano en la Comunidad de Vilca Maquera, Perú. Destacan la falta de abastecimiento de agua potable en la población, generando enfermedades gastrointestinales. La investigación, basada en una encuesta a 209 viviendas, revela que, para una familia de 4 integrantes, se obtiene un volumen de 73 m³ del recurso en un periodo anual, mediante una superficie de captación de aproximadamente 120 m². Esto confirma la viabilidad del proyecto al proporcionar agua para épocas de sequía, gracias a la construcción de cisternas de almacenamiento y sistemas de bombeo.

Flores (2015) se enfoca en el estudio de la prefactibilidad de un sistema de captación de agua pluvial en la Fundación KINAL en Guatemala. Realiza una revisión de las cantidades de agua gastadas por la institución, que atiende a unas 1600 personas diariamente, y analiza el espacio disponible en los techos de la institución. La propuesta de captación de agua pluvial se presenta como viable a través de estudios de mercado, técnico, administrativo, económico y financiero. Aunque la inversión inicial del sistema de captación es significativa, se vislumbra un retorno de la inversión en un periodo razonable. La implementación de sistemas de captación de agua pluvial en condiciones favorables se plantea como una alternativa para minimizar los consumos de agua destinados a limpieza y sanidad.

Jiménez (2020) propone el diseño de un sistema de captación de agua lluvias para uso doméstico, considerándolo como una alternativa para ahorrar agua potable. El sistema de aprovechamiento de aguas de lluvia se presenta como una opción para usos no potables, como desagües sanitarios, lavado de patios y ropa, entre otros. Los cálculos de volumen de agua indican que se pueden ahorrar litros de agua potable y reducir su consumo mediante la implementación de estos sistemas.

Jiménez (2020) a través de su publicación ofrece una alternativa de ahorro, destacando los sistemas de captación, recolección, bombeo y almacenamiento. Aunque no se abordan sistemas de filtración, este enfoque constituye una base para el diseño de propuestas.

En conjunto, estos enfoques resaltan la importancia de captar y utilizar agua de lluvia en comunidades sin acceso a agua potable. Sin embargo, la mayoría no aborda extensivamente el uso de sistemas de filtración para agua potable. El proyecto a desarrollar buscará establecer condiciones para garantizar la potabilidad en viviendas vulnerables que no posean los recursos para la adquisición de agua potable.

En una escuela rural de Karnataka, India, se instaló un sistema de captación de agua lluvia desde techos, conectado a un tanque subterráneo con capacidad para 58,000 litros. El sistema incluyó un componente de primera descarga y un filtro de malla para mejorar la calidad inicial del agua captada. Durante la operación, el sistema permitió recolectar aproximadamente 33,000 litros de agua, que fueron utilizados en actividades no potables como la limpieza de pisos, el lavado de manos y la irrigación de un humedal construido. Se implementó un protocolo de desinfección con hipoclorito de sodio, logrando reducir las bacterias coliformes a niveles seguros durante 30 días, aunque se observó un incremento posterior al agotarse el cloro residual. La calidad físico-química del agua recolectada cumplió con los estándares de agua para baño de la

India, siendo mejor que la del agua subterránea disponible en la escuela, que presentaba altos niveles de coliformes. Este caso demuestra la viabilidad técnica y económica de utilizar agua de lluvia recolectada para suplir parcialmente las necesidades hídricas en contextos rurales, siempre que se implementen medidas de tratamiento y mantenimiento adecuadas (Richards et al., 2021).

Diversas experiencias internacionales evidencian el potencial de los sistemas de captación para mejorar la sostenibilidad hídrica urbana. En Alemania, estos sistemas lograron reducir entre el 30 % y el 60 % del consumo de agua potable en viviendas, mientras que en Brasil se reportaron ahorros de hasta el 79 % en algunas ciudades del sudeste. En Egipto, los sistemas contribuyeron a disminuir el volumen de escorrentía en un 82 %, mitigando riesgos de inundación en áreas urbanas. Estudios en Corea del Sur y Estados Unidos mostraron que el uso de agua lluvia puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero hasta en un 52 % respecto a los sistemas públicos tradicionales. No obstante, en regiones como Sudáfrica y España, la viabilidad económica se ha visto limitada por los bajos costos del agua potable y los largos períodos de recuperación de la inversión. Los resultados sugieren que, aunque la rentabilidad económica varía según el contexto, los beneficios ambientales y sociales justifican el fomento de estos sistemas, especialmente en zonas con estrés hídrico y vulnerabilidad climática (Rodrigues et al., 2022).

En la revisión de 83 estudios internacionales sobre captación de agua lluvia, se identificó que la mayoría se ha centrado en resolver problemas técnicos relacionados con la eficiencia del sistema, el dimensionamiento del almacenamiento y el ahorro de agua. Sin embargo, pocos estudios consideran las barreras sociales, económicas y políticas que limitan su implementación a gran escala. Experiencias en Estados Unidos y Brasil muestran que políticas como incentivos fiscales y tarifas sociales pueden mejorar la adopción de sistemas descentralizados. En contraste,

la falta de políticas claras y el bajo costo del agua potable limitan su adopción en otras regiones. Además, se observa que la mayoría de los estudios asumen que todos los usuarios participarán en estos programas, ignorando las diferencias socioeconómicas y culturales que afectan la adopción real. Los autores concluyen que es necesario avanzar hacia modelos que integren componentes técnicos y sociales, considerando la gobernanza, los incentivos y las dinámicas comunitarias para lograr una adopción efectiva y sostenible de la captación de agua lluvia a nivel urbano y rural (Nandi & Gonela, 2022).

En la ciudad de Poznan, Polonia, se realizó un estudio en tres tanques subterráneos de gran capacidad (entre 60 m³ y 200 m³), que recolectaban agua de lluvia desde techos y áreas de estacionamiento. El monitoreo realizado durante un año reveló que, aunque la calidad físico-química del agua cumplía con los estándares para agua potable, la calidad microbiológica fue deficiente, con altas concentraciones de bacterias coliformes, psicrófilas y mesófilas, especialmente durante los meses de verano. El estudio también mostró que el agua almacenada presentaba propiedades corrosivas debido a su baja alcalinidad y pH variable, lo que sugiere la necesidad de tratamientos adicionales para evitar daños en las infraestructuras. Los investigadores recomendaron la implementación de etapas progresivas de tratamiento, comenzando con usos no potables restringidos, seguidos de usos no potables no restringidos, y finalmente, usos potables solo después de aplicar tratamientos avanzados y desarrollar un Plan de Seguridad del Agua (Mazurkiewicz et al., 2022).

En Asunción, Paraguay, se realizó una simulación basada en datos reales de lluvia y patrones de consumo doméstico para evaluar el desempeño técnico y económico de sistemas de captación de agua lluvia en viviendas. Los resultados mostraron que un tanque de 5000 litros permitiría recolectar entre el 65 % y el 80 % del agua de lluvia disponible, cubriendo hasta el 79

% de la demanda de agua no potable durante el año. Sin embargo, debido a los bajos costos del agua potable en la ciudad, los períodos de recuperación de la inversión superaron los 45 años, haciéndolos poco atractivos económicamente para los usuarios. La simulación evidenció que, en condiciones de precios del agua más elevados como los de otras ciudades sudamericanas, la viabilidad económica mejoraría sustancialmente. Además, los autores sugieren que la implementación masiva de estos sistemas podría contribuir a reducir el riesgo de inundaciones urbanas y que, por lo tanto, los gobiernos locales deberían considerar ofrecer subsidios o establecer normativas para fomentar su adopción como estrategia de gestión sostenible del agua urbana (Ortiz et al., 2022).

De acuerdo con Ortiz et al. (2022), la captación de agua de lluvia en zonas urbanas como Asunción puede contribuir significativamente a reducir el consumo de agua potable y a gestionar las aguas pluviales que generan inundaciones. Sin embargo, la viabilidad económica de estos sistemas depende del costo del agua suministrada por el operador público. En el caso de Asunción, los bajos precios del agua hacen que la recuperación de la inversión sea poco atractiva para los usuarios domésticos, con períodos de recuperación superiores a los 45 años. A pesar de esta limitación económica, los autores destacan que los sistemas de captación podrían ser promovidos por las administraciones públicas como una medida de adaptación urbana al cambio climático, ya que ayudan a mitigar los impactos de las lluvias intensas y reducen la presión sobre las redes de drenaje pluvial. La investigación subraya que, sin incentivos o regulaciones que obliguen su adopción, es poco probable que estos sistemas sean implementados masivamente solo por iniciativa privada (Ortiz et al., 2022).

Entre 2017 y 2020, en Arizona, Estados Unidos, se realizó un estudio comunitario en el que se recolectaron 595 muestras de agua de lluvia captada desde techos en zonas rurales y

urbanas. Los análisis detectaron doce contaminantes orgánicos, incluyendo pesticidas como atrazina, simazina y prometon, y compuestos industriales como nonilfenol y sustancias químicas utilizadas en la industria que pueden afectar la salud. El 28 % de las muestras superaron los niveles recomendados por las autoridades de salud ambiental de Estados Unidos en 2016, y todas superaron las recomendaciones actualizadas en 2022. Las concentraciones fueron mayores durante las lluvias en las zonas rurales. El estudio concluyó que esta agua puede representar un riesgo para el uso doméstico si no se trata correctamente. Por esta razón, es necesario informar a las comunidades, aplicar medidas de prevención y establecer controles para garantizar que el agua recolectada sea segura (Villagómez-Márquez et al., 2023).

En el Instituto Indio de Tecnología de Roorkee se diseñaron y probaron tres modelos de filtros de arena para tratar agua de lluvia recolectada desde techos. Los filtros, construidos con diferentes profundidades de arena, se evaluaron con agua de lluvia y agua con turbidez controlada. El filtro más profundo logró la mejor limpieza del agua, alcanzando niveles aceptables según las normas de calidad. También se comprobó que el agua filtrada cumplía con los parámetros básicos como pH, dureza y sólidos disueltos, adecuados para uso doméstico. El estudio concluyó que estos filtros son económicos, fáciles de construir con materiales locales y útiles para comunidades rurales que dependen del agua lluvia como fuente principal (Gupta et al., 2023).

En diversas regiones rurales de Asia, África y América Latina, se han implementado sistemas de captación de agua lluvia para uso doméstico. En Nepal, las comunidades han reportado mejoras en la salud y en la disponibilidad de agua, reduciendo enfermedades gastrointestinales. En Nigeria y Bangladesh, la implementación de estos sistemas ha permitido evitar el consumo de agua subterránea contaminada con arsénico. En Australia y Brasil,

programas gubernamentales han promovido el uso de cisternas, beneficiando a millones de personas. En México, iniciativas como Isla Urbana han demostrado que la captación de agua lluvia puede contribuir a mitigar la escasez y las inundaciones urbanas. Sin embargo, los estudios revisados evidencian que la calidad del agua recolectada depende de las condiciones locales, el material de los techos, el mantenimiento del sistema y la aplicación de medidas de tratamiento. Se recomienda el uso de dispositivos de primera descarga y filtros, así como el monitoreo periódico de parámetros clave para garantizar la seguridad del agua destinada al consumo humano (García-Ávila et al., 2023).

En cuatro ciudades de Pakistán (Islamabad, Lahore, Peshawar y Khanpur), se evaluó el desempeño de sistemas de captación de agua lluvia en viviendas con techos de 280 m² y jardines de 80 m². Los resultados mostraron que, en Islamabad, un tanque de 20 m³ permitió ahorrar hasta 126 m³ de agua al año y logró una confiabilidad del 80 % para satisfacer demandas combinadas de riego y descarga de inodoros. En Lahore, el mismo sistema permitió ahorrar hasta 119 kWh de energía anual, debido al alto consumo energético del bombeo de agua subterránea. En contraste, en Khanpur, con un clima desértico y baja precipitación, el sistema apenas alcanzó 23 m³ de ahorro anual y mostró una baja viabilidad económica con un BCR inferior a 1.0. El estudio identificó que el tamaño óptimo del tanque para maximizar los beneficios es de 5 m³ en la mayoría de los casos, especialmente cuando el agua se utiliza para riego y descarga de inodoros. Estos hallazgos sugieren que, aunque la captación de agua lluvia es técnicamente viable en diferentes contextos climáticos, su éxito económico depende del costo del agua y la energía, así como del apoyo institucional mediante políticas públicas y subsidios (Ali & Sang, 2023).

En la Universidad de Arquitectura y Tecnología de Xi'an, China, se desarrolló un estudio experimental en un sistema de captación de agua lluvia instalado en un edificio de 25 metros de

altura, que recolectaba agua desde un techo de concreto de 150 m². Durante 60 días de almacenamiento estático en temporada seca, se observó una disminución inicial de los contaminantes, seguida de una acumulación progresiva de nutrientes, materia orgánica y metales en el sedimento del tanque. El análisis reveló que las condiciones de bajo oxígeno en el fondo favorecieron la liberación de compuestos que deterioraron la calidad del agua, incluyendo amonio, hierro y manganeso. También se identificaron cambios en la comunidad microbiana que contribuyeron a la producción de compuestos responsables de olores. La investigación concluyó que los sistemas de captación deben ser optimizados para minimizar el tiempo de almacenamiento y controlar la acumulación de sedimentos, a fin de garantizar la seguridad y calidad del agua recolectada para usos no potables como el riego paisajístico (Gao et al., 2024a).

En un conjunto residencial de la Ciudad de México, donde viven alrededor de 40 mil familias, se propuso un sistema para recolectar y aprovechar el agua de lluvia. El estudio calculó que cada edificio, con techos de 400 metros cuadrados, podría recolectar hasta 426 mil litros de agua al año, suficiente para usarse en actividades como la limpieza, el riego y la descarga de inodoros. Se identificaron los mejores lugares para instalar estos sistemas y se propuso que funcionaran tanto por edificio como a nivel comunitario. El diseño incluye sensores que permiten controlar el uso del agua según la necesidad, almacenándola en tanques o enviándola a cisternas comunes o al subsuelo para recargar los acuíferos. La propuesta busca aprovechar mejor el agua y disminuir la presión sobre las fuentes subterráneas en zonas que enfrentan problemas de escasez (Ramos et al., 2024).

En Hannover, Alemania, se instaló un sistema para recolectar agua de lluvia desde los techos de un conjunto residencial, almacenándola en cisternas abiertas y estanques. Durante dos años se revisó la calidad del agua, encontrando variaciones en el oxígeno, el pH y la presencia de

bacterias que indican contaminación. En varias ocasiones se detectaron bacterias como *Escherichia coli* y *Salmonella* en niveles superiores a los recomendados para actividades recreativas. El estudio identificó que el contacto con esta agua, especialmente en zonas donde juegan niños, puede provocar enfermedades estomacales. Aunque el sistema ayuda a enfrentar el cambio climático en la ciudad, los investigadores advierten que es necesario tratar y monitorear el agua antes de permitir su uso en espacios públicos (Carpio-Vallejo et al., 2024).

En la ciudad de Jabalpur, India, se diseñó un sistema integral de captación de agua lluvia para la Gun Carriage Factory, una instalación militar con 16 edificios seleccionados, cuya superficie total de techos supera los 60,000 m². El sistema diseñado permite recolectar cerca de 60,000 m³ de agua al año, equivalente a un metro cúbico por metro cuadrado de techo. El diseño incluye cámaras de asentamiento dimensionadas para retener el agua captada durante los primeros 15 minutos de lluvias intensas, seguido de cámaras de filtración con capas de grava, arena y geotextil para mejorar la calidad del agua. Finalmente, el agua filtrada es inyectada al subsuelo a través de pozos de recarga con una capacidad de 72 m³ por día por pozo. La estrategia incluye la consolidación de sistemas compartidos entre edificios cercanos para optimizar costos y espacio. Este proyecto demuestra que es posible aplicar soluciones de recarga artificial de acuíferos a gran escala en instalaciones industriales y militares, contribuyendo a la sostenibilidad hídrica en regiones con estrés hídrico creciente (Naik et al., 2024).

En India, se han promovido programas para recolectar agua lluvia desde techos, ayudando a enfrentar la falta de agua en ciudades como Chennai, donde se instalaron más de 50 mil sistemas en viviendas. En África, países como Kenia y Etiopía usan estos sistemas a nivel comunitario para mejorar el acceso al agua. En Israel, la captación se combina con la recarga del subsuelo para recuperar reservas. En Pakistán, ciudades como Lahore y Karachi los utilizan para

reducir inundaciones y asegurar el suministro en épocas secas. Estos casos muestran que la captación de agua lluvia funciona en distintas regiones cuando se apoya con políticas, tratamiento y participación comunitaria (Lepcha et al., 2024).

En Xi'an, China, se compararon tres formas de almacenar agua lluvia recolectada desde techos: tanques abiertos, aireados y sellados. Los tanques sellados mostraron mejores resultados, aunque en todos se acumuló nitrato después de varios días, lo que puede afectar la calidad del agua. El estudio destaca que controlar el oxígeno en el almacenamiento ayuda a mantener el agua en mejores condiciones (Gao et al., 2024b).

En el contexto de Beijing, China, se evaluaron treinta estaciones meteorológicas a lo largo de cincuenta años, demostrando que las características del régimen de lluvias influyen de manera determinante en la efectividad de los sistemas de captación de agua lluvia. Las estaciones ubicadas en las áreas suburbanas exteriores mostraron mayores eficiencias de ahorro de agua y confiabilidad, mientras que las ubicadas en zonas montañosas y urbanas presentaron mejores desempeños en la captura de aguas pluviales para control de escorrentías. Se identificó que en zonas con lluvias más constantes y menores periodos secos, los sistemas requerían tanques de almacenamiento más pequeños para satisfacer la demanda. En contraste, en zonas más secas se requerían tanques de mayor capacidad para compensar los largos periodos sin lluvia. Estos resultados muestran que la variabilidad espacial de las precipitaciones debe ser considerada en el diseño e implementación de sistemas de captación, permitiendo adaptar las soluciones a las condiciones específicas de cada territorio (Ali et al., 2025a).

En distintas regiones del mundo se han identificado bacterias peligrosas y resistentes a medicamentos en el agua de lluvia recolectada. En Sudáfrica y la India se encontraron bacterias como *Escherichia coli* resistentes a varios antibióticos, lo que representa un riesgo para la salud.

En Australia también se detectaron microorganismos que pueden causar enfermedades. En Estados Unidos, se observaron diferencias en la calidad del agua recolectada según el clima y el uso del suelo. Estos casos muestran la importancia de adaptar los sistemas de recolección y tratamiento a cada lugar, incluyendo el uso de filtros, limpieza de los tanques y desinfección para asegurar que el agua sea segura (Anindita et al., 2025).

En ciudades como Florianópolis, en Brasil, estos sistemas han logrado cubrir entre el 22% y el 64% del agua que necesita una vivienda, mientras que en Dhaka, Bangladesh, lograron ahorros anuales de hasta 550 mil litros por hogar. En Australia y Alemania, algunos sistemas han alcanzado una confiabilidad del 100 %, dependiendo del tamaño del tanque. En ciudades como Portland y Nueva York, estos sistemas también han ayudado a reducir las inundaciones. Estos resultados demuestran que, bien diseñados, los sistemas de captación son útiles en distintos climas y ciudades (Ali et al., 2025b).

En Australia, un sistema instalado en un edificio universitario demostró que es posible producir agua potable usando un filtro sencillo hecho de grava, carbón y arena. Este sistema logró eliminar hasta el 75 % de los contaminantes del agua de lluvia y produjo 60 litros por hora de agua potable, aunque se detectaron pequeñas cantidades de níquel que no representan un riesgo grave. Este estudio muestra que las tecnologías simples y económicas pueden ser efectivas para comunidades rurales (Ross et al., 2025).

En Japón, en la Universidad de Nagaoka, se probó un sistema que combina un canal de esponjas y una membrana filtrante que funciona por gravedad, junto con el uso de cloro. Este sistema mejoró la calidad del agua de lluvia, eliminando suciedad y microorganismos. Aunque funcionó bien, el estudio advirtió que a largo plazo la membrana puede taparse por la

acumulación de bacterias, por lo que es necesario hacer mantenimiento y adaptarlo a condiciones más exigentes como las de los países en desarrollo (Miwa et al., 2025).

En Yakarta, Indonesia, se probó un modelo que combina tanques individuales y un tanque comunal para recolectar y almacenar agua de lluvia. Este sistema logró cubrir entre el 40 % y el 73 % de la demanda de agua de la comunidad y ayudó a reducir el riesgo de inundaciones al canalizar el exceso de agua hacia el subsuelo para recargar los acuíferos. Este modelo demostró ser efectivo y fácil de adaptar a otras ciudades con problemas similares de agua y drenaje (Suprapti et al., 2025).

Metodología

La metodología del presente trabajo de grado se estructura en tres fases secuenciales, formuladas para abordar de manera progresiva el diseño de un sistema de captación y distribución de agua lluvia potabilizada. Estas fases responden a objetivos específicos que guían la recopilación de información, el análisis técnico y la planificación del proyecto, en coherencia con los dominios de desempeño establecidos por el Estándar para la Dirección de Proyectos del PMI (2021). La primera fase contempla la caracterización del contexto ambiental, social y económico de la zona de intervención; la segunda desarrolla la evaluación técnica y económica de alternativas tecnológicas viables; y la tercera consolida la formulación del Plan para la Dirección del Proyecto, integrando componentes clave como el alcance, cronograma, presupuesto, gestión de interesados, riesgos y entregables. Esta estructura metodológica permite garantizar la pertinencia técnica de la solución, su sostenibilidad operativa y su alineación con buenas prácticas de dirección de proyectos.

Tabla 1

Metodología de Trabajo

Fase	Objetivo específico	Actividades
Fase 1: Caracterización del Contexto Ambiental, Social y Económico	Identificar las condiciones ambientales, sociales y económicas de las viviendas unifamiliares en Chocó, mediante un proceso de levantamiento de información gestionado bajo los lineamientos de la guía del PMBOK®.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recolección y análisis de información ambiental mediante datos históricos de precipitación y clima del IDEAM para contextualizar la disponibilidad del recurso hídrico. 2. Caracterización social mediante el registro de interesados para documentar actores, necesidades y expectativas. 3. Caracterización económica mediante la revisión de información secundaria del DANE y fuentes locales sobre condiciones socioeconómicas, acceso y costo del agua. 4. Consulta y análisis de planes de desarrollo, ASIS y documentos locales para contextualizar las condiciones sociales, económicas y de acceso al agua en el área de estudio.
Fase 2: Evaluación Técnica y Económica de	Evaluar la viabilidad técnica y económica de las alternativas tecnológicas para la captación, almacenamiento,	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificación y descripción de alternativas tecnológicas para los componentes del sistema de captación, almacenamiento, potabilización y distribución de agua lluvia. 2. Estimación de los costos asociados a cada alternativa utilizando consulta a proveedores

Alternativas Tecnológicas	potabilización y distribución de agua lluvia, aplicando Obuenas prácticas de análisis de alternativas y gestión de costos, enmarcadas en el Dominio de Desempeño de la Planificación del Estándar para la Dirección de Proyectos del PMI.	<ol style="list-style-type: none"> 3. Definición de criterios técnicos de evaluación como capacidad de captación, durabilidad de los componentes, facilidad de instalación, mantenimiento, costos de instalación, eficacia de la filtración y eficacia de la potabilización. 4. Aplicación del análisis de alternativas mediante una matriz comparativa, considerando criterios técnicos. 5. Elaboración de un flujo de caja proyectado que permita visualizar los costos de inversión, operación y mantenimiento a lo largo del ciclo de vida del sistema. 6. Aplicación de indicadores financieros: Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y la Relación Costo-Beneficio (RCB). 7. Selección de la alternativa más viable basada en el resultado del análisis técnico y económico.
Fase 3: Formulación del Plan para la Dirección del Proyecto	Elaborar el Plan para la Dirección del Proyecto del sistema de agua lluvia potabilizada, integrando los dominios de desempeño del Estándar para la Dirección de Proyectos del PMI	<ol style="list-style-type: none"> 1. Definir el enfoque de desarrollo del proyecto y las fases del proyecto según el dominio de enfoque de desarrollo y ciclo de vida. 2. Formular el alcance, cronograma y presupuesto aplicando el dominio de planificación. 3. Identificar y clasificar a los interesados conforme al dominio de los interesados para definir estrategias de participación. 4. Asignar roles y funciones del equipo según el dominio del equipo, considerando capacidades técnicas y contexto. 5. Establecer los entregables y criterios de aceptación bajo el dominio de entrega. 6. Integrar los componentes del plan aplicando el dominio del trabajo del proyecto. 7. Registrar y analizar riesgos aplicando el dominio de la incertidumbre, con estrategias de respuesta y monitoreo. 8. Definir indicadores básicos para evaluar el plan según el dominio de medición del desempeño.

Nota. Elaboración propia.

Fase 1: Caracterización del Contexto Ambiental, Social y Económico

En esta fase de caracterización del contexto ambiental, social y económico, la metodología se orienta por los lineamientos de la guía del PMBOK® Séptima Edición, que establecen prácticas para asegurar que las decisiones del proyecto se basen en las condiciones reales del entorno. Esta etapa corresponde al diagnóstico inicial y tiene como propósito reunir información confiable y actualizada sobre las viviendas unifamiliares en Chocó, para comprender el contexto en el que se plantea implementar el sistema de captación y distribución de agua lluvia.

En primer lugar, se aplica el Dominio de Desempeño de los Interesados, que orienta la identificación, análisis y documentación de las partes interesadas y sus necesidades mediante el

registro de interesados, una herramienta recomendada por el PMI (2021). Esta actividad permitirá reconocer actores clave como comunidades locales, líderes comunitarios y autoridades, con el fin de comprender sus expectativas, niveles de influencia y condiciones de aceptación del sistema propuesto.

De manera complementaria, el proceso se enmarca en el Dominio de Desempeño de la Planificación, que orienta la recopilación y gestión de información contextual como insumo para la toma de decisiones estratégicas, asegurando que el proyecto se adapte a las características del entorno (PMI, 2021). En este marco, se realizará la recolección y análisis de información secundaria proveniente del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), incluyendo datos históricos de precipitación, temperatura y variabilidad climática. Esta información permitirá contextualizar la disponibilidad del recurso hídrico y dimensionar técnicamente el sistema de captación de agua lluvia.

Finalmente, se aplican las prácticas de gestión del conocimiento, que incluyen el uso de métodos de recopilación y análisis documental para sustentar las decisiones técnicas y estratégicas del proyecto (PMI, 2021). Estas prácticas permiten organizar la información disponible de fuentes oficiales como el IDEAM y el DANE, así como la consulta de planes de desarrollo, ASIS y documentos locales, facilitando un diagnóstico integral del entorno. Para la caracterización económica, se revisarán fuentes secundarias que proporcionen información sobre las condiciones socioeconómicas de las viviendas, incluyendo ingresos promedio, acceso a servicios básicos, tarifas de agua y costos asociados a la adquisición del recurso. Esta información permitirá establecer criterios de accesibilidad y sostenibilidad económica para la implementación del sistema propuesto.

Fase 2: Evaluación Técnica y Económica de Alternativas Tecnológicas

En la fase de evaluación técnica y económica de alternativas tecnológicas, la metodología se fundamenta en las recomendaciones de la Guía del PMBOK® Séptima Edición, particularmente en las prácticas descritas en el Dominio de Desempeño de la Planificación, que orienta la definición, análisis y selección de opciones que permitan maximizar el valor del proyecto en función de las condiciones técnicas, económicas y del entorno (PMI, 2021). Esta fase tiene como propósito identificar y evaluar comparativamente diferentes soluciones tecnológicas para la captación, almacenamiento, potabilización y distribución de agua lluvia, con el fin de seleccionar la alternativa más viable para su implementación en viviendas unifamiliares en Chocó.

La metodología inicia con la identificación y descripción de alternativas tecnológicas disponibles en el mercado, considerando componentes como sistemas de captación en techos, canaletas, filtros de primera descarga, tanques de almacenamiento, sistemas de potabilización mediante filtración y desinfección, y mecanismos de distribución domiciliaria. Esta actividad se basa en la recopilación de información técnica a partir de fichas de producto, literatura especializada y consultas a proveedores o expertos, siguiendo las prácticas de recopilación y análisis de datos recomendadas por el PMI (2021).

De manera complementaria, se realiza la estimación de costos asociados a cada alternativa, incluyendo inversión inicial, operación y mantenimiento, mediante la consulta de precios de mercado y cotizaciones a proveedores. Esta actividad se apoya en los métodos de estimación de costos recomendados por el PMI (2021), los cuales permiten proyectar el comportamiento financiero del sistema a lo largo de su ciclo de vida.

Posteriormente, se definen criterios técnicos de evaluación que permitan valorar el desempeño de cada alternativa en aspectos como capacidad de captación, durabilidad de los componentes, facilidad de instalación, mantenimiento, costos de instalación, eficacia de la filtración y eficacia de la potabilización. Estos criterios, enmarcados en las buenas prácticas de análisis de alternativas de la guía del PMBOK®, orientan la construcción de una matriz comparativa que facilita la evaluación técnica de cada opción (PMI, 2021).

Con base a la información de estimación de costos, se elabora un flujo de caja proyectado que permita visualizar los costos y beneficios esperados en el tiempo, lo que constituye un insumo fundamental para la evaluación económica. A partir del flujo de caja, se calculan indicadores financieros como el Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y la Relación Costo-Beneficio (RCB), siguiendo las buenas prácticas de análisis económico recomendadas en la literatura técnica y alineadas con el enfoque de gestión del valor propuesto por la guía del PMBOK® (PMI, 2021).

Finalmente, la selección de la alternativa tecnológica se realiza considerando los resultados del análisis técnico y económico, priorizando aquella que ofrezca el mejor balance entre desempeño, costo y sostenibilidad en el contexto específico del área de intervención. Esta decisión será documentada y validada como parte del plan del proyecto, en coherencia con el principio de toma de decisiones informadas y basadas en valor, establecido por el PMI (2021).

En el contexto del presente proyecto, estos dominios de desempeño del PMI permiten estructurar una propuesta metodológica que garantice la viabilidad técnica y económica del sistema de captación y distribución de agua lluvia. El dominio de los interesados orienta la identificación y gestión de las expectativas de la comunidad y de los actores clave del entorno, facilitando la recopilación de información social, económica y ambiental necesaria para la

formulación del proyecto. La planificación facilita el análisis de alternativas tecnológicas, el cálculo de costos y la definición de recursos necesarios. El dominio del trabajo del proyecto orienta el diseño de las actividades que permitan implementar el sistema de manera organizada y controlada, mientras que el dominio de la incertidumbre guía la identificación de los riesgos asociados a las condiciones del contexto, permitiendo definir estrategias de mitigación que contribuyan a la sostenibilidad del sistema propuesto.

Fase 3: Formulación del Plan para la Dirección del Proyecto

En la fase de formulación del Plan para la Dirección del Proyecto, la metodología se estructura conforme a los dominios de desempeño establecidos en el Estándar para la Dirección de Proyectos del PMI (2021), los cuales orientan la gestión del proyecto desde una visión integral, basada en principios adaptativos, enfoque de valor y toma de decisiones contextualizada.

El dominio del enfoque de desarrollo y ciclo de vida se implementa mediante la elección de un enfoque predictivo, adecuado para proyectos de infraestructura básica con fases claramente definidas y requisitos técnicos estables. En este caso, el Plan para la Dirección del Proyecto tiene como propósito estructurar la implementación de un sistema de captación, almacenamiento, potabilización y distribución de agua lluvia, orientado a una vivienda promedio en zonas rurales o periurbanas del departamento del Chocó. El ciclo de vida adoptado se organiza en fases secuenciales: planificación, validación e implementación simulada, desarrolladas bajo una lógica estructurada paso a paso que permite formular el diseño del sistema, consolidar sus componentes y proyectar su ejecución, sin necesidad de iteraciones o ajustes durante el proceso.

Bajo el dominio de la planificación, se desarrolla la definición detallada del alcance del proyecto, estableciendo los objetivos, entregables y restricciones. A partir de esta base, se

estructura el cronograma del proyecto, organizando las actividades en una secuencia lógica e identificando los hitos necesarios para su control. Posteriormente, se formula el diseño técnico del sistema, especificando sus componentes, materiales y dimensiones. Este diseño, junto con el cronograma, sirve como insumo para estimar los costos mediante la planificación de la gestión de costos, así como para asignar los recursos técnicos, logísticos y humanos requeridos para su implementación teórica.

En correspondencia con el dominio de los interesados, se identifican los actores clave del proyecto, incluyendo autoridades locales, comunidades beneficiarias, entidades técnicas y potenciales aliados. Se analizan sus niveles de influencia e interés, y se formulan estrategias para su involucramiento progresivo a través de mecanismos de participación, diálogo y consulta. Adicionalmente, se estructura un plan de comunicaciones que especifica los canales, formatos y frecuencias para garantizar la circulación efectiva de la información entre las partes interesadas, favoreciendo la alineación de expectativas.

Desde la perspectiva del dominio del equipo, se definen los perfiles y funciones requeridos para llevar a cabo las distintas actividades del proyecto, priorizando la complementariedad técnica y el conocimiento del contexto local. Se asignan responsabilidades específicas que permiten articular los esfuerzos de diseño, planificación, validación técnica, coordinación institucional y acompañamiento comunitario, asegurando la cohesión y colaboración del grupo de trabajo.

El dominio de la entrega se considera en la definición de los entregables del proyecto, asegurando que estos respondan a los requerimientos funcionales y de sostenibilidad establecidos desde la planificación. Aunque el sistema no se implementa físicamente, se simula su entrega

considerando criterios de adecuación al contexto, facilidad de operación y mantenimiento, y pertinencia para los beneficiarios, generando valor desde el diseño.

En el marco del dominio del trabajo del proyecto, se integran de manera operativa todos los elementos del plan, estructurando su ejecución desde una lógica funcional que articula las condiciones técnicas, sociales y normativas del entorno. Se documentan las interrelaciones entre las actividades y se establecen mecanismos de control, seguimiento y toma de decisiones que permitan anticipar desviaciones y adoptar medidas correctivas oportunas.

Desde el dominio de la medición del desempeño, se establecen criterios básicos para valorar la calidad del plan formulado, incluyendo la coherencia entre objetivos, actividades y resultados esperados, la trazabilidad de las decisiones técnicas, y la alineación con los estándares del PMI. Se plantean mecanismos de revisión y validación interna del plan, que permiten verificar el cumplimiento metodológico y la pertinencia de las soluciones planteadas.

Finalmente, en concordancia con el dominio de la incertidumbre, se realiza una identificación preliminar de riesgos asociados a la captación, almacenamiento, potabilización y distribución del agua lluvia, considerando factores técnicos, sociales, ambientales, legales y financieros. Estos riesgos se registran y clasifican, se analizan en términos de probabilidad e impacto, y se plantean estrategias generales de respuesta para aquellos que puedan comprometer los resultados del proyecto. Este análisis permite mantener la capacidad adaptativa del plan frente a escenarios variables o condiciones imprevistas.

El resultado de este proceso es el Plan para la Dirección del Proyecto, que servirá como documento de referencia metodológica para orientar, desde la planificación, una posible implementación futura del sistema. Este plan garantiza la coherencia entre las distintas áreas de

conocimiento y permite simular de forma estructurada el proceso de dirección de proyectos, conforme a las mejores prácticas definidas por el PMI (2021).

En el contexto del diseño de este sistema para viviendas unifamiliares en Chocó, el Plan para la Dirección del Proyecto representa un marco de gestión integral que articula las condiciones técnicas, sociales y económicas del entorno, y que permite organizar las actividades necesarias para asegurar que la solución propuesta sea viable, sostenible y alineada con las necesidades de la comunidad beneficiaria.

Tabla 2

Desarrollo del Plan para la Dirección Basado en Dominios de Desempeño

Dominio	Componente a desarrollar
	Justificación del enfoque predictivo: se adopta por la estabilidad técnica del sistema y la posibilidad de seguir una secuencia definida sin iteraciones.
Dominio de Enfoque de Desarrollo y Ciclo de Vida	<p>Estructuración del ciclo de vida: incluye las fases de planificación, diseño técnico, validación e implementación simulada.</p> <p>Relación entre fases y entregables: cada fase produce un entregable: plan, diseño, validación técnica y modelo integrado.</p> <p>Criterios de transición entre fases: se avanza cuando los entregables son completados y validados internamente.</p> <p>Definición del alcance: objetivos, entregables, restricciones y exclusiones del proyecto.</p> <p>Estructuración del cronograma: actividades ordenadas lógicamente, duración estimada, hitos clave.</p>
Dominio de Planificación	<p>Presupuesto estimado: estimación de costos por componentes (materiales, diseño, formulación).</p> <p>Asignación de recursos: humanos (roles técnicos y de gestión), físicos y logísticos.</p> <p>Revisión iterativa del plan: establecimiento de revisiones parciales o secuenciales para ajustar el plan conforme avanza la formulación.</p> <p>Identificación y categorización: listado de interesados y análisis de influencia e interés.</p>
Dominio de los Interesados	<p>Estrategias de involucramiento: niveles de participación (informar, consultar, colaborar).</p> <p>Plan de comunicaciones: definición de canales, frecuencias y formatos de intercambio de información.</p> <p>Gestión de expectativas: mecanismos para alinear las necesidades de los actores con el alcance del proyecto. Mecanismos de retroalimentación.</p> <p>Asignación de roles y funciones: definición operativa de tareas según competencias.</p>
Dominio del Equipo	<p>Perfil técnico del equipo: identificación de capacidades requeridas (por ejemplo, hidráulica, ambiental, comunitaria).</p> <p>Colaboración y liderazgo: esquema de coordinación interna.</p>

	Necesidades de fortalecimiento: requerimientos de formación básica o acompañamiento externo
	Lista de entregables: planos, diseño técnico, matriz de riesgos, cronograma, presupuesto.
Dominio de Entrega	Criterios de aceptación: criterios funcionales, técnicos y de pertinencia social.
	Mecanismos de validación: procedimientos para validar los entregables simulados.
	Vinculación con las necesidades del contexto: justificación de cómo cada entregable aporta a la solución propuesta.
	Secuencia de actividades: desarrollo lógico del trabajo desde la planificación hasta la validación.
Dominio del Trabajo del Proyecto	Vinculación de componentes: integración de alcance, tiempo, costos, recursos, calidad y riesgos.
	Trazabilidad del trabajo: mapeo de relaciones entre actividades y entregables.
	Control operativo del avance: mecanismos de revisión interna del flujo de trabajo y coordinación técnica.
	Registro de riesgos: descripción, causa, consecuencia y categoría.
Dominio de Incertidumbre	Análisis cualitativo: probabilidad e impacto estimados.
	Estrategias de respuesta: acciones de mitigación, transferencia o aprovechamiento.
	Plan de seguimiento: responsables, momentos de actualización, señales de alerta.
Dominio de Medición del Desempeño	Indicadores clave: coherencia entre objetivos y resultados, grado de cumplimiento del cronograma, calidad de los entregables.
	Criterios de evaluación: criterios técnicos y metodológicos.
	Revisión del plan: momentos definidos para validar la estructura del plan.

Nota. Elaboración propia.

Resultados

Fase 1: Caracterización del Contexto Ambiental, Social y Económico

Recolección y Análisis de Información Ambiental a partir de Datos del IDEAM

Precipitaciones. La precipitación se define como la caída de partículas de agua, en estado líquido o sólido, que se originan en las nubes y alcanzan la superficie terrestre. Su medición se expresa en milímetros (mm), equivalentes a un litro de agua por metro cuadrado. Esta variable permite conocer el volumen de agua que cae en una superficie durante un periodo determinado, y es fundamental para analizar el comportamiento hidrológico y climático de un territorio (IDEAM, 2017).

Colombia presenta una gran diversidad en sus patrones de precipitación debido a factores como su ubicación ecuatorial, la influencia de la Zona de Confluencia Intertropical, las bajas presiones en el Pacífico y en la Amazonia, y fenómenos interanuales como El Niño y La Niña. Estas condiciones generan una alta variabilidad, con zonas que reciben menos de 1.000 mm anuales y otras que superan los 10.000 mm. La combinación de factores locales y globales determina el régimen de lluvias en cada región del país (IDEAM, 2017).

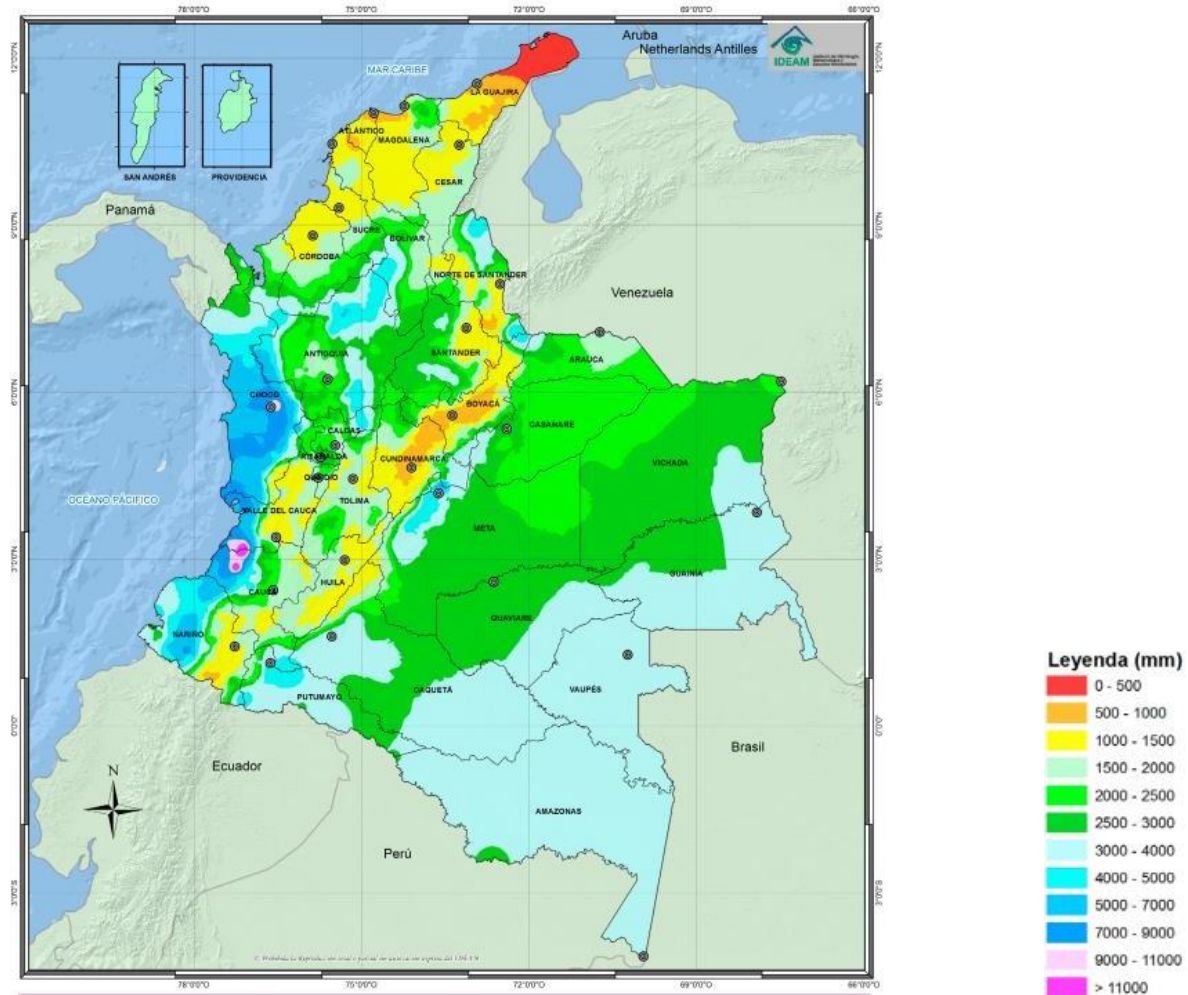
La región Pacífica es la zona más lluviosa del país y una de las más lluviosas del mundo. Los sectores norte y central presentan promedios anuales entre 8.000 y 10.000 mm, y se han registrado valores superiores a 12.000 mm en algunos años. La lluvia se distribuye de manera continua durante el año, sin una estacionalidad marcada. En cambio, el extremo sur presenta una reducción relativa de las lluvias entre agosto y noviembre, especialmente en el litoral (IDEAM, 2017).

El departamento del Chocó, ubicado en la región Pacífica, concentra los niveles más altos de precipitación en Colombia. Las condiciones atmosféricas y la cercanía al océano explican la ocurrencia de lluvias frecuentes e intensas (IDEAM, 2017). El departamento del Chocó se caracteriza por su alta pluviometría, registrando precipitaciones anuales que superan los 7,000 mm, lo que lo posiciona como una de las zonas más lluviosas del país. Este recurso hídrico, disponible durante la mayor parte del año, tiene un gran potencial para su aprovechamiento mediante sistemas de captación de agua lluvia, especialmente en comunidades rurales con limitado acceso a fuentes tratadas (IDEAM, 2021).

La representación espacial de la precipitación mediante isoyetas facilita la identificación de las zonas con mayores y menores volúmenes de lluvia en el territorio nacional. A través del siguiente mapa, es posible visualizar el comportamiento promedio anual de la precipitación en Colombia, lo cual permite comprender la distribución geográfica del recurso hídrico y sus implicaciones para la planificación ambiental y el diseño de sistemas de aprovechamiento local (IDEAM, 2017).

Figura 1

Mapa Precipitación Promedio Total Anual en Colombia



Nota. Adaptado de Atlas climatológico de Colombia, por IDEAM, 2017, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Precipitación media total anual promedio multianual 1981-2010.

En la imagen presentada, correspondiente al periodo 1981–2010, se observa que el departamento del Chocó registra precipitaciones anuales que varían entre los 3.000 mm y los 11.000 mm. Esta representación cartográfica, basada en isoyetas, permite identificar gráficamente las zonas con mayor intensidad de lluvia en la región, constituyéndose en una herramienta útil para el análisis espacial del régimen hídrico. A partir de esta distribución

general, se detallará a continuación el comportamiento específico de la precipitación en las estaciones meteorológicas del departamento, utilizando los promedios de la normal climatológica 1991–2020 registrados por el IDEAM (2017).

A continuación, se presenta la información correspondiente a 31 estaciones meteorológicas ubicadas en el departamento del Chocó, utilizada para el análisis del régimen de precipitación. Los datos fueron obtenidos a partir de la normal climatológica estándar para el periodo 1991–2020, según registros del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2025). Para cada estación se incluyen: la precipitación mensual mínima y mensual máxima, que reflejan los valores extremos registrados en promedio durante el año; el promedio mensual de precipitación, como indicador representativo del comportamiento medio; y la precipitación anual total, que corresponde a la suma de las medias mensuales. Todas las cantidades se expresan en milímetros (mm):

Tabla 3

Precipitaciones anuales en el Chocó

NOMBRE ESTACION	MUNICIPIO	MENOR MENSUAL	MAYOR MENSUAL	PROMEDIO MENSUAL	CANTIDAD ANUAL
Acandí	Acandí	66,4	362,3	248,4	2981,3
Pie de Pato - AUT	Alto Baudó (Pie De Pato)	390,8	621,4	535,3	6423,3
Panamericana	Bahía Solano (Mutis)	170,0	832,7	478,1	5736,8
Bellavista	Bojayá (Bellavista)	272,1	560,1	441,7	5300,1
Odogado	Bojayá (Bellavista)	208,9	528,4	396,3	4755,1
Cértegui	Cértegui	644,6	983,2	791,5	9498,2
La Vuelta	Cértegui	544,4	889,6	740,1	8881,5
Managrú	El Cantón del San Pablo (Managrú)	422,3	637,5	541,2	6494,2
Carmen de Atrato	El Carmen	121,1	340,7	238,5	2862,1
El Pinon	El Carmen	360,2	849,7	573,2	6878,8
Palestina	El Litoral del San Juan (Docordó)	339,7	812,7	595,3	7143,4
Istmina	Istmina	595,1	776,4	654,8	7857,7

Pie de Pepe	Istmina	464,8	618,4	539,1	6469,1
Lloró	Lloró	559,4	851,5	731,2	8774,6
Alto del Buey	Medio Atrato (Beté)	342,8	547,8	474,7	5696,2
Bete	Medio Atrato (Beté)	387,6	775,5	618,2	7418,6
El Buey	Medio Atrato (Beté)	293,3	671,6	520,6	6247,6
Andagoya	Medio San Juan	605,4	823,3	686,1	8233,4
Bebedo	Medio San Juan	598,1	839,2	723,7	8684,5
Noanama	Medio San Juan	377,4	668,7	527,2	6326,6
Novita	Nóvita	629,5	925,8	777,4	9329,3
Aeropuerto El Caraño	Quibdó	487,3	867,4	679,7	8156,9
Tagachi	Quibdó	420,0	800,2	654,0	7848,6
Tutunendo	Quibdó	661,4	991,5	873,8	10486,0
Paimado	Rio Quito (Paimadó)	527,8	688,0	587,0	7044,1
San Isidro	Rio Quito (Paimadó)	460,0	763,1	583,8	7005,6
Riosucio	Riosucio	49,9	283,8	194,9	2339,2
Valencia La Divisa	San José del Palmar	264,9	528,3	377,5	4530,0
Tanela	Unguía	64,1	376,3	234,8	2817,6
Titumate	Unguía	48,6	355,4	239,6	2874,7
Unguía - AUT	Unguía	31,9	302,2	184,5	2213,8

Nota. Los valores presentados corresponden a la precipitación mensual mínima, mensual máxima, promedio mensual y total anual (en mm) registrados en 31 estaciones meteorológicas del departamento del Chocó. La información se basa en los promedios de la normal climatológica estándar para el periodo 1991–2020. Fuente: IDEAM (2025).

Con base en los registros históricos de precipitación correspondientes a 31 estaciones meteorológicas distribuidas en el departamento del Chocó para el periodo 1991–2020, es posible caracterizar con mayor precisión el comportamiento pluviométrico por municipio. Esta información, obtenida a partir de la normal climatológica estándar del IDEAM (2025), permite evidenciar la diversidad de condiciones hídricas en los distintos territorios del departamento y sirve como insumo técnico para el diseño de estrategias de captación de agua lluvia adaptadas a cada contexto local.

El municipio de Quibdó, capital del departamento, presenta un comportamiento altamente lluvioso. En él se ubican estaciones como Tutunendo, Aeropuerto El Caraño y Tagachí, que

registran volúmenes anuales de 10.486 mm, 8.156,9 mm y 7.848,6 mm, respectivamente. En particular, Tutunendo destaca como la estación con mayor precipitación del departamento y una de las más lluviosas a nivel nacional, con un promedio mensual de 873,8 mm y valores máximos que superan los 990 mm en un solo mes. Este comportamiento refleja una distribución prácticamente constante de lluvias a lo largo del año, sin una estación seca definida, lo cual favorece el desarrollo de sistemas de captación de agua con recarga continua y estable.

En municipios como Istmina y Medio San Juan, también se observa una alta pluviosidad. En Istmina, las estaciones Istmina y Pie de Pepe reportan totales anuales de 7.857,7 mm y 6.469,1 mm, respectivamente, con promedios mensuales superiores a los 650 mm. Por su parte, en Medio San Juan, estaciones como Andagoya, Bebedó y Noanamá registran volúmenes que oscilan entre 6.300 mm y 8.600 mm al año, con promedios mensuales también elevados, especialmente en Andagoya (686,1 mm) y Bebedó (723,7 mm). Estos datos confirman que la cuenca del río San Juan presenta condiciones altamente favorables para la captación pluvial, en razón de su elevada frecuencia e intensidad de lluvias.

El municipio de Nóvita también se destaca por su alta precipitación, alcanzando un total anual de 9.329,3 mm, con un promedio mensual de 777,4 mm, lo que evidencia una disponibilidad hídrica significativa durante todo el año. De manera similar, los municipios de Cértegui y San Pablo presentan registros muy elevados, especialmente en las estaciones Cértegui (9.498,2 mm) y La Vuelta (8.881,5 mm), con promedios mensuales superiores a 700 mm. Esta zona central del Chocó, que se extiende a lo largo del valle del Atrato, representa un corredor hídrico de alta intensidad, con condiciones óptimas para aprovechar el recurso mediante tecnologías de captación domiciliaria.

En el municipio de Bojayá, tanto las estaciones de Bellavista como Opogadó muestran también una elevada precipitación, con promedios anuales de 5.300,1 mm y 4.755,1 mm, respectivamente. Aunque estos valores se encuentran por debajo de los máximos del departamento, siguen siendo significativamente altos frente al promedio nacional. Igualmente, en El Carmen del Atrato, la estación El Piñón alcanza los 6.878,8 mm, lo que contrasta con los valores menores observados en la estación Carmen de Atrato (2.862,1 mm), lo cual sugiere una variación importante dentro del mismo municipio, posiblemente explicada por diferencias de altitud y relieve.

En los municipios del norte, como Unguía, Acandí y Riosucio, se evidencian los valores más bajos dentro del conjunto analizado. Estaciones como Unguía - AUT y Titumaté reportan precipitaciones anuales de 2.213,8 mm y 2.874,7 mm, con promedios mensuales que no superan los 240 mm. Estos municipios muestran una menor frecuencia e intensidad de lluvias, posiblemente asociadas a su posición geográfica más alejada de la zona de influencia directa de los vientos húmedos del Pacífico. Aunque la precipitación sigue siendo considerable en comparación con otras regiones del país, la mayor estacionalidad de las lluvias en esta zona norte requiere considerar mayores capacidades de almacenamiento en los sistemas de captación.

El análisis también permite observar que municipios como Bahía Solano, Alto Baudó, Lloró, El Litoral del San Juan y Medio Atrato se ubican en un rango intermedio a alto de pluviosidad. Por ejemplo, Lloró registra 8.774,6 mm anuales, con promedios mensuales cercanos a los 731 mm, lo cual refuerza su reconocimiento como uno de los municipios más lluviosos del mundo. En el caso de Palestina, en El Litoral del San Juan, el total anual asciende a 7.143,4 mm, también con una distribución homogénea de lluvias. En Medio Atrato, estaciones como Beté, El

Buey y Alto del Buey muestran cifras superiores a los 6.200 mm anuales, evidenciando una oferta hídrica abundante y sostenida.

En términos generales, el análisis de la precipitación en los municipios del departamento del Chocó evidencia una oferta hídrica excepcional, con valores anuales que en muchos casos superan los 8.000 mm y en puntos específicos, como Quibdó y Nóvita, alcanzan o exceden los 10.000 mm. Esta condición convierte al territorio en una de las regiones con mayor pluviosidad del país y del mundo. No obstante, se identifican contrastes significativos entre zonas del centro y sur, altamente lluviosas, y los municipios del norte, como Unguía y Riosucio, donde la precipitación, aunque todavía considerable, presenta valores más moderados y posibles periodos de menor intensidad. Esta variabilidad regional permite establecer criterios diferenciados para el diseño y dimensionamiento de sistemas de captación de agua lluvia, priorizando soluciones ajustadas a la disponibilidad real del recurso en cada contexto municipal. El conocimiento detallado del comportamiento pluviométrico permite, por tanto, una planificación más precisa, sostenible y eficiente del uso del agua en áreas rurales del Chocó.

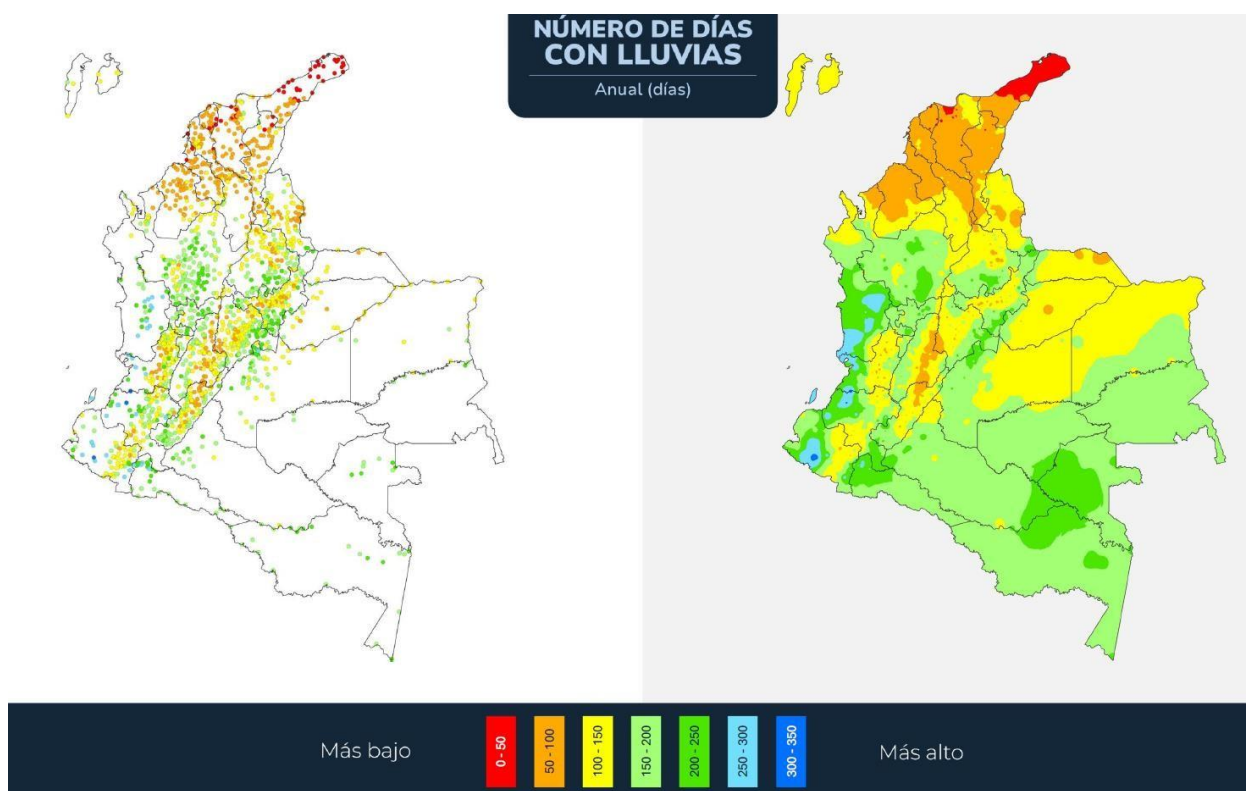
Numero de lluvias

La frecuencia de días con lluvia es un indicador climático que permite analizar cuántos días del año se registran precipitaciones iguales o superiores a 0,1 mm. Este parámetro complementa el análisis de volúmenes totales de lluvia, ya que refleja la distribución temporal del recurso hídrico y su persistencia en el tiempo. El siguiente mapa muestra la distribución espacial del número promedio anual de días con lluvia en Colombia, calculado a partir de la normal climatológica del periodo 1991–2020. Mediante una escala de colores, se representa la variación regional de este indicador, permitiendo identificar áreas con alta recurrencia de lluvias,

como el litoral Pacífico, y zonas con menor frecuencia, como el norte del Caribe y sectores de la Orinoquía (IDEAM, 2024):

Figura 2

Mapa Número de Días con Lluvias



Nota. La imagen muestra la cantidad promedio de días con lluvia por año en Colombia, con base en la normal climatológica del período 1991–2020. Se representa mediante una escala de colores la frecuencia de días con precipitación igual o superior a 0,1 mm. Fuente. IDEAM. (2025, mayo 8). Normales climatológicas estándar: período 1991–2020 [Archivo gráfico]. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <https://www.ideam.gov.co/sala-de-prensa/informes/Normales%20clim%C3%A1ticas%20est%C3%A1ndar>

A continuación, se presenta la información correspondiente a 32 estaciones meteorológicas ubicadas en el departamento del Chocó, utilizada para el análisis de la frecuencia de días con lluvia. Los datos fueron obtenidos a partir de la normal climatológica estándar para el período 1991–2020, según registros del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2025). Para cada estación se incluyen: el número mensual mínimo y máximo de días con lluvia, que reflejan los valores extremos promedio observados durante el

año; el promedio mensual, como indicador representativo del comportamiento medio; y el total anual, que corresponde a la suma de los promedios mensuales. Se considera un día con lluvia aquel en el que se registra una precipitación igual o superior a 0,1 milímetros (mm). Todas las cantidades se expresan en número de días.

Tabla 4

Número de días con lluvia

Estación	Municipio	Anual	Menor	Mayor	Promedio Mensual
Acandí	Acandí	150,5	5,6	16,1	12,5
Pie de Pato - AUT	Alto Baudó	205,4	12,4	19,6	17,1
Panamericana	Bahía Solano	246,7	11,3	25,2	20,6
Bellavista	Bojayá	243,1	12,6	23,3	20,3
Opagado	Bojayá	166,6	6,7	18,2	13,9
Cértegui	Cértegui	232,2	16,9	20,9	19,3
La Vuelta	Cértegui	261,2	18,6	23,4	21,8
Managrú	El Cantón del San Pablo	192,4	13,1	18,7	16,0
Carmen de Atrato	El Carmen	213,5	11,5	22,0	17,8
El Pinon	El Carmen	284,6	19,3	27,1	23,7
Palestina	El Litoral del San Juan	240,3	14,3	23,0	20,0
Istmina	Istmina	246,0	18,3	22,6	20,5
Pie de Pepe	Istmina	206,5	14,7	19,1	17,2
Lloró	Lloró	275,6	19,3	24,7	23,0
Alto del Buey	Medio Atrato	195,6	10,6	19,8	16,3
Bete	Medio Atrato	185,6	10,2	18,0	15,5
El Buey	Medio Atrato	184,2	10,0	18,0	15,4
Andagoya	Medio San Juan	296,2	22,1	26,4	24,7
Bebedo	Medio San Juan	213,6	14,5	20,4	17,8
Noanama	Medio San Juan	294,4	20,6	27,1	24,5
Novita	Nóvita	263,8	18,8	24,1	22,0
San José Palmar	Nóvita	280,7	20,2	26,2	23,4
Aeropuerto El Caraño	Quibdó	286,9	19,1	26,3	23,9
Tagachi	Quibdó	184,1	10,6	17,4	15,3
Tutunendo	Quibdó	250,5	16,9	23,6	20,9

Paimado	Rio Quito	243,8	17,0	22,4	20,3
San Isidro	Rio Quito	263,0	17,3	24,1	21,9
Riosucio	Riosucio	121,6	3,2	13,9	10,1
Valencia La Divisa	San José del Palmar	222,1	15,1	22,3	18,5
Tanela	Unguía	122,4	3,6	14,4	10,2
Titumate	Unguía	113,0	2,8	13,2	9,4
Unguía - AUT	Unguía	123,1	2,2	15,8	10,3

Nota. La tabla presenta la cantidad promedio de días con lluvia registrados anualmente en 32 estaciones meteorológicas del departamento del Chocó, basada en la normal climatológica del periodo 1991–2020. Se incluyen los valores anuales, el número mínimo y máximo mensual de días con lluvia y el promedio mensual. Un día con lluvia se define como aquel en el que se registra una precipitación igual o superior a 0,1 mm. Fuente. IDEAM. (2025, mayo 8). *Normales climatológicas estándar: periodo 1991–2020* [Archivo Excel]. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <https://www.ideam.gov.co/sala-de-prensa/informes/Normales%20clim%C3%A1ticas%20est%C3%A1ndar>

El análisis de los registros de 32 estaciones meteorológicas ubicadas en distintos municipios del departamento del Chocó, correspondientes al periodo 1991–2020, permite caracterizar la frecuencia de días con lluvia en la región, entendida como el número de días al año en los que se presenta una precipitación igual o superior a 0,1 mm. Esta variable es clave para complementar el análisis del volumen de precipitación, ya que ofrece una visión detallada de la distribución temporal del recurso hídrico. La información proviene de las normales climatológicas elaboradas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2025).

El promedio anual departamental asciende a 219 días con lluvia, lo cual equivale a cerca del 60 % del año. Este valor evidencia un régimen pluviométrico constante y altamente activo, con una distribución temporal que permite un suministro regular de agua lluvia durante la mayor parte del año. Esta condición es especialmente favorable para el diseño de sistemas de captación pluvial, dado que reduce la necesidad de grandes capacidades de almacenamiento prolongado.

El municipio de Medio San Juan destaca como el territorio con mayor frecuencia de días lluviosos. En la estación Andagoya, se registran en promedio 296,2 días al año con lluvia,

mientras que en Noanamá, también en el mismo municipio, se reportan 294,4 días. Estas cifras reflejan una persistencia casi diaria de precipitaciones, con promedios mensuales superiores a 24 días. Esta condición representa una oportunidad para garantizar la disponibilidad continua de agua en comunidades rurales dispersas.

En el extremo opuesto, Unguía presenta los registros más bajos del conjunto, con estaciones como Titumate (113,0 días), Unguía - AUT (123,1 días) y Tanela (122,4 días) anuales. Estas cifras corresponden a menos de 10 días de lluvia por mes en promedio. En estos municipios, el régimen de precipitaciones muestra una mayor concentración temporal, lo que implica que los sistemas de captación de agua deberán ser complementados con capacidades de almacenamiento que permitan cubrir los periodos con menor frecuencia de lluvia.

Municipios como Quibdó, Nóvita, Cértegui, San José del Palmar, El Carmen e Istmina presentan una frecuencia elevada y sostenida de días lluviosos, con registros anuales entre 246 y 286 días. Las estaciones Aeropuerto El Caraño, San José Palmar y El Piñón muestran promedios mensuales superiores a los 23 días con lluvia, lo que evidencia un comportamiento regular a lo largo del año. Esta distribución constante resulta adecuada para modelos de captación con flujo permanente.

Los municipios de Riosucio, Acandí, Alto Baudó, Rio Quito y sectores de Medio Atrato registran frecuencias intermedias, entre 120 y 200 días anuales, y promedios mensuales de 10 a 17 días con lluvia. Estas condiciones permiten el aprovechamiento del recurso, aunque requieren un análisis más preciso del comportamiento mensual y del posible impacto de la estacionalidad en el abastecimiento.

Este comportamiento espacial de la frecuencia de días con lluvia confirma que el departamento del Chocó presenta altos volúmenes de precipitación y una gran regularidad

temporal en la ocurrencia del recurso, con diferencias importantes entre el centro-sur y el norte del territorio (IDEAM, 2025).

La recolección y análisis de los datos históricos proporcionados por el IDEAM, específicamente las normales climatológicas del periodo 1991–2020, permitió caracterizar de manera precisa el comportamiento del régimen de lluvias en el departamento del Chocó. Este ejercicio constituyó la base para contextualizar la disponibilidad del recurso hídrico en el territorio, tanto en términos de volumen como de frecuencia de ocurrencia. Los datos procesados incluyeron la precipitación media mensual y anual, así como el número promedio de días con lluvia por año, lo cual permitió identificar diferencias sustanciales entre los municipios analizados.

El análisis espacial evidenció que la mayor disponibilidad del recurso se concentra en los municipios del centro y sur del departamento, con registros que superan los 8.000 mm anuales en estaciones como Tutunendo (Quibdó) o Cértogui, y más de 290 días de lluvia al año en localidades como Andagoya (Medio San Juan). Estas condiciones indican una oferta hídrica sostenida, con recarga continua a lo largo del año, lo cual es altamente favorable para la implementación de sistemas de captación de agua lluvia. En contraste, municipios del norte como Unguía y Riosucio presentaron volúmenes anuales inferiores a 3.000 mm y frecuencias por debajo de los 130 días al año, lo que sugiere una mayor estacionalidad y necesidad de dimensionamiento adecuado en los sistemas de almacenamiento.

Adicionalmente, la relación entre el número de días con lluvia y los volúmenes anuales permitió distinguir zonas donde la precipitación es intensa en periodos concentrados, frente a otras donde las lluvias son más constantes, pero menos abundantes. Esta distinción es

fundamental para orientar el diseño técnico del sistema de captación, ya que condiciona el tamaño de las superficies colectoras, la capacidad de los tanques y la periodicidad del uso.

Caracterización Social mediante el Registro de Interesados

Como parte del análisis contextual del proyecto, se realizó la caracterización social mediante el registro de interesados, con el fin de identificar los actores clave que pueden influir, verse afectados o tener intereses específicos en la implementación del sistema de captación y distribución de agua lluvia potabilizada. Esta actividad se enmarca en el dominio de desempeño de los interesados definido por el Project Management Institute (PMI, 2021), y permite establecer relaciones estratégicas con cada actor, según su rol, poder, nivel de interés, actitud y relación con la organización ejecutora.

Tabla 5

Registro de Interesados

IDENTIFICACIÓN DE LOS INTERESADOS				RELACION INTERES Y PODER DEL INTERESADO				EVALUACION			
ENTIDAD /NIVEL	NOMBRE DEL INTERESADO	ROL EN EL PROYECTO	INTERESES	Monitorear	Mantener Informado	Mantener Satisfecho	Gestionar Atentamente	Otros factores	Clasificación	Categorías	
				Interes bajo/poder bajo	Interes alto/poder bajo	Interes bajo/poder alto	Interes alto/poder Alto				MATRIZ PODER / INTERES
Departamento Nacional de Planeación (DNP) – Nivel nacional	Dirección de Desarrollo Sostenible – DNP	Ente articulador nacional	Asegurar el alineamiento del proyecto con políticas de desarrollo sostenible y realizar seguimiento a su contribución social, ambiental y económica.	X				Monitorear	Ver que el proyecto esté alineado con los lineamientos del desarrollo sostenible nacional.	Externo	Neutral

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – Nivel nacional	Dirección de Asuntos Hídricos – MinAmbiente	Participante - Entidad normativa	Promover soluciones de abastecimiento que mejoren la calidad de vida sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas.	X	Mantener Informado	Que el proyecto cumpla con la normatividad ambiental vigente y demuestre sostenibilidad.	Externo	Partidario	
Gobernación del Chocó – Nivel territorial	Secretaría de Planeación Departamental	Patrocinador	Impulsar el desarrollo regional mediante proyectos sociales y ambientales, aportando recursos financieros y técnicos.		X	Gestionar Atentamente	Que el proyecto genere beneficios concretos y visibles para las comunidades locales.	Externo	Partidario
Corporación Autónoma Regional CODECHO CO – Nivel territorial	Dirección Técnica de Recursos Naturales – CODECHO CO	Autoridad ambiental participativa	Supervisar la sostenibilidad ambiental del proyecto, asegurando el cumplimiento de las normas de manejo de recursos hídricos y ordenamiento ambiental.	X	Mantener Satisfecho	Que se cumpla la normativa ambiental y se respete la planificación territorial.	Externo	Partidario	
Vivienda beneficiaria del proyecto – Nivel comunitario	Representante de familia beneficiaria – Comunidad local	Actor principal (beneficiario)	Acceder a una fuente segura de agua potable, mejorar la salud y reducir la vulnerabilidad frente a la escasez o contaminación del recurso hídrico.		X	Gestionar Atentamente	Mejorar su calidad de vida y reducir su vulnerabilidad hídrica.	Externo	Partidario
Veedurías Ciudadanas – Nivel comunitario	Coordinador de veeduría comunitaria – Vereda o corregimiento	Veedor social	Garantizar la transparencia del proyecto y canalizar observaciones o alertas hacia entidades de control.	X	Mantener Informado	Garantizar transparencia en la ejecución y comunicar hallazgos a entes de control.	Externo	Neutral	

Líderes sociales – Nivel comunitario	Líder comunitario en temas de agua y saneamiento	Representante comunitario Participante	Respalda proyectos que atiendan las necesidades de agua en la comunidad y fomentar la apropiación social de las soluciones.		X	Gestionar Atentamente	Ver que el proyecto responda a las necesidades reales de la comunidad.	Externo	Partidario
Universidades e instituciones de investigación – territorial – Nivel académico/territorial	Universidad Tecnológica del Chocó	Asesor académico - Espectador	Identificar oportunidades de innovación local y documentar aprendizajes para la mejora continua de soluciones tecnológicas apropiadas.	X		Monitorear	Documentar el proceso como estudio de caso o referente local de innovación.	Externo	Neutral
Organizaciones no gubernamentales ambientales (ONG ambientales) – Nivel local/regional	Fundación Chocó Sostenible (ONG ambiental)	Facilitador social y ambiental - Participante	Generar impacto comunitario mediante participación activa, sensibilización ambiental y fortalecimiento organizativo local.		X	Mantener Informado	Fortalecer el tejido social y ambiental en territorios vulnerables.	Externo	Partidario
Proveedor de insumos – Nivel privado	Empresas proveedoras	Proveedor técnico - Participante	Establecer relaciones comerciales claras, garantizar estándares de calidad y asegurar la disponibilidad oportuna de materiales. Requisitos claramente definidos		X	Mantener Satisfecho	Establecer relaciones comerciales sostenibles y seguras.	Externo	Neutral
Contratista del proyecto – Nivel privado	Empresa encargada de la ejecución	Ejecutor	Ejecutar las actividades del proyecto conforme a las especificaciones técnicas, cronograma y presupuesto establecidos.		X	Gestionar Atentamente	Cumplir con los requisitos contractuales y técnicos acordados.	Externo	Partidario

Interventores técnicos y administrativos del proyecto – Nivel privado	Profesional interventor designado – Entidad supervisora	Supervisor de ejecución	Verificar el cumplimiento de requisitos técnicos y contractuales, y asegurar la calidad en los procesos constructivos del sistema.	X	Gestionar Atentamente	Asegurar la calidad y legalidad de la ejecución del proyecto.	Externo	Partidario
Dirección del proyecto - Nivel operativo/interno	Director técnico responsable – Equipo ejecutor del proyecto	Responsable de dirección integral	Planificar, coordinar y liderar todas las fases del proyecto, garantizando el cumplimiento de objetivos, entregables y sostenibilidad operativa.	X	Gestionar Atentamente	Lograr la entrega completa del sistema en tiempo, costo y calidad.	Interno	Partidario
Empresa patrocinadora privada – Nivel privado	Persona o empresa privada	Patrocinador	Aportar recursos financieros, técnicos o materiales que contribuyan a la sostenibilidad del proyecto.	X	Gestionar Atentamente	Ver resultados tangibles, con posibilidad de replicabilidad o escalamiento del modelo.	Externo	Partidario

Nota. Elaboración propia

La identificación y evaluación de los interesados permitió establecer un panorama claro sobre los actores clave que influyen directa o indirectamente en la ejecución del proyecto. Mediante la aplicación de la matriz poder/interés se clasificaron los participantes en cuatro estrategias de gestión: monitorear, mantener informado, mantener satisfecho y gestionar atentamente. Esta categorización facilita una gestión diferencial y proactiva según el nivel de involucramiento, capacidad de decisión y expectativa frente al proyecto.

Es importante resaltar que la naturaleza de los interesados puede variar significativamente según el tipo de contratación o fuente de financiamiento del proyecto. Cuando los recursos provienen del sector público, intervienen con mayor fuerza las entidades estatales, organismos de control, autoridades ambientales y mecanismos de vigilancia ciudadana. Por el contrario, si el proyecto se gestiona mediante alianzas con el sector privado o mediante donaciones, adquieren mayor protagonismo actores como patrocinadores empresariales, proveedores especializados, fundaciones y organizaciones no gubernamentales, cada uno con expectativas y responsabilidades específicas.

En el caso de este proyecto, la mayoría de los interesados identificados son externos, y muestran una actitud predominantemente partidaria, lo que representa un entorno social favorable para su implementación. Destacan entre ellos los beneficiarios directos, autoridades locales, entidades de gestión ambiental y organizaciones comunitarias. El único actor clasificado como interno es la dirección del proyecto, responsable de liderar las acciones desde la planeación hasta la entrega del sistema.

Este análisis constituye un insumo estratégico para el diseño del plan de comunicaciones y para la planificación de actividades que aseguren la sostenibilidad y el valor entregado por el

proyecto, considerando que el tipo de relación contractual con cada actor debe ser gestionado de forma coherente con su rol, interés y grado de influencia.

Caracterización Económica a partir de Información del DANE y Fuentes Locales

Acueducto

A continuación, se presenta la información correspondiente al acceso al servicio de acueducto en Colombia, con énfasis en el departamento del Chocó, según los datos reportados por la Encuesta de Calidad de Vida (ECV) del DANE para el año 2024. La tabla muestra el número estimado de hogares totales y aquellos que cuentan con conexión al acueducto, tanto en valores absolutos como en proporciones porcentuales. Los resultados están desagregados por área geográfica (cabecera municipal y centros poblados o rurales dispersos), lo que permite una comparación entre el nivel nacional y el contexto territorial específico del Chocó. Se incluyen además dos indicadores estadísticos relevantes: los límites inferior (L. Inf.) y superior (L. Sup.) del intervalo de confianza al 95 %, que señalan el rango dentro del cual se espera que se ubique el valor real poblacional con alta probabilidad.

Tabla 6

Acueducto Chocó vs Línea Nacional

Departamento	Área	Total hogares Total	Acueducto					
			Total	L Inf.	L Sup.	%	L Inf.	L Sup.
Total nacional	Total	18.489	16.667	16.528	16.806	90,1	89,8	90,5
	Cabecera	14.343	14.087	13.975	14.198	98,2	98,0	98,4
	Centros poblados y rural disperso	4.146	2.580	2.522	2.638	62,2	60,9	63,6
Chocó	Total	185	77	69	85	41,6	37,4	45,9
	Cabecera	82	46	41	50	55,8	50,2	61,4
	Centros poblados y rural disperso	104	32	25	38	30,5	24,6	36,4

Nota. elaboración propia a partir de Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE. (2025). Anexos generales de la Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ECV) 2024. Actualizado el 24 de abril de 2025.

Los resultados de la Encuesta de Calidad de Vida (DANE, 2025) evidencian marcadas desigualdades territoriales en el acceso a servicios básicos, particularmente en lo que respecta al servicio de acueducto. A nivel nacional, se estima que existen 18.489.000 hogares, de los cuales un 90,1 % (aproximadamente 16.667.000 hogares) cuenta con acceso a acueducto, lo que refleja una cobertura elevada y consolidada en la mayoría de las zonas urbanas del país. Esta cobertura alcanza incluso el 98,2 % en las cabeceras municipales (14.087.000 hogares) y presenta una reducción significativa en los centros poblados y zonas rurales dispersas, donde el acceso desciende al 62,2 % (2.580.000 hogares).

En contraste, el departamento del Chocó presenta un escenario considerablemente más desfavorable. Se estima un total de 185.000 hogares, de los cuales solo 77.000 disponen de acueducto, lo que representa apenas un 41,6 % de cobertura, cifra que se encuentra 48,5 puntos porcentuales por debajo del promedio nacional. Esta brecha territorial se amplía aún más al analizar las áreas rurales del Chocó, donde únicamente 32.000 hogares de un total de 104.000 cuentan con acceso al servicio, es decir, apenas un 30,5 %, mientras que el promedio nacional rural alcanza el 62,2 %. En las cabeceras del departamento, donde se esperaría una mayor cobertura, solo el 55,8 % de los hogares accede al acueducto (46.000 de 82.000 hogares), lo cual está muy por debajo del 98,2 % observado en el resto del país.

Estas cifras revelan un fenómeno persistente de exclusión hídrica en territorios periféricos como el Chocó, que enfrentan no solo debilidad en la infraestructura pública de servicios, sino también una alta dispersión poblacional, condiciones geográficas adversas y bajos niveles de inversión estatal histórica. Esta condición expone a las comunidades locales, especialmente en las zonas rurales, a situaciones de vulnerabilidad hídrica, con efectos negativos sobre la salud, la seguridad alimentaria y la dignidad humana. Además, limita su capacidad de

desarrollo social y económico al no contar con un recurso básico de manera permanente, segura y de calidad.

Esta situación obliga a muchas familias, especialmente en zonas rurales, a depender de fuentes superficiales como ríos y quebradas. Estas fuentes no tratadas incrementan significativamente el riesgo de enfermedades relacionadas con el agua. El conocimiento sobre sistemas de captación de agua lluvia es limitado, lo que podría generar resistencia inicial en la población para adoptar estas soluciones. Sin embargo, experiencias previas muestran que las iniciativas de sensibilización y capacitación pueden superar estas barreras. UNICEF reportó que el 85% de las familias participantes en programas de captación y almacenamiento seguro adoptaron prácticas de higiene mejoradas, destacando los beneficios en salud y economía familiar (UNICEF, 2024). Este tipo de intervenciones enfatizan la importancia de involucrar a las comunidades desde el diseño hasta el mantenimiento de los sistemas, promoviendo su sostenibilidad y aceptación a largo plazo.

En ese sentido, el bajo porcentaje de cobertura en acueducto permite dimensionar la urgencia de alternativas técnicas que sustenten la pertinencia y necesidad del proyecto propuesto de captación y potabilización de agua lluvia para viviendas unifamiliares. Este tipo de solución, diseñada con enfoque comunitario, sostenible y adaptable a contextos de baja densidad, responde a una necesidad real no resuelta por el sistema convencional. Asimismo, ofrece la posibilidad de ser replicado o escalado en otros municipios con condiciones similares, promoviendo equidad territorial, bienestar social y resiliencia climática desde lo local.

Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI)

A continuación, se presenta una tabla con los principales indicadores de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) para el departamento del Chocó, según el Censo Nacional de

Población y Vivienda (CNPV) 2018, publicado por el DANE en junio de 2022. Estos indicadores permiten identificar dimensiones críticas de pobreza estructural en el territorio, tales como acceso inadecuado a servicios públicos, hacinamiento, condiciones materiales de la vivienda, y asistencia escolar. La información constituye un insumo clave para caracterizar las condiciones sociales del contexto en el que se propone implementar el sistema de captación y distribución de agua lluvia.

Tabla 7

Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI)

Total (Cabeceras y centro poblados y rural disperso)							
Nombre Departamento	Prop de Personas en NBI (%)	Prop de Personas en miseria	Componente vivienda	Componente Servicios	Componente Hacinamiento	Componente Inasistencia	Componente dependencia económica
CHOCÓ	65,51	20,37	8,52	57,47	12,80	4,57	10,98
TOTAL NACIONAL	14,28	3,80	5,31	3,59	4,17	1,94	4,44
Cabeceras							
Nombre Departamento	Prop de Personas en NBI (%)	Prop de Personas en miseria	Componente vivienda	Componente Servicios	Componente Hacinamiento	Componente Inasistencia	Componente dependencia económica
CHOCÓ	68,37	9,90	2,16	65,12	3,18	2,45	7,22
TOTAL NACIONAL	9,53	1,79	2,88	2,06	2,57	1,59	2,66
Centros poblados y rural disperso							
Nombre Departamento	Prop de Personas en NBI	Prop de Personas en miseria	Componente vivienda	Componente Servicios	Componente Hacinamiento	Componente Inasistencia	Componente dependencia económica
CHOCÓ	62,73	30,53	14,69	50,04	22,13	6,63	14,63
TOTAL NACIONAL	30,48	10,64	13,63	8,78	9,64	3,16	10,51

Nota. Elaboración propia a partir de Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE. (2022). Indicadores de necesidades básicas insatisfechas (NBI), según recientes agregaciones territoriales. Censo Nacional de Población y Vivienda 2018. Link: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/pobreza-y-condiciones-de-vida/necesidades-basicas-insatisfechas-nbi>

Los indicadores del Censo Nacional de Población y Vivienda (CNPV) 2018 muestran que el departamento del Chocó presenta una situación crítica en términos de pobreza estructural. La proporción total de personas con al menos una necesidad básica insatisfecha es del 65,51 %, lo

que quintuplica el promedio nacional, situado en apenas 14,28 %. Esta condición evidencia una alta privación acumulada en múltiples dimensiones del bienestar.

En cuanto a la pobreza extrema por NBI (denominada "condición de miseria"), el Chocó alcanza un preocupante 20,37 % de su población, muy por encima del 3,80 % nacional. Esta situación es más grave en las áreas rurales, donde esta proporción asciende a 30,53 %, en comparación con el 10,64 % del total nacional en zonas similares.

Por componentes, el acceso a servicios básicos es el indicador con mayor rezago en el Chocó: el 57,47 % de las personas vive en hogares con privación en este aspecto, mientras que el promedio nacional es de apenas 3,59 %. Esta carencia es aún más grave en las cabeceras, donde la cifra sube al 65,12 %, lo que indica que incluso en contextos urbanos, la infraestructura de servicios públicos es extremadamente limitada. En las zonas rurales, aunque menor, sigue siendo crítica (50,04 %), triplicando el promedio rural nacional (8,78 %).

En términos de vivienda inadecuada, el 8,52 % de la población del Chocó reside en condiciones físicas deficientes de habitabilidad, superando también el promedio nacional (5,31 %). Esta situación es más severa en zonas rurales (14,69 %) que en cabeceras (2,16 %), lo cual indica una marcada brecha territorial.

El componente de hacinamiento afecta al 12,80 % de la población chocoana, en comparación con solo 4,17 % a nivel nacional. Nuevamente, la desigualdad es mayor en áreas rurales, donde el hacinamiento alcanza el 22,13 % frente al 3,18 % en las cabeceras. Esto implica un riesgo elevado en términos de salud pública y condiciones de convivencia.

Respecto a la inasistencia escolar, el Chocó registra un 4,57 % total, lo cual es más del doble del promedio nacional (1,94 %). Esta brecha también es más amplia en zonas rurales (6,63

%) que urbanas (2,45 %), lo que podría estar asociado a barreras de acceso geográfico, limitaciones económicas o debilidad institucional.

Finalmente, en el componente de dependencia económica, el Chocó presenta un valor de 10,98 %, frente al 4,44 % nacional. En las zonas rurales, el índice sube a 14,63 %, reflejando que una alta proporción de personas económicamente activas debe sostener a dependientes sin ingresos, lo cual agrava las condiciones de vulnerabilidad de los hogares

La información muestra que el Chocó enfrenta una situación de pobreza multidimensional severa, que se manifiesta con mayor intensidad en las zonas rurales y afecta todos los componentes del NBI: vivienda, servicios, hacinamiento, educación y dependencia económica. Estas condiciones estructurales de exclusión social y precariedad material justifican, con solidez, la implementación de intervenciones como sistemas alternativos de abastecimiento de agua potable, enfocados en mejorar la calidad de vida de poblaciones con alta privación y limitada cobertura de servicios públicos.

El departamento del Chocó enfrenta profundas desigualdades sociales que afectan directamente el acceso a servicios básicos, como el agua potable y el saneamiento. Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), el 37.4% de su población vive en condiciones de pobreza multidimensional, lo que refleja una combinación de carencias en educación, salud, vivienda y servicios públicos en total siendo menos representativo en las cabeceras con 25.5 puntos porcentuales, mientras que en los centros poblados y rurales dispersos 46.6%(DANE, 2024).

En 2023, los datos del Chocó reflejan serias desigualdades sociales, especialmente entre las cabeceras municipales y las zonas rurales. El analfabetismo afecta al 23.3% de la población total, pero alcanza un alarmante 32.8% en áreas rurales. El bajo logro educativo sigue una

tendencia similar, con el 72.7% de las personas en zonas dispersas enfrentando limitaciones significativas, frente al 37.4% en cabeceras. Estas cifras evidencian barreras persistentes en el acceso a una educación de calidad.

La economía del Chocó presenta serias limitaciones que afectan la capacidad de las familias para acceder a soluciones tecnológicas avanzadas. Una gran proporción de los ingresos familiares se destina a cubrir necesidades básicas, dejando poco margen para inversiones en infraestructura hídrica. Además, los costos asociados a materiales esenciales como tanques, tuberías y filtros son significativamente altos, debido en gran parte a las dificultades de transporte y la limitada conectividad en la región (DANE, 2022). Estas barreras económicas subrayan la necesidad de desarrollar alternativas tecnológicas que sean accesibles y adaptadas a las condiciones locales.

A pesar de estas limitaciones, existe un potencial considerable para implementar sistemas de captación de agua lluvia de bajo costo. Diseñar soluciones que utilicen materiales disponibles localmente y que sean fáciles de instalar y mantener podría ser clave para garantizar su viabilidad en comunidades rurales. Además, invertir en estas tecnologías puede generar ahorros significativos a largo plazo, al reducir los costos asociados al consumo de agua no tratada y a las enfermedades derivadas de su uso. Según el Ministerio de Vivienda (2023), estas soluciones no solo mejoran las condiciones de vida de las familias, sino que también promueven beneficios económicos al disminuir la carga sobre los sistemas de salud pública y aumentar la productividad de las comunidades.

Incidencia de Pobreza Multidimensional

A continuación, se presenta la incidencia de la pobreza multidimensional en Colombia, con base en un promedio realizado a partir de la información reportada entre los años 2018 y

2024, desagregada por área geográfica. La pobreza multidimensional es un indicador que permite identificar privaciones simultáneas en distintas dimensiones del bienestar, más allá del ingreso monetario, incluyendo factores como el acceso a la educación, condiciones de la vivienda, salud, empleo, y servicios públicos esenciales.

Tabla 8

Incidencia de Pobreza Multidimensional del Chocó

Incidencia de Pobreza Multidimensional		
2018-2024		
Total	Cabeceras	Centros poblados y rural disperso
40,2	26,3	51,2

Nota Elaboración propia a partir de Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE. (2025). Incidencia de pobreza multidimensional. Anexo departamental.

Según los datos oficiales del DANE, la incidencia total de pobreza multidimensional en el Chocó fue del 40,2 %, lo que indica que cuatro de cada diez personas experimentan al menos una privación severa en las dimensiones consideradas. Esta situación es más crítica en las zonas rurales y centros poblados dispersos, donde la incidencia alcanza el 51,2 %, frente al 26,3 % reportado en las cabeceras municipales. Esta diferencia territorial evidencia una profunda brecha en las condiciones de vida, que afecta especialmente a la población rural, y refuerza la necesidad de intervenciones focalizadas que mejoren el acceso a servicios básicos como el agua potable.

A continuación, se enumeran las variables específicas que componen el indicador de índice de pobreza multidimensional, calculado con base en el promedio del periodo 2018–2024. Estas variables permiten identificar las privaciones más significativas que enfrenta la población en aspectos clave como educación, salud, vivienda, servicios básicos y empleo, brindando un panorama integral de las condiciones de vida. La desagregación de estos componentes facilita el

diseño de intervenciones focalizadas y multisectoriales, como el sistema propuesto de captación de agua lluvia, dirigido a mejorar el bienestar de los hogares con mayores carencias.

Tabla 9

Índice de Pobreza Multidimensional Privaciones por Hogar Según Variable

Variable	Total	Cabeceras	Centros poblados y rural disperso
Analfabetismo	24,3	13,3	33,3
Bajo logro educativo	59,4	39,1	76,0
Barreras a servicios para cuidado de la primera infancia	9,3	9,1	9,5
Barreras de acceso a servicios de salud	2,0	1,5	2,5
Desempleo de larga duración	18,7	20,4	17,3
Hacinamiento crítico	9,3	6,4	11,6
Inadecuada eliminación de excretas	66,1	69,8	63,2
Inasistencia escolar	9,3	7,7	10,7
Material inadecuado de paredes exteriores	12,1	21,6	4,4
Material inadecuado de pisos	2,9	1,3	4,2
Rezago escolar	34,7	30,4	38,2
Sin acceso a fuente de agua mejorada	68,6	53,7	80,6
Sin aseguramiento en salud	5,1	5,4	4,8
Trabajo infantil	1,6	1,1	2,0
Trabajo informal	91,7	85,6	96,7

Nota. Elaboración propia a partir de Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE. (2025). Índice de pobreza multidimensional. Anexo departamental.

Los datos muestran que la población del departamento del Chocó presenta una alta incidencia de privaciones en múltiples dimensiones del bienestar, lo cual se refleja en indicadores críticos como el bajo logro educativo (59,4 %), el rezago escolar (34,7 %), el analfabetismo (24,3 %) y el hacinamiento crítico (9,3 %). Sin embargo, una de las variables más preocupantes es el “Sin acceso a fuente de agua mejorada”, cuya prevalencia alcanza el 68,6 % del total departamental, posicionándose como una de las mayores privaciones estructurales en el territorio.

Según el DANE y los estándares del IPM, se considera que un hogar carece de acceso a una fuente de agua mejorada cuando el origen del agua utilizada no garantiza condiciones mínimas de seguridad sanitaria. Esto incluye casos en los que se consume agua proveniente de

ríos, quebradas, pozos no protegidos, aguas lluvias sin tratamiento, o si se realiza el acarreo del líquido desde fuentes no seguras. Esta privación está directamente asociada al riesgo de enfermedades hídricas, al uso ineficiente del tiempo para recolectar agua y a la vulnerabilidad frente a eventos climáticos extremos.

En las zonas rurales y centros poblados dispersos, el 80,6 % de la población no cuenta con acceso a fuentes de agua mejorada, lo que indica que cuatro de cada cinco personas en áreas rurales enfrentan esta privación. Esta cifra casi triplica el promedio nacional rural y refleja un problema crónico de infraestructura hídrica. En las cabeceras municipales, la situación también es grave: el 53,7 % de la población urbana carece de una fuente segura de agua, lo que demuestra que ni siquiera en contextos urbanos consolidados se ha logrado garantizar el acceso básico al recurso.

Esta privación, además de representar una vulneración al derecho humano al agua, tiene implicaciones directas sobre otras dimensiones del bienestar como la salud, la productividad y la educación (especialmente en lo que refiere a la higiene y asistencia escolar). La magnitud del problema en el Chocó justifica la necesidad urgente de desarrollar soluciones alternativas y sostenibles de abastecimiento, como el sistema de captación y potabilización de agua lluvia que se propone en el presente proyecto, especialmente en áreas rurales donde el acceso formal al acueducto es limitado o inexistente.

Análisis de Planes de Desarrollo, ASIS y Documentos Locales para el Contexto Social, Económico y de Acceso al Agua

Plan De Desarrollo Departamental Chocó

El acceso al agua potable en el Departamento del Chocó presenta limitaciones significativas en términos de cobertura, calidad y continuidad del servicio. Según el Plan de

Desarrollo Departamental 2024–2027, la cobertura del servicio de acueducto en las cabeceras municipales alcanza el 57,66%. No obstante, solamente el 27% de estas poblaciones recibe agua tratada que cumple con los estándares de potabilidad, cifra que representa un incremento en comparación con periodos anteriores, cuando se reportaba un 13%. En varios municipios del departamento, como Nuquí, Carmen del Darién y Sipí, se registra una cobertura del 100% del sistema de acueducto. Sin embargo, en estos territorios el servicio no es continuo y el agua distribuida no es considerada potable. Esta situación indica que la cobertura del sistema no necesariamente garantiza la disponibilidad de agua segura para consumo humano (Departamento del Chocó, 2024)

Respecto a las características técnicas, el 45% de los sistemas de acueducto operan por gravedad, mientras que el 55% funcionan mediante sistemas mixtos que combinan gravedad y bombeo. Ambos presentan limitaciones en su funcionamiento, como redes de distribución en mal estado, ausencia de tanques de almacenamiento y falta de personal técnico para la operación eficiente del sistema. Por otra parte, el documento señala que el 73% de las cabeceras municipales no cuenta con sistemas de tratamiento de agua potable. En aquellos municipios donde existen, los procesos de potabilización no siempre se realizan de manera adecuada, lo cual afecta la calidad del agua entregada a la población (Departamento del Chocó, 2024).

ASIS Chocó

El acceso al agua potable en el Departamento del Chocó continúa siendo una condición limitada por factores estructurales, geográficos y socioeconómicos. El Análisis de Situación de Salud (ASIS) identifica que, a pesar de la existencia de cobertura formal de acueducto en múltiples municipios, persisten importantes dificultades relacionadas con la disponibilidad y calidad del agua suministrada. Esta situación afecta principalmente a las poblaciones rurales y

dispersas, donde el servicio no es continuo ni cumple con los estándares de potabilidad establecidos para el consumo humano (Gobernación del Chocó, 2023).

Desde la perspectiva del enfoque de determinantes sociales de la salud, el ASIS señala que las deficiencias en los servicios básicos como el agua potable están asociadas directamente con condiciones de salud adversas. Las limitaciones en el tratamiento adecuado del agua, así como la inadecuada eliminación de residuos líquidos, representan riesgos relevantes para la salud pública. Este contexto evidencia la necesidad de fortalecer la infraestructura de acueducto y la gobernanza del recurso hídrico en los distintos niveles territoriales del departamento (Gobernación del Chocó, 2023).

En el capítulo de morbilidad, el ASIS reporta que las infecciones respiratorias agudas y las enfermedades infecciosas intestinales figuran entre las principales causas de consulta médica en el departamento. Por ejemplo, las infecciones respiratorias registraron más de 23.000 casos en el último periodo analizado, mientras que las enfermedades infecciosas intestinales, como las diarreas, representaron alrededor de 13.000 casos. Estas condiciones se presentan de manera predominante en la población infantil. En particular, las enfermedades diarreicas están estrechamente relacionadas con la calidad del agua, ya que suelen ser ocasionadas por el consumo de agua contaminada o por prácticas inadecuadas de higiene y saneamiento.

En relación con los eventos de notificación obligatoria, se reporta una letalidad del 6,3 % por hepatitis A, del 12,5 % por sífilis congénita y del 50 % en enfermedades diarreicas agudas, en los casos notificados. La hepatitis A y las enfermedades diarreicas, ambas asociadas a la ingesta de agua no potable, son indicadores sensibles de las condiciones del sistema de agua y saneamiento. La desnutrición proteico-calórica también figura entre las principales causas de morbilidad y mortalidad, especialmente en menores de cinco años, grupo que es particularmente

vulnerable a infecciones relacionadas con el agua y al deterioro nutricional derivado de episodios repetitivos de diarrea.

Agua del Chocó

Aguas del Chocó S.A. E.S.P., en el marco del Plan Departamental de Aguas, ejecuta una serie de proyectos orientados al mejoramiento de la infraestructura de agua potable en varios municipios del departamento. Estas intervenciones buscan superar las deficiencias estructurales históricas en el acceso al recurso hídrico, mediante obras de optimización, ampliación y rehabilitación de sistemas de acueducto. Entre los municipios beneficiados se encuentran Istmina, Medio Baudó y Nóvita, donde se adelantan trabajos para mejorar la cobertura y garantizar un suministro regular y seguro de agua potable (Aguas del Chocó S.A. E.S.P., 2024).

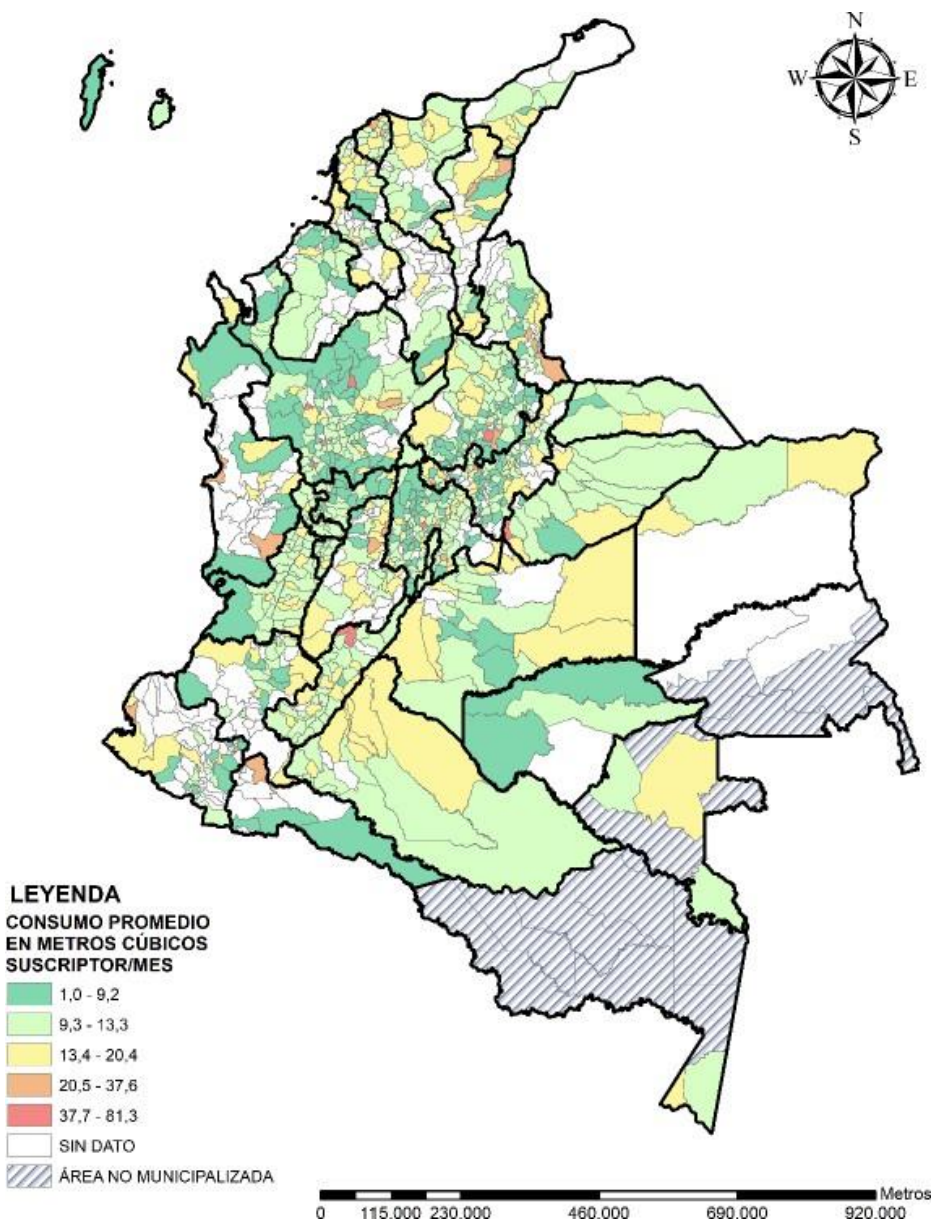
En Quibdó, capital departamental, se destacan iniciativas como el mejoramiento de la estación de bombeo de Cabi, la construcción de la línea de impulsión hacia La Loma, y la optimización de las plantas de tratamiento Playita I y II. Estas acciones están dirigidas a fortalecer el sistema de distribución, garantizar la calidad del agua y asegurar la continuidad del servicio en áreas urbanas estratégicas. A ello se suma la formulación del Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado, el cual se estructura en coordinación con el gobierno nacional y el Plan Departamental de Aguas, e incorpora mecanismos financieros como el encargo fiduciario para facilitar su implementación.

Estos proyectos buscan reducir las brechas de acceso a servicios básicos, mejorar las condiciones sanitarias de la población y avanzar hacia la sostenibilidad del sistema hídrico departamental. Las intervenciones reflejan una apuesta institucional por responder a las necesidades identificadas en diagnósticos territoriales previos, y por garantizar a largo plazo el derecho al agua potable en el Chocó (Aguas del Chocó S.A. E.S.P., 2024).

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios

En el análisis del comportamiento del consumo de agua potable por hogar en Colombia durante la vigencia 2023, la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios identificó un valor promedio nacional de 11,30 metros cúbicos por suscriptor al mes. Este dato se obtiene del volumen total de agua consumida dividido por el número de usuarios residenciales, con base en los registros de 938 prestadores de servicio. La estimación se encuentra dentro del rango de consumo básico estipulado por la Resolución CRA 750 de 2016, según el cual, para zonas ubicadas por encima de los 2.000 metros sobre el nivel del mar, el consumo básico no debe superar los 11 m³/mes (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2024)

Respecto al departamento del Chocó, el informe sectorial muestra una importante variabilidad en el consumo promedio mensual por suscriptor. La mayoría de los municipios del departamento registran valores en el rango de 1,0 m³ a 9,2 m³ por mes, lo cual indica un consumo inferior al promedio nacional. Sin embargo, en algunas localidades específicas se identifican consumos más elevados, alcanzando hasta 13,3 m³/mes e incluso 20,4 m³/mes. A pesar de ello, predominan los municipios con consumos ubicados entre 1,0 y 9,2 m³/mes, lo que puede asociarse a factores como infraestructura limitada, cobertura parcial y condiciones socioeconómicas de los usuarios. Asimismo, se resalta que no se dispone de información sobre el consumo en varios municipios del departamento, situación evidenciada gráficamente en el informe (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2024)

Figura 3*Mapa de consumo de agua potable en Colombia*

Nota. Consumo promedio de agua por municipio en Colombia, vigencia 2023 El mapa presenta la distribución del consumo mensual promedio de agua potable por suscriptor residencial (m³) en los municipios del país. Fuente: Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2024). Informe sectorial de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado.

Consumo de Agua

En el diseño y evaluación de condiciones de acceso al agua en viviendas sin conexión formal al sistema de acueducto, es indispensable considerar los parámetros técnicos mínimos establecidos por las autoridades competentes. El Reglamento Técnico del Sector de Agua

Potable y Saneamiento Básico – RAS 2020, en su Título B, establece que el diseño de sistemas de abastecimiento en zonas rurales dispersas debe garantizar un consumo entre 25 y 50 litros por persona al día. Este rango busca cubrir las necesidades básicas de los usuarios, considerando variables como el clima, la altitud y las actividades domésticas fundamentales (MVCT, 2020). Estas cifras equivalen a un consumo mensual estimado entre 0,75 m³ y 1,5 m³ por persona, y para un hogar promedio de cuatro personas, un total mensual entre 3,0 m³ y 6,0 m³.

Adicionalmente, desde un enfoque de salud pública, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido un umbral técnico de 20 litros por persona al día como mínimo indispensable para asegurar las funciones vitales: hidratación, preparación de alimentos y necesidades básicas de higiene. Este estándar se traduce en un consumo mensual aproximado de 0,6 m³ por persona, es decir, 2,4 m³ mensuales por hogar de cuatro personas (OMS, 2003). Este valor, denominado por la organización como nivel de subsistencia, no contempla actividades complementarias como el lavado de ropa o la limpieza del hogar, las cuales solo podrían desarrollarse con niveles superiores de acceso.

Caracterización Vivienda en el Departamento del Chocó

La evolución de la vivienda en el departamento del Chocó ha estado determinada por condiciones geográficas extremas —como la alta pluviosidad y la humedad del suelo— así como por factores sociales y económicos que han limitado el acceso a servicios públicos básicos como el acueducto. Tradicionalmente, la vivienda en esta región se ha construido con materiales vegetales locales (palma, guadua, troncos), utilizando técnicas vernáculas adaptadas al entorno selvático. Estas viviendas, de carácter palafítico, han sido predominantes en comunidades indígenas y afrodescendientes a lo largo de los ríos Atrato, San Juan y Baudó (González, 2004)

Desde finales del siglo XIX, y en especial hacia 1891, se documenta en Quibdó una transición constructiva impulsada por el auge de la explotación forestal y la llegada del zinc galvanizado como material de cubierta. Tres cuartas partes de las viviendas de la ciudad ya empleaban madera aserrada, y muchas incorporaban cubiertas metálicas (González, 2004). Este cambio marcó una etapa clave en la transformación de la vivienda popular chocoana.

La vivienda tipo a la que se orientan muchas soluciones actuales en zonas sin acueducto es de planta rectangular, elevada del suelo, con división básica de espacios (sala con tarima, una alcoba común y cocina exterior sencilla), lo cual facilita también la incorporación de sistemas de captación de agua lluvia, gracias a la pendiente de los techos de zinc a dos aguas.

Así, aunque se reconoce la diversidad de tipologías de viviendas (circular indígena, casa campesina chocoana, vivienda urbana en madera), el desarrollo de soluciones habitacionales eficientes en el presente se centra en una tipología funcional: vivienda en madera con cubierta metálica, por su mayor viabilidad técnica y económica.

Para efectos prácticos y de viabilidad técnica en proyectos de intervención o mejora de vivienda en contextos rurales sin acceso a acueducto, se ha identificado que la combinación de estructura en madera y cubierta de zinc representa una alternativa más factible frente a las viviendas con techo de palma. Esta elección responde a criterios de durabilidad, disponibilidad local de materiales, facilidad de instalación y bajo mantenimiento, más que a una sustitución cultural o arquitectónica de la vivienda tradicional.

Las viviendas rurales en el departamento del Chocó presentan una gran diversidad tipológica, influenciada por factores geográficos, climáticos y socioculturales. No obstante, en zonas donde no existe acceso a servicios básicos como el acueducto, se han identificado

características constructivas comunes que responden a criterios de economía, disponibilidad de materiales y adaptación al entorno húmedo tropical.

Según los lineamientos del Departamento Nacional de Planeación (2025), las viviendas de interés social rural en Colombia suelen tener un área construida promedio entre 35 y 45 m², compuesta típicamente por una o dos habitaciones, un espacio destinado a cocina y, cuando es posible, un área para baño. Estas características se alinean con observaciones realizadas en zonas rurales del Chocó, donde muchas viviendas son autoconstruidas utilizando estructura de madera local y cubierta de zinc a dos aguas, lo cual favorece la evacuación de agua lluvia y facilita la implementación de sistemas de recolección pluvial.

El techo a dos aguas es una configuración estructural que divide la cubierta en dos planos inclinados que convergen en una cumbre central. Esta disposición permite que el agua lluvia escurra de forma natural hacia los laterales largos de la vivienda (es decir, hacia ambos lados del eje longitudinal del techo), donde se pueden instalar canaletas que recojan el agua y la dirijan a bajantes conectadas con sistemas de almacenamiento. Esta orientación de la caída del agua maximiza el rendimiento del sistema de captación y minimiza el riesgo de filtraciones hacia el interior de la estructura. Por su funcionalidad hidráulica, facilidad de ejecución y adaptabilidad a condiciones de alta pluviosidad, esta tipología de cubierta es ampliamente utilizada en viviendas rurales del Chocó.

Con base en estas referencias, se estima que una vivienda rural típica en el Chocó tiene una planta rectangular con un frente de entre 4 y 6 metros y un fondo de entre 6 y 10 metros, resultando en un área de cubierta promedio cercana a 40-60 m². Esta dimensión es especialmente relevante para los cálculos de captación de agua lluvia, dado que el techo constituye la superficie colectora principal en contextos sin red de acueducto.

Fase 2: Evaluación Técnica y Económica de Alternativas Tecnológicas

En el diseño de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia para viviendas familiares, especialmente en contextos de bajos recursos, es necesario considerar seis componentes funcionales: captación, filtración de residuos, filtración, almacenamiento, potabilización y distribución. Cada uno de estos elementos cumple una función específica dentro del sistema y permite garantizar la disponibilidad, calidad y accesibilidad del agua recolectada.

Con base en la caracterización realizada sobre las condiciones habitacionales del departamento del Chocó, se identifica una diversidad tipológica significativa en las viviendas rurales. Estas comprenden desde chozas con cubiertas de palma o paja, hasta estructuras palafíticas tradicionales elevadas sobre pilotes de madera, ubicadas en zonas ribereñas. No obstante, para efectos del desarrollo de la presente propuesta técnica, y considerando criterios de viabilidad constructiva, durabilidad y eficiencia en la captación de agua lluvia, se opta por centrar el análisis en un tipo de vivienda representativa en contextos sin acceso a redes de acueducto: la vivienda autoconstruida en madera con cubierta de zinc a dos aguas.

Este tipo de vivienda, común en sectores rurales dispersos y periurbanos del Chocó, suele tener una planta rectangular con dimensiones promedio que oscilan entre 40 y 60 m² de superficie cubierta. Las cubiertas de zinc, dispuestas en forma de techo a dos aguas, permiten que el agua lluvia escurra hacia ambos laterales largos de la vivienda, donde se instalan canaletas que canalizan el recurso hídrico hacia bajantes y sistemas de almacenamiento. Considerando una inclinación típica del techo de 30°, la superficie inclinada efectiva para la captación de agua lluvia se incrementa con respecto a la planta horizontal, estimándose entre aproximadamente 46,2 m² y 69,3 m².

La captación se refiere al proceso de recolección del agua lluvia desde superficies impermeables, comúnmente techos. En este componente se pueden implementar distintas alternativas según el material disponible y el tipo de vivienda: techos de lámina metálica, fibrocemento, teja esmaltada o concreto liso tratado con pintura impermeabilizante. Estos se complementan con canaletas en PVC o aluminio, que canalizan el agua hacia las bajantes. La eficiencia del sistema depende de la limpieza, la pendiente y el área de captación disponible.

Para una vivienda rural construida en madera con cubierta de zinc a dos aguas, cuya superficie inclinada de captación oscila entre aproximadamente 46,2 m² y 69,3 m², el volumen anual de agua lluvia potencialmente aprovechable dependerá de la intensidad pluviométrica local. En el departamento del Chocó, con base en los registros de precipitación promedio de los últimos 30 años en sus municipios, se observa una precipitación mínima de 2.213,8 mm, una máxima de 10.486,0 mm, un promedio general de 6.365 mm y una mediana de 6.494,2 mm. Aplicando estos valores a las superficies de captación estimadas, y considerando un coeficiente de escorrentía de 0,8 para cubiertas metálicas, se calcula un volumen anual de captación aproximado mediante la fórmula:

$$\text{Volumen (m}^3\text{)} = \text{Área del techo (m}^2\text{)} \times \text{Precipitación anual (mm)} \times \text{Coef lluvia}$$

$$V_{\min} = 46,2 \times 2213 \times 0,8 = 81,8 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$V_{\max} = 69,3 \times 10486 \times 0,8 = 580,6 \text{ m}^3/\text{año}$$

Por tanto, una vivienda de estas características podría captar entre 81,9 m³ y 580,6 m³ de agua al año, dependiendo de su ubicación específica dentro del Chocó.

Es pertinente evaluar el comportamiento del sistema frente a eventos individuales de lluvia, ya que esto permite estimar la frecuencia de recarga del sistema de almacenamiento doméstico. Para ello, se considera una vivienda con una superficie de captación efectiva de 46,2-

69,3 m², correspondiente al techo a dos aguas con inclinación de 30°, y se asume un coeficiente de esorrentía de 0,8, adecuado para cubiertas metálicas.

A partir de diferentes intensidades de lluvia, representativas de eventos comunes en la región, se obtienen los siguientes volúmenes de agua captada, que incluyen la superficie total de captación de ambos faldones en la vivienda:

Para una vivienda con 46,2 m² de superficie de captación:

- Una lluvia ligera (10 mm) permite recolectar aproximadamente 369,6 litros.
- Una lluvia moderada baja (20 mm) genera 739,2 litros.
- Una lluvia moderada alta (30 mm) alcanza 1.108,8 litros, suficiente para llenar un tanque de 1.000 litros.
- Una lluvia fuerte (50 mm) permite captar hasta 1.848 litros.

Para una vivienda con 69,3 m² de superficie:

- Con lluvia ligera (10 mm), se recolectan 554,4 litros.
- Con lluvia moderada baja (20 mm), se obtienen 1.108,8 litros.
- Una lluvia moderada alta (30 mm) alcanza 1.663,2 litros.
- Una lluvia fuerte (50 mm) permite recolectar 2.772 litros.

Para el diseño técnico de sistemas de captación de agua lluvia en viviendas con techos de zinc a dos aguas, cuya superficie inclinada varía entre 46,2 m² y 69,3 m², y aplicando un coeficiente de esorrentía de 0,8, se pueden estimar los volúmenes captables durante distintos eventos de precipitación. Durante una lluvia ligera de 10 mm, los volúmenes oscilan entre 369,6 litros y 554,4 litros. En el caso de una lluvia moderada de 20 mm, se recolectan entre 739,2 litros y 1.108,8 litros, mientras que, en una lluvia fuerte de 30 mm, la captación puede alcanzar entre 1.108,8 litros y 1.663,2 litros. Para eventos más intensos, como una lluvia muy fuerte de 50 mm,

los volúmenes recogidos pueden superar los 1.800 litros, llegando hasta aproximadamente 2.772 litros en viviendas con mayor superficie de captación.

En síntesis, el rango técnico sugerido para tanques de almacenamiento en viviendas rurales del Chocó, considerando su capacidad de captación y los patrones de lluvia locales, puede oscilar entre 750 litros (como capacidad mínima funcional que permite aprovechar lluvias ligeras) y 2.500 litros (como capacidad óptima para almacenar excedentes en zonas de alta pluviosidad). Es importante tener en cuenta que se está considerando el uso de ambos faldones de la vivienda, es decir, disponer de toda el área de captación del techo, sin embargo, aun usando solo un faldón un lado del techo, con una lluvia ligera se puede alcanzar una capacidad de llenado de 185L aproximadamente.

Para el diseño del componente de almacenamiento de los sistemas de captación de agua lluvia en viviendas del departamento del Chocó, se realizó un análisis técnico considerando las variaciones espaciales en la pluviosidad regional. La caracterización se basó en los datos pluviométricos de 32 estaciones meteorológicas reportadas por el IDEAM (2025), correspondientes al periodo 1991–2020, los cuales evidencian un régimen de lluvias altamente activo, aunque con diferencias sustanciales entre las distintas subregiones del departamento.

En las zonas de alta pluviosidad, representadas por municipios como Quibdó, Nóvita, Cértegui y Medio San Juan, se registran precipitaciones anuales superiores a los 8.500 mm y una frecuencia de lluvias que supera los 280 días al año. Estas condiciones permiten una recarga casi permanente del sistema de almacenamiento, con una recolección diaria promedio cercana a los 1.010 litros, considerando un área de captación de 40 m² y una eficiencia del 85 %. Bajo este escenario, un tanque con capacidad de 1.250 litros, diseñado para cubrir cinco días consecutivos

sin lluvia, resulta adecuado para atender las necesidades de una vivienda con cinco personas y un consumo básico de 50 litros por persona al día o inferior.

En las zonas de pluviosidad media, como Istmina, Medio Atrato, Alto Baudó y Lloró, los volúmenes anuales rondan los 6.500 mm, con alrededor de 200 días lluviosos al año. En estos municipios, el sistema puede recolectar aproximadamente 1.105 litros diarios bajo las mismas condiciones de captación, lo cual también permite garantizar la cobertura de cinco días de autonomía con un tanque de 1.250 litros.

Por otro lado, en las zonas de baja pluviosidad, como Unguía, Riosucio y Acandí, los volúmenes de precipitación anual descienden a valores próximos a los 2.800 mm y la frecuencia de días con lluvia no supera los 130 por año. En este contexto, el volumen diario recolectado es inferior a 800 litros, lo cual reduce la autonomía del sistema a poco más de tres días si se mantiene una capacidad de almacenamiento de 1.250 litros.

Aunque el análisis técnico realizado con base en la precipitación promedio, la frecuencia de días con lluvia y el consumo doméstico por vivienda en las distintas zonas del departamento del Chocó indica que la capacidad óptima de almacenamiento se sitúa en 1.250 litros para garantizar una autonomía de cinco días sin precipitación, este volumen no corresponde a una medida estándar disponible comercialmente. En el mercado nacional, los tanques plásticos de uso domiciliario más comúnmente disponibles corresponden a capacidades de 500, 1.000, 1.500 y 2.000 litros, siendo el modelo de 1.000 litros el más accesible, tanto en términos de costo como de disponibilidad en entornos urbanos y rurales.

En términos de capacidad hidráulica, se contemplan cinco escenarios representativos, correspondientes a lluvias con acumulaciones de 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm y 50 mm por hora, las cuales reflejan desde precipitaciones ligeras hasta eventos fuertes de corta duración,

frecuentes en la región. Con una superficie inclinada de captación de 46.2m² (se considera esta superficie dado que es la situación límite para el diseño), y considerando un coeficiente de escorrentía de 0,8, se estiman los siguientes rangos de caudal de entrada al sistema, aplicando la fórmula:

$$Q = A * I * C$$

Q: Caudal en m³/h

A: Superficie en m²

I: es la intensidad de la lluvia en m/h

C: Coeficiente de escorrentía (0,8)

Los caudales obtenidos para cada intensidad de lluvia, contando una superficie de 46,2m² y un coeficiente de escorrentía de 0,8:

Lluvia 10mm/h: Q₁=0,37 m³/h

Lluvia 20mm/h: Q₂= 0,74 m³/h

Lluvia 30mm/h: Q₃= 1.11 m³/h

Lluvia 40mm/h: Q₄= 1.48 m³/h

Lluvia 50mm/h: Q₅= 1.85 m³/h

En una vivienda con 46,2 m² de superficie de captación, los caudales generados por eventos de lluvia pueden variar entre 0,37 m³/h (para una lluvia ligera de 10 mm/h) y 1,85 m³/h (para una lluvia fuerte de 50 mm/h). Al dividirse el flujo en dos vertientes, el caudal que cada lado del techo aporta a su respectiva canaleta y bajante oscila entre 0,18 m³/h y 0,93 m³/h.

En el diseño del sistema de conducción de agua lluvia en viviendas rurales del Chocó, se considera una superficie de captación inclinada de 46,2 m², correspondiente a techos de zinc a dos aguas instalados sobre viviendas con planta rectangular de 4 metros de frente por 10 metros

de fondo. Para evaluar el comportamiento hidráulico del sistema, se contemplan dos escenarios representativos: una lluvia ligera de 10 mm/h y una lluvia fuerte de 50 mm/h.

En el primer caso, una precipitación de 10 mm/h genera un caudal total de aproximadamente 0,37 m³/h, mientras que en el segundo caso, una lluvia intensa de 50 mm/h produce un caudal cercano a 1,85 m³/h. Como el techo está dividido en dos faldones, el caudal por vertiente varía entre 0,19 m³/h (lluvia ligera) y 0,93 m³/h (lluvia intensa). Estos caudales representan el rango operativo que deben manejar las canaletas y bajantes del sistema sin presentar rebose o acumulaciones.

Para conducir adecuadamente los volúmenes de agua lluvia generados en una cubierta de 46,2 m² durante eventos de precipitación. En un techo a dos aguas dispuesto sobre una vivienda de 4 metros de frente por 10 metros de fondo, el escurrimiento se dirige naturalmente hacia los dos laterales largos del techo, por lo que cada faldón requiere una canaleta que recorra toda su longitud, es decir, 10 metros lineales por lado.

Durante un evento de lluvia fuerte con una intensidad de 50 mm/h, el volumen de agua que debe ser conducido alcanza un máximo de 0,93 m³/h por canaleta, valor que representa el caudal por cada lado. Para este caso, una canaleta rectangular de 160 mm de ancho por 90 mm de alto, o una sección equivalente, resulta técnicamente adecuada. Esta geometría ofrece un área hidráulica suficiente y un radio hidráulico que, combinados con una pendiente mínima del 1 %, permiten evacuar caudales de hasta 57 m³/h, lo cual supera ampliamente el requerimiento de diseño (0,93 m³/h), asegurando un desempeño confiable incluso ante obstrucciones parciales o errores de instalación.

Para determinar el caudal del canal se utiliza la fórmula de Manning, que es la herramienta estándar para calcular el caudal en canales abiertos o parcialmente llenos, como lo son las canaletas ubicadas al pie de los faldones de los techos:

Se tienen como referencia para el cálculo de la canaleta rectangular: 160mm x 90mm

$$Q = (1/n) * A * R^{(2/3)} * S^{(1/2)}$$

Q: Caudal

A: área hidráulica del canal

R: radio hidráulico= A/P

P: Perímetro mojado del canal

S: Pendiente de fondo

n: coeficiente de Manning: 0,011 (para PVC o lámina galvanizada lisa)

Se calcula el área hidráulica:

$$A = b \times h = 0,16 \times 0,09 = 0,0144 \text{ m}^2$$

Perímetro mojado:

$$P = b + 2h = 0,16 + 2 \times 0,09 = 0,34 \text{ m}$$

$$R = A/P = 0,0144 \text{ m}^2 / 0,34 = 0,0424 \text{ m}$$

$$Q = (1/n) * A * R^{(2/3)} * S^{(1/2)}$$

$$Q = (1/0,011) * 0,0144 * (0,0424)^{(2/3)} * (0,01)^{(1/2)}$$

$$Q = 90,91 * 0,0144 * 0,1223 * 0,1 = 0,0159 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 57,24 \text{ m}^3/\text{h}$$

La pendiente del 1 %, equivalente a una caída de 1 centímetro por cada metro lineal, es un criterio fundamental para mantener el agua en movimiento a lo largo del canal. Esta

inclinación favorece un flujo estable y gravitacional hacia los puntos de descarga, reduce la formación de sedimentos o acumulaciones en tramos horizontales y alivia la carga estructural sobre el sistema. Además, facilita el autolimpieza del conducto durante las primeras lluvias, contribuyendo a la durabilidad y funcionamiento continuo del sistema de recolección.

Una vez recolectada, el agua fluye desde la canaleta hacia un bajante vertical, cuyo diseño debe garantizar la evacuación completa del caudal sin generar sobrepresión ni taponamientos. Para un caudal de hasta 0,93 m³/h, una tubería de 3 pulgadas de diámetro (aproximadamente 76 mm) es técnicamente adecuada. Este tipo de bajante, en configuración vertical y con flujo libre, tiene una capacidad de conducción hidráulica estimada de 29,4 m³/h.

Esta sobredimensión relativa es intencional, ya que permite manejar picos de caudal momentáneo, prevenir obstrucciones por residuos y garantizar el buen desempeño del sistema en condiciones adversas.

$$Q=A*V$$

A: Área transversal de la tubería

V: Velocidad del flujo

$$A= \pi*(D/2)^2=\pi*(0,076/2)^2=0,00454m^2$$

En bajantes verticales sin presión, se puede asumir una velocidad práctica del agua de 1.5 a 2.0m/s, que considerando pérdidas menores y condiciones reales de operación se puede moderar a una velocidad media de 1.8m/s.

$$Q=A*V=0,0454m^2*1.8m/s=0,00817m^3/s$$

$$Q=0,00817m^3/s*3600s/h=29,4m^3/h$$

Evidenciando que un bajante de dimensiones de diámetro de 3 pulgadas resulta más que suficiente para el flujo estimado por lluvia de intensidad alta 50mm/h, que genera un caudal de 0,93m³/h sobre una de los lados del techo.

En cuanto a los materiales disponibles para conformar el sistema de conducción, se consideran tres alternativas viables y utilizadas en contextos rurales de Colombia. La primera es la canaleta en lámina galvanizada, fabricada artesanalmente en talleres locales, que ofrece una solución económica y adaptable a las dimensiones específicas del techo. La segunda opción es la canaleta plástica convencional, disponible comercialmente en tramos modulares y fácil de instalar, especialmente indicada cuando se requiere durabilidad y bajo mantenimiento. Finalmente, se contempla la canaleta artesanal elaborada a partir de un tubo de PVC cortado longitudinalmente, ampliamente empleada en procesos de autoconstrucción por su bajo costo y buena capacidad hidráulica.

La filtración de residuos corresponde a la eliminación de sólidos grandes arrastrados por la primera fracción de la lluvia, como hojas, excrementos de aves o polvo. Las soluciones más comunes incluyen sistemas de primera descarga por gravedad (tubos con válvula inferior), dispositivos de cierre automático con flotador y mallas metálicas o plásticas colocadas en las canaletas. Estos elementos permiten proteger el sistema de tratamiento posterior y reducir la frecuencia de mantenimiento.

La filtración implica un tratamiento más fino del agua recolectada, mediante el cual se eliminan partículas en suspensión, materia orgánica, turbidez y algunos microorganismos. Las alternativas tecnológicas incluyen filtros rápidos de arena y grava, filtros multicapa con carbón activado, filtros cerámicos de gravedad y filtros con zeolitas. La elección dependerá del uso previsto del agua y del grado de calidad requerido antes de su desinfección final.

La potabilización es el proceso mediante el cual el agua se desinfecta para garantizar su inocuidad para el consumo humano. Las opciones más utilizadas en viviendas son la cloración manual (hipoclorito de sodio en dosis controladas), la cloración automática mediante dosificadores, la luz ultravioleta y, en algunos casos, la combinación de filtros cerámicos con métodos químicos. La selección debe asegurar una reducción efectiva de bacterias, virus y protozoos, adaptada a la capacidad de operación local.

La distribución comprende el mecanismo de entrega del agua almacenada a los puntos de uso dentro de la vivienda. Puede realizarse por gravedad —utilizando grifos conectados directamente al tanque elevado— o por bombeo mediante sistemas eléctricos de baja potencia. En sistemas sencillos, se puede emplear baldeo o distribución directa desde una llave inferior, siempre procurando condiciones higiénicas adecuadas.

A continuación, se muestra el resumen de las cantidades y dimensiones para tener en cuenta en el desarrollo de las alternativas de solución basado en el tipo de vivienda y condiciones del departamento del Chocó:

Tabla 10

Dimensionamiento sistema de agua lluvia

Elemento del sistema	Cantidad	Descripción
Tanque de almacenamiento	1 Tanque de 1000 L	Considerando un solo faldón del techo (un lado inclinado), con lluvias ligeras, puede captarse hasta el 18 % de la capacidad del tanque en viviendas de 40 m ² .
Canaletas (una por faldón, un lado del techo)	10 metros lineales, sección transversal 160mmx90mm es suficiente.	En una vivienda de hasta 60 m ² , una canaleta de 10 metros con sección rectangular como la mencionada y pendiente mínima del 1 % puede evacuar caudales de hasta 0,93 m ³ /h por faldón, siendo su capacidad hidráulica calculada de 57 m ³ /h, muy superior al requerimiento
Bajante	3 metros tubería 3 pulgadas. Sección transversal diámetro 76mm-3"	Se instala una bajante por cada faldón. La longitud promedio es de 3 metros, y el diámetro de 3 pulgadas permite evacuar hasta 29 m ³ /h, con un amplio margen frente al caudal estimado de 0,93 m ³ /h por faldón..

Nota. Elaboración propia.

Figura 4

Vivienda Chocó



Nota. Vivienda rural típica de madera con techo a dos aguas, imagen generada como referencia

Identificación y Descripción de Alternativas Tecnológicas para el Sistema

Para abordar de manera efectiva las necesidades de captación, almacenamiento, tratamiento y distribución de agua, se han identificado varias alternativas de solución que varían en complejidad, costo y aplicación. A continuación, se presentan las alternativas propuestas, junto con una descripción detallada de los elementos que la conforman con sus diferentes dimensiones:

Tabla 11

Alternativas de Solución

Componente	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Captación	Se utiliza un techo preexistente de lámina metálica de zinc o fibrocemento, con un área aproximada de 40 a 60 m ² , correspondiente a la estructura de la vivienda. La superficie requiere limpieza periódica para asegurar la calidad del	Se utiliza un techo preexistente de lámina metálica de zinc o fibrocemento, con un área aproximada de 40 a 60 m ² , correspondiente a la estructura de la vivienda. La superficie requiere limpieza periódica para	Se propone un techo de concreto o metálico, con un área de 40 a 60 m ² , al que se le aplica una pintura impermeable que mejora la recolección de agua lluvia y reduce la adsorción de contaminantes en la superficie. Esta intervención

	agua lluvia recolectada, debido a la posible acumulación de suciedad y materia orgánica.	asegurar la calidad del agua lluvia recolectada, debido a la posible acumulación de suciedad y materia orgánica.	permite una captación más eficiente y con menor carga orgánica inicial.
Canales y bajantes	Canaletas de fabricación artesanal, elaboradas mediante el corte longitudinal de tubos de PVC de 4 pulgadas largo 10m, Con capacidad hidráulica estimada de 21,89 m ³ /h, adecuada para techos con área de captación entre 40 y 60 m ² . Bajantes de PVC de 3 pulgadas de diámetro y 3 metros de altura, cuya capacidad hidráulica es de aproximadamente 29 m ³ /h.	Canaletas de PVC prefabricada de 160 × 90 mm (10 m por lado) y bajantes de 3" (76 mm de diámetro, 3 m de altura). Capacidad hidráulica: canaleta 57 m ³ /h, bajante 29 m ³ /h.	Canaletas de PVC prefabricada de 160 × 90 mm (10 m por lado) y bajantes de 3" (76 mm de diámetro, 3 m de altura). Capacidad hidráulica: canaleta 57 m ³ /h, bajante 29 m ³ /h.
Filtración de residuos	Sistema artesanal de primera descarga con tubo vertical de PVC de 3" y 1 metro de altura, cerrado con tapón roscado o válvula manual, para descartar los primeros 5–6 litros de lluvia. Elementos: tubo PVC 3" x 1 m, codo 90°, tapón o válvula manual, abrazaderas.	Sistema artesanal de primera descarga con tubo vertical de PVC de 3" y 1 metro de altura, cerrado con tapón roscado o válvula manual, para descartar los primeros 5–6 litros de lluvia. Elementos: tubo PVC 3" x 1 m, codo 90°, tapón o válvula manual, abrazaderas.	Dispositivo de primera descarga con válvula de flotador o cierre automático, que detiene el paso del agua una vez se llena el volumen destinado a captar contaminantes iniciales. Este diseño mejora la eficiencia del sistema y reduce la intervención del usuario. Se requiere tubo PVC 3" x 1 m, derivación tipo "Y" o "T", válvula de flotador o de cierre, anclajes.
Almacenamiento	Tanque plástico de 1.000 litros, con tapa hermética y salidas acondicionadas con malla en la entrada y grifo en la salida. El tanque se instala sobre una base elevada y en zona sombreada para reducir la exposición solar, lo que ayuda a limitar el crecimiento de algas. Elementos: tanque plástico 1.000 L, tapa ajustada, malla de entrada, grifo de salida, estructura de soporte elevada.	Tanque de polietileno o plástico de 1.000 litros, con tapa hermética, respiradero con filtro y salida inferior conectada directamente al sistema de tratamiento. Esta configuración mejora el control de presión interna y la calidad del almacenamiento.	Tanque de 1.000 litros con protección contra radiación UV, tapa hermética, y un sistema de entrada tipo calma, que permite el ingreso del agua sin alterar los sedimentos decantados, conservando la calidad del almacenamiento. Elementos: tanque tricapa o con recubrimiento UV, tapa hermética, entrada tipo calma, salida inferior, base reforzada y protegida del sol.
Filtración	filtro rápido de arena construido con materiales disponibles localmente, compuesto por capas de grava, arena fina y carbón vegetal activado. Este sistema reduce la turbidez, olores y parte de la materia orgánica presente en el agua, con un diseño de bajo costo y fácil mantenimiento. Elementos: recipiente plástico o tambor reutilizado, grava lavada, arena fina, carbón	Filtración de dos etapas: un prefiltro de malla metálica para sólidos grandes, seguido por un filtro de grava, arena y carbón activado alojado en un contenedor cerrado, lo cual mejora la calidad del agua tratada y prolonga la vida útil del sistema. Elementos: malla metálica, recipiente plástico cerrado, capas filtrantes (grava, arena,	sistema de filtración multietapa con conexión eléctrica, que integra prefiltro de sedimentos, cartuchos de carbón activado, membrana de microfiltración o ultrafiltración, y lámpara UV. Este tipo de filtro asegura alta calidad microbiológica del agua y está diseñado para uso en consumo humano directo.

	vegetal, tela o malla de contención.	carbón activado), conexiones hidráulicas.	Elementos: unidad de filtración compacta con bomba eléctrica integrada, cartuchos filtrantes múltiples, conexión a red eléctrica (110 V), grifo dispensador.
Potabilización	<p>cloración manual mediante la adición de hipoclorito de sodio (1–2 gotas por litro), seguido de agitación y reposo durante al menos 30 minutos. Esta técnica es de bajo costo, no requiere energía eléctrica y, si se aplica correctamente, garantiza la eliminación de bacterias patógenas.</p> <p>Elementos: frasco de hipoclorito de sodio comercial, recipiente de mezcla, dosificador casero (cuentagotas o jeringa).</p>	<p>Sistema de cloración dosificada manual combinado con un filtro cerámico tipo vela o cartucho por gravedad. Este método no requiere electricidad y mejora la calidad microbiológica, eliminando partículas finas y microorganismos.</p> <p>Elementos: dosificador de cloro, unidad de filtración cerámica por gravedad (portafiltro, vela o cartucho), recipiente de almacenamiento.</p>	<p>Sistema de desinfección con luz ultravioleta (UV) de uso doméstico, complementado con una dosificación automática de cloro. Esta configuración asegura una potabilidad continua y confiable, apta para consumo humano directo, y requiere conexión eléctrica.</p> <p>Elementos: lámpara UV con carcasa, bomba o derivación hidráulica, dosificador automático de cloro, conexión eléctrica (110 V).</p>
Distribución	<p>El sistema opera por gravedad o mediante baldeo, permitiendo la extracción manual del agua desde un grifo ubicado en la base del tanque. No requiere energía eléctrica y puede ser gestionado por los propios usuarios con mantenimiento básico.</p> <p>Elementos: grifo plástico de salida, base elevada, recipiente de recolección (balde o bidón).</p>	<p>El sistema opera por gravedad o mediante baldeo, permitiendo la extracción manual del agua desde un grifo ubicado en la base del tanque. No requiere energía eléctrica y puede ser gestionado por los propios usuarios con mantenimiento básico.</p> <p>Elementos: grifo plástico de salida, base elevada, recipiente de recolección (balde o bidón).</p>	<p>Sistema con una bomba eléctrica de baja potencia, que impulsa el agua con presión constante hacia los principales puntos de uso (cocina, baño, lavado). Incorpora una válvula antirretorno para evitar reflujo y garantizar eficiencia en el suministro.</p> <p>Elementos: bomba eléctrica (0,5 HP aprox.), tubería de presión, grifos de servicio, válvula antirretorno, alimentación eléctrica (110 V).</p>
Aplicación	<p>Recomendada para viviendas rurales con recursos limitados, sin acceso permanente a servicios eléctricos o infraestructura técnica. Su diseño sencillo, de bajo costo y fácil mantenimiento, permite su implementación por parte de los propios usuarios en contextos de alta vulnerabilidad hídrica</p>	<p>Apta para viviendas rurales o periurbanas con acceso básico a servicios de fontanería, donde se requiere un equilibrio entre bajo consumo energético, mejoras en la calidad del agua y accesibilidad operativa. Su nivel de inversión es intermedio y ofrece una solución funcional y adaptable.</p>	<p>Diseñada para viviendas periurbanas o rurales consolidadas, con disponibilidad estable de energía eléctrica y requerimientos superiores de calidad del agua. Su configuración avanzada requiere mayor inversión inicial, pero garantiza alta eficiencia en potabilización, distribución y sostenibilidad operativa.</p>

Nota. Elaboración propia.

La Alternativa 1 se presenta como una solución de bajo costo, diseñada para ser implementada en viviendas rurales con recursos limitados y sin acceso continuo a energía eléctrica o infraestructura técnica. Su configuración aprovecha elementos disponibles

localmente, como techos preexistentes y canaletas de fabricación artesanal, lo que reduce significativamente los costos de adquisición y montaje. Los procesos de filtración y potabilización son sencillos y manuales, lo cual facilita el mantenimiento autónomo por parte de los usuarios. Sin embargo, esta alternativa ofrece una capacidad de tratamiento y un nivel de control sanitario más limitado en comparación con opciones tecnológicamente más avanzadas.

El funcionamiento del sistema inicia con la captación del agua lluvia sobre un techo de lámina metálica o fibrocemento, la cual es conducida mediante canaletas artesanales construidas con tubos de PVC cortados longitudinalmente. El agua desciende por bajantes de 3", pasando primero por un dispositivo de primera descarga manual, que retiene los primeros litros contaminados de cada lluvia. Posteriormente, el agua se dirige directamente al tanque de almacenamiento plástico de 1.000 litros, el cual cuenta con tapa hermética y malla en la entrada. Para el consumo, el agua es extraída del tanque y pasa por un filtro rápido de arena de 50 litros, compuesto por capas de grava, arena fina y carbón vegetal activado. Finalmente, se realiza la cloración manual con hipoclorito de sodio, dosificado en un recipiente con reposo mínimo de 30 minutos antes del uso.

La Alternativa 2 constituye una opción de nivel intermedio que busca equilibrar el costo con mejoras en funcionalidad y eficiencia. Aunque también emplea techos preexistentes, incorpora componentes prefabricados como canaletas industriales, sistema de trampa manual y filtración cerrada de dos etapas. Estas características permiten una mejor retención de sólidos y una mayor estabilidad en la calidad del agua recolectada. Además, el sistema de distribución interna por gravedad mejora el acceso sin requerir energía eléctrica, haciendo de esta alternativa una opción funcionalmente superior y adaptable para contextos rurales o periurbanos con infraestructura básica disponible.

El agua lluvia es captada desde un techo preexistente y conducida por canaletas prefabricadas de PVC y bajantes de 3” hacia un filtro tipo trampa manual, que permite descartar los primeros litros contaminados mediante un tubo vertical con válvula. A continuación, el flujo entra al tanque de almacenamiento de 1.000 litros, equipado con tapa hermética, malla de entrada y respiradero filtrado. El tratamiento del agua se realiza después del almacenamiento, mediante una filtración de dos etapas, que combina un prefiltro de malla metálica y un filtro cerrado con grava, arena y carbón activado. Finalmente, se aplica una cloración manual y el agua es tratada a través de un filtro cerámico por gravedad antes de su consumo.

La Alternativa 3 se plantea como la solución más robusta y tecnológicamente avanzada, adecuada para viviendas periurbanas o rurales consolidadas con disponibilidad estable de energía eléctrica. Esta alternativa incluye mejoras significativas en la captación mediante tratamiento de superficie impermeabilizada, así como en la filtración y potabilización mediante un sistema multietapa con conexión eléctrica, que incorpora prefiltrado, membranas especializadas y desinfección por luz ultravioleta. A esto se suma una red de distribución presurizada mediante bomba, que facilita el acceso al agua en diferentes puntos de la vivienda con presión constante. Aunque su implementación implica una inversión inicial más alta, ofrece mayores niveles de calidad, seguridad sanitaria y confort operativo.

El sistema comienza con la captación del agua lluvia sobre un techo tratado con pintura impermeabilizante, lo que mejora la eficiencia y reduce la carga orgánica. El agua es canalizada mediante canaletas prefabricadas y bajantes de 3” hacia un sistema de primera descarga con válvula automática, antes de ingresar al tanque tricapa de 1.000 litros con entrada tipo calma. Luego del almacenamiento, el agua es sometida a una filtración multietapa con conexión eléctrica, que incluye prefiltro de sedimentos, cartuchos de carbón activado, membrana de

ultrafiltración y una lámpara UV. Complementariamente, se instala un dosificador automático de cloro y una segunda lámpara UV si se desea redundancia en desinfección. Finalmente, una bomba de 0,5 HP impulsa el agua a través de una red de distribución presurizada hacia distintos puntos de uso dentro de la vivienda.

Estimación de Costos de Alternativas Mediante Consulta a Proveedores o Expertos

La estimación de costos en proyectos como los sistemas de captación de agua lluvia es una actividad clave dentro del área de conocimiento de Gestión de los Costos del Proyecto, según la Guía del PMBOK®. Esta práctica permite determinar de manera aproximada los recursos financieros requeridos para completar cada alternativa técnica del sistema, considerando componentes como captación, conducción, filtración, almacenamiento, potabilización y distribución. En este análisis se aplican procesos del dominio de planificación, específicamente la estimación de costos, que involucra herramientas como estimaciones análogas y detalladas, así como el análisis de alternativas. Las tres propuestas evaluadas comprenden variaciones en materiales y tecnologías que impactan de manera directa el presupuesto total del proyecto, lo cual requiere un análisis cuidadoso de cada ítem para seleccionar la opción más eficiente en términos de costo-beneficio, sin comprometer la funcionalidad, sostenibilidad ni la calidad del agua tratada.

Tabla 12

Estimación de Costo de Alternativas

Alternativa	Tipo	Elemento	Cantidad	Valor unitario	Valor total	Fuente de consulta
Alternativa 1	Captación	Techo preexistente de lámina metálica o fibrocemento (40–60 m²)	0	\$ 0,00	\$ 0,00	NA
	Canaleta y bajante	2 tubos de PVC de 4" (pulgadas), longitud 6 m c/u, para corte longitudinal (12 m totales, cubren 10 m útiles más margen de instalación)	2	\$ 94.600,00	\$ 189.200,00	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/65854/tubo-sanitario-4-x-6-mts/65854
		1 tubos de PVC de 3", longitud 6 m c/u (6 m de bajantes)	1	\$ 69.000,00	\$ 69.000,00	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/65853/tubo-sanitario-3-x-6-mts/65853/
		codos de PVC de 3"	2	\$ 8.157,00	\$ 16.314,00	https://mitedacoval.com/sanitaria-y-ventilacion/-codo-90-x-3-cxc-sanitaria-gerfor-?srsltid=AfmBOopE2gkOj3gmr-f0pYNj4rL3eIsHRXp7e1eINjgLNUZIV6w1bkHZ&

	Abrazaderas metálicas para fijación de bajantes (aleta doble)	4	\$ 2.200,00	\$ 8.800,00	https://interelctricas.com.co/tuberia-metalica-y-pvc/946-grapa-metalica-aleta-doble-3-pulg-.html
	Soportes artesanal metálico para canaletas o abrazadera metálicas	12	\$ 4.050,00	\$ 48.600,00	https://interelctricas.com.co/tuberia-metalica-y-pvc/924-abrazadera-ajustable-4-pulg-acero-inoxidable.html
	Pegamento para PVC 118ml	2	\$ 14.900,00	\$ 29.800,00	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/344979/pegamento-pvc-cpvc-secado-rapido-118ml/344979/
	Cinta selladora de caucho 10m	1	\$ 22.900,00	\$ 22.900,00	https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-2666285238-cinta-adhesiva-tapa-reparar-gotera-impermeabilizante-5cm-10m- JM
	tubo de PVC de 3", longitud 1 m	1	\$ 0,00	\$ 0,00	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/65853/tubo-sanitario-3-x-6-mts/65853/
filtro trampa	tapón roscado o válvula de limpieza manual para PVC de 3"	1	\$ 18.300,00	\$ 18.300,00	https://aldiaferreteria.com/accesorios/1340-tapon-roscado-pvc-presion-de-3-pavco?srslid=AfmBOoqwT47lpB_SF9g4K5mxVII_M2r4hLQHivYfnGhUyfybrGHISe2
	abrazaderas metálicas para soporte del tubo vertical	4	\$ 2.200,00	\$ 8.800,00	https://interelctricas.com.co/tuberia-metalica-y-pvc/946-grapa-metalica-aleta-doble-3-pulg-.html
	1 caneca plástica de 50 litros, con tapa (tipo pintura o alimentación animal)	1	\$ 89.900,00	\$ 89.900,00	https://www.mercadolibre.com.co/caneca-tanque-multiuso-plastico-50-litros-con-tapa-y-manijas-color-verde/p/MCO50214596?searchVariation=MCO50214596#polycard_client=search-nordic&searchVariation=MCO50214596&backend_model=search-backend&position=8&search_layout=grid&type=product&tracking_id=61aedfaf-47a5-4971-9910-9fadca83ae0c&wid=MCO2875760248&sid=search
	8 kg de grava lavada (comercializada en sacos de 40 kg o a granel por arrobas)	1	\$ 12.000,00	\$ 12.000,00	https://www.miacuariodulce.com.co/gravas/205-grava-de-silice-x-1-kg.html
Filtración	8 kg de arena fina de río (lavada y tamizada)	1	\$ 2.584,00	\$ 2.584,00	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/297067/arena-de-rio-40kg/297067/
	2 kg de carbón vegetal activado (puede adquirirse a granel o en paquetes de 1 kg)	1	\$ 37.776,00	\$ 37.776,00	https://www.mercadolibre.com.co/carbon-activado-granulado-activo-filtro-acuario-pecera-1-kg/p/MCO36481051#polycard_client=search-nordic&searchVariation=MCO36481051&position=5&search_layout=st&ack&type=product&tracking_id=3bc71929-2ad2-46e9-ba50-04996339e8b2&wid=MCO1420759371&sid=search
	0,5 m² de malla de nylon o tela mosquitera fina (5m2 unidad mínima)	1	\$ 68.182,00	\$ 68.182,00	https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-576572356-malla-mosquitera-plastica-verde-060m-x-30m-toolcraft-tc1018- JM
	1 grifo plástico de salida de 1/2"	1	\$ 6.800,00	\$ 6.800,00	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/120943/llave-terminal-plastica-jardin-1-2-pulgada/120943/
	1 tanque plástico de 1.000 litros, tipo vertical, con salida roscada inferior de 1" y 1 tapa hermética con rosca	1	\$ 487.900,00	\$ 487.900,00	https://www.soluenvases.com/product-page/tanque-1000-litros-tapa-plana?
Almacenamiento	1 malla plástica o metálica (rejilla antiinsectos) para entrada superior	1	\$ 0,00	\$ 0,00	Sirve malla de nylon o tela mosquitera
	1 grifo plástico de salida de 1/2"	1	\$ 6.800,00	\$ 6.800,00	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/120943/llave-terminal-plastica-jardin-1-2-pulgada/120943/
	1 base de bloques de concreto (mínimo 4 bloques + nivelación) o madera tratada	4	\$ 5.300,00	\$ 21.200,00	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/371906/bloque-liso-14-gris-14x19x39cm-13mpa-125und-mt2/371906/
Potabilización	1 frasco de hipoclorito de sodio al 5% (500 mL, uso doméstico)	1	\$ 5.100,00	\$ 5.100,00	https://dentaldokter.com/products/hipoclorito-de-sodio-al-5-fco-x120-ml-prodont?srslid=AfmBOoqvnKi0pNFSKv3vDzOjZq9xoG8Of8VekVjfoYbB6wGV1fDkEoNn

Captación	1 jeringa de 5 mL o cuentagotas	1	\$ 790,00	\$ 790,00	https://www.larebajavirtual.com/jeringa-inverfarma-5-ml-3p-145619/p?srsltid=AfmBOorix-iHgn2LoFmiKjHN0bOdrjYRqqL2Dn93uftRwXAQRdX9-8
	1 balde plástico con tapa (mínimo 10 L) para dosificación y reposo	1	\$ 9.490,00	\$ 9.490,00	https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-2861878888-balde-10-lt-plastico-multicolor-_JM
	Techo preexistente de lámina metálica o fibrocemento (40–60 m²)	0	\$ 0,00	\$ 0,00	NA
	10 metros lineales de canaleta prefabricada de PVC tipo 160 × 90 mm (disponible en tramos de 3m)	4	\$ 66.500,00	\$ 266.000,00	https://supertechos.com.co/products/canal-en-pvc-3m?srsltid=AfmBOorxyvGNriygwbu_02K1yDw0lvjSmFBUbdFJF3Tv7AteJOLZ0Rq&
Canaleta y bajante	1 tubos de PVC de 3", longitud 6 m c/u (6 m de bajantes)	1	\$ 69.000,00	\$ 69.000,00	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/65853/tubo-sanitario-3-x-6-mts/65853/?
	codos de PVC de 3"	2	\$ 8.157,00	\$ 16.314,00	https://mitiendacoval.com/sanitaria-y-ventilacion-/codo-90-x-3-cxc-sanitaria-gerfor-?srsltid=AfmBOopE2gkOj3gmr-f0pYNj4rL_3eIsHRXp7e1eINjeLNUZfV6w1bkHZ&
	Abrazaderas metálicas para fijación de bajantes (aleta doble)	4	\$ 2.200,00	\$ 8.800,00	https://interelectricas.com.co/tuberia-metalica-y-pvc/946-grapa-metalica-aleta-doble-3-pulg-.html
	Soportes canal metal amazonas	6	\$ 7.800,00	\$ 46.800,00	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/40821/soporte-canal-metal-amazonas/40821/?
	Pegamento para PVC 118ml	2	\$ 14.900,00	\$ 29.800,00	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/344979/pegamento-pvc-cpvc-secado-rapido-118ml/344979/ https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-2666285238-cinta-adhesiva-tapa-reparar-gotera-impermeabilizante-5cm-10m-_JM?searchVariation=185027960005#polycard_client=search-nordic&searchVariation=185027960005&position=31&search_layout=stack&type=item&tracking_id=1f367178-4f01-435d-93ae-5714b7c299df
	Cinta selladora de caucho 10m	1	\$ 22.900,00	\$ 22.900,00	https://mitiendacoval.com/sanitaria-y-ventilacion-/codo-90-x-3-cxc-sanitaria-gerfor-?srsltid=AfmBOopE2gkOj3gmr-f0pYNj4rL_3eIsHRXp7e1eINjeLNUZfV6w1bkHZ& https://aldiaferreteria.com/accesorios/1340-tapon-roscado-pvc-presion-de-3-pavco?srsltid=AfmBOoqwT47lpB_SF9g4K5mxVII_M2r4hLQHivYfnGhUyfbvrGHHSc2
	tubo de PVC de 3", longitud 1 m	1	\$ 0,00	\$ 0,00	https://aldiaferreteria.com/accesorios/1340-tapon-roscado-pvc-presion-de-3-pavco?srsltid=AfmBOoqwT47lpB_SF9g4K5mxVII_M2r4hLQHivYfnGhUyfbvrGHHSc2
filtro trampa	tapón roscado o válvula de limpieza manual para PVC de 3"	1	\$ 18.300,00	\$ 18.300,00	https://aldiaferreteria.com/accesorios/1340-tapon-roscado-pvc-presion-de-3-pavco?srsltid=AfmBOoqwT47lpB_SF9g4K5mxVII_M2r4hLQHivYfnGhUyfbvrGHHSc2
	abrazaderas metálicas para soporte del tubo vertical	4	\$ 2.200,00	\$ 8.800,00	https://interelectricas.com.co/tuberia-metalica-y-pvc/946-grapa-metalica-aleta-doble-3-pulg-.html
	0,5m2 de malla metálica galvanizada (1-2mm) para prefiltrado.	1	\$ 20.000,00	\$ 20.000,00	Estimacion
Filtración	1 caneca plástica de 50 litros, con tapa (tipo pintura o alimentación animal)	1	\$ 89.900,00	\$ 89.900,00	https://www.mercadolibre.com.co/caneca-tanque-multiuso-plastico-50-litros-con-tapa-y-manijas-color-verde/p/MCO50214596
	8 kg de grava lavada (comercializada en sacos de 40 kg o a granel por arrobas)	1	\$ 12.000,00	\$ 12.000,00	https://www.miacuariodulce.com.co/gravas/205-grava-de-silice-x-1-kg.html
	8 kg de arena fina de río (lavada y tamizada)	1	\$ 2.584,00	\$ 2.584,00	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/297067/arena-de-río-40kg/297067
	2 kg de carbón vegetal activado (puede adquirirse a granel o en paquetés de 1 kg)	1	\$ 37.776,00	\$ 37.776,00	https://www.mercadolibre.com.co/carbon-activado-granulado-activo-filtro-acuario-pecera-1-kg/p/MCO36481051#polycard_client=search-nordic&searchVariation=MCO36481051&position=5&search_layout=stack&type=product&tracking_id=3bc71929-2ad2-46e9-ba50-04996339e8b2&wid=MCO1420759371&sid=search

	0,5 m ² de malla de nylon o tela mosquitera fina (5m ² unidad mínima)	1	\$ 68.182,00	\$ 68.182,00	https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-576572356-malla-mosquitera-plastica-verde-060m-x-30m-toolcraft-1018-JM	
	1 grifo plástico de salida de 1/2"	1	\$ 6.800,00	\$ 6.800,00	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/120943/lave-terminal-plastica-jardin-1-2-pulgada/120943/	
	1 tanque plástico de 1.000 litros, tipo vertical, con salida roscada inferior de 1" y 1 tapa hermética con rosca	1	\$ 487.900,00	\$ 487.900,00	https://www.soluenvases.com/product-page/tanque-1000-litros-tapa-plana?	
Almacenamiento	1 malla plástica o metálica (rejilla antiinsectos) para entrada superior	1	\$ 0,00	\$ 0,00	Sirve malla de nylon o tela mosquitera	
	1 grifo plástico de salida de 1/2"	1	\$ 6.800,00	\$ 6.800,00	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/120943/lave-terminal-plastica-jardin-1-2-pulgada/120943/	
	1 base de bloques de concreto (mínimo 4 bloques + nivelación) o madera tratada	4	\$ 5.300,00	\$ 21.200,00	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/371906/bloque-liso-14-gris-14x19x39cm-13mpa-125und-m2/371906/	
	1 respirero con filtro antipolvo	1	\$ 141.100,00	\$ 141.100,00	https://www.grupoautocontrol.com/producto/filtro-respirador-para-tanque-con-canasta/	
Potabilización	1 frasco de hipoclorito de sodio al 5% (500 mL, uso doméstico)	1	\$ 5.100,00	\$ 5.100,00	https://dentaldoktor.com/products/hipoclorito-de-sodio-al-5-fco-x120-ml-prodnt?srsltid=AfmBOoqvNKi0pNFSKv3vDzOjZq9xoG8O8VekVj0YbBovGV1fDkEoNn	
	1 jeringa de 5 mL o cuentagotas	1	\$ 790,00	\$ 790,00	https://www.larebajavirtual.com/jeringa-inverfarma-5-ml-3p-145619/p	
	1 balde plástico con tapa (mínimo 10 L) para dosificación y reposo	1	\$ 9.490,00	\$ 9.490,00	https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-2861878888-balde-10-lit-plastico-multicolor-JM	
	1 filtro cerámico tipo vela o cartucho, con carcasa o portafiltro	1	\$ 27.000,00	\$ 27.000,00	https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-2445661040-filtro-purificador-llave-de-agua-grifo-repuesto-ceramica-JM	
Captación	Techo preexistente de lámina metálica o fibrocemento (40–60 m ²)	0	\$ 0,00	\$ 0,00	NA	
	1 galón (4.4kg) de pintura impermeabilizante acrílica	1	\$ 102.900,00	\$ 102.900,00	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/295396/sikafill-12-power-impermeabilizante-acrilico-cubierta-blanco-44kg/295396/	
	1 rodillo o brocha para aplicación	1	\$ 13.900,00	\$ 13.900,00	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/700027/rodillo-9-pulgadas-powerfull-efecto-felpa/700027/	
	10 metros lineales de canaleta prefabricada de PVC tipo 160 × 90 mm (disponible en tramos de 3m)	4	\$ 66.500,00	\$ 266.000,00	https://supertechos.com.co/products/canal-en-pvc-3mt?srsltid=AfmBOorxyvGNrjygbwbu_02K1yDw0lvjStnFBUbdEJE3Tv7AteJOLZ0Rq&	
Alternativa 3	1 tubos de PVC de 3", longitud 6 m c/u (6 m de bajantes)	1	\$ 69.000,00	\$ 69.000,00	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/65853/tubo-sanitario-3-x-6-mts/65853/?	
	Canaleta y bajante	codos de PVC de 3"	2	\$ 8.157,00	\$ 16.314,00	https://mitiendacoval.com/sanitaria-y-ventilacion-codo-90-x-3-cxc-sanitaria-gerfor-
		Abrazaderas metálicas para fijación de bajantes (aleta doble)	4	\$ 2.200,00	\$ 8.800,00	https://interelctricas.com.co/tuberia-metalica-y-pvc/946-grapa-metalica-aleta-doble-3-pulg-.html
		Soportes canal metal amazonas	6	\$ 7.800,00	\$ 46.800,00	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/40821/soporte-canal-metal-amazonas/40821/?
		Pegamento para PVC 118ml	2	\$ 14.900,00	\$ 29.800,00	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/344979/pegamento-pvc-cpvc-secado-rapido-118ml/344979/
		Cinta selladora de caucho 10m	1	\$ 22.900,00	\$ 22.900,00	https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-2666285238-cinta-adhesiva-tapa-reparar-gotera-impermeabilizante-5cm-10m-JM
		tubo de PVC de 3", longitud 1 m	1	\$ 0,00	\$ 0,00	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/65853/tubo-sanitario-3-x-6-mts/65853/

filtro trampa	1 derivación tipo "Y" de 3" en PVC	1	\$ 16.900,00	\$ 16.900,00	https://www.easy.com.co/vee-sanitaria-3-pvc-gerfor/p?srsltid=AfmBOooMo5rX_HWu0cXITJUVEyBOIo9pcqPLx7gSCN8jivnFK5zH2D
	1 válvula de flotador o cierre automático	1	\$ 52.155,00	\$ 52.155,00	https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1390168305-valor-flotador-automatico-control-nivel-tanque-de-agua-12- JM
	abrazaderas metálicas para soporte del tubo vertical	4	\$ 2.200,00	\$ 8.800,00	https://interelctricas.com.co/tuberia-metalica-y-pvc/946-grapa-metalica-aleta-doble-3-pulg-.html
Filtración	1 unidad de filtración doméstica compacta de tres a cinco etapa	1	\$ 141.082,00	\$ 141.082,00	https://tienda.fibrasnormasdecolombia.com/producto/sistema-de-uitranitracion-pou-marca-purikor-de-5-etapas-y-nitracion-de-5-micras-para-flujo-de-0-66-gpm/
	1 grifo dispensador tipo cocina	1	\$ 99.900,00	\$ 99.900,00	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/308022/griferia-para-lavaplatos-monocontrol-perugia/308022/
	Mangueras de conexión hidráulica 1/2"	1	\$ 7.145,00	\$ 7.145,00	https://www.mercadolibre.com.co/manguera-flexible-sanitario-aluminio-12-35cm-yarden-ye0007-color-plateado/p/MCO35946161/
Almacenamiento	1 tanque polietileno de 1.000 litros, tipo vertical, con salida roscada inferior de 1" 1 tapa hermética con rosca y sello de seguridad tricapa	1	\$ 624.900,00	\$ 624.900,00	https://colempaques.com/products/tanques-de-agua-cilindricos-tricapa-1-100-litros
	1 Respidero con filtro antipolvo	1	\$ 141.100,00	\$ 141.100,00	https://www.grupoautocontrol.com/producto/filtro-respirador-para-tanque-con-canasta/
	1 malla plástica o metálica (rejilla antiinsectos) para entrada superior	1	\$ 68.182,00	\$ 68.182,00	https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-576572356-malla-mosquitera-plastica-verde-060m-x-30m-toolcraft-1018- JM
	1 grifo plástico de salida de 1/2"	1	\$ 6.800,00	\$ 6.800,00	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/120943/lave-terminal-plastica-jardin-1-2-pulgada/120943/
Potabilización	1 base de bloques de concreto (mínimo 4 bloques + nivelación) o madera tratada	1	\$ 200.000,00	\$ 200.000,00	Estimación
	1 bomba o derivación hidráulica de baja presión	1	\$ 1.500.000,00	\$ 1.500.000,00	Estimación
	1 dosificador automático de cloro electrónico	1	\$ 332.000,00	\$ 332.000,00	https://www.amazon.com/Clorador-autom%C3%A1tico-estaciones-alimentador-econ%C3%B3mico/dp/B0915G17K8/ref=asc_df_B0915G17K8
Distribución	1 bomba eléctrica de 0,5 HP (370 W aprox.) periférica	1	\$ 546.000,00	\$ 546.000,00	https://totalherramientas.com/products/bomba-de-agua-periferica-automatica-05-hp-370w?srsltid=AfmBOor_O9pPji2VcBoVnxtfPN21UPbPA-AC0VkkXBgKS2u5jS1kNv8
	10 metros de tubería de presión en PVC de 1/2" (cantidad x6m)	2	\$ 13.700,00	\$ 27.400,00	https://www.easy.com.co/tubo-pvc-presion-12x6m-rde-13-5-gerfor/p
	Grifos de servicio	3	\$ 6.800,00	\$ 20.400,00	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/120943/lave-terminal-plastica-jardin-1-2-pulgada/120943/
	1 válvula antirretorno instalada a la salida de la bomba	1	\$ 38.100,00	\$ 38.100,00	https://www.mercadolibre.com.co/valvula-antirretorno-resorte-1-yarden-yd0107/p/MCO34670250#polycard_client=search-nordic&searchVariation=MCO34670250&position=18&search_layout=grid&type=product&tracking_id=5d9ab2e8-71cb-4e1e-b969-e4052b6f7ade&wid=MCO1525351591&sid=search
	1 interruptor de encendido manual o automático para la bomba	1	\$ 6.400,00	\$ 6.400,00	https://www.mercadolibre.com.co/interruptor-sencillo-negro-black-mirror-de-lujo/p/MCO26957171/

Nota. Elaboración propia

A continuación, se presenta un resumen comparativo de los costos estimados para cada una de las tres alternativas propuestas de sistemas de captación de agua lluvia. Esta síntesis permite visualizar los valores asociados a cada componente del sistema desde la captación hasta la potabilización y distribución:

Tabla 13

Resumen Alternativas

Tipo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Almacenamiento	\$ 515.900,00	\$ 657.000,00	\$ 1.040.982,00
Canaleta y bajante	\$ 384.614,00	\$ 459.614,00	\$ 459.614,00
Captación	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 116.800,00
Distribución	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 638.300,00
Filtración	\$ 217.242,00	\$ 237.242,00	\$ 854.127,00
filtro trampa	\$ 27.100,00	\$ 27.100,00	\$ 77.855,00
Potabilización	\$ 15.380,00	\$ 42.380,00	\$ 1.832.000,00
Total general	\$ 1.160.236,00	\$ 1.423.336,00	\$ 5.019.678,00

Nota. Elaboración propia

Los costos estimados reflejan el alcance y nivel tecnológico de cada alternativa. La Alternativa 1 (\$1.160.236) es la más económica y sencilla, ideal para zonas rurales con recursos limitados. La Alternativa 2 (\$1.423.336) ofrece un buen equilibrio entre costo, funcionalidad y calidad del agua, siendo adecuada para contextos rurales o periurbanos. La Alternativa 3, con un costo de \$5.019.678, es la más completa y tecnificada, pensada para viviendas con acceso a energía eléctrica.

A continuación, se presenta una tabla con la estimación de costos detallados para cada una de las tres alternativas de sistemas de captación de agua lluvia en el contexto del departamento del Chocó. La información incluye la inversión inicial en materiales, los costos de instalación (mano de obra), los gastos de logística y transporte, así como los costos anuales de operación y mantenimiento:

Tabla 14*Estimación de costos alternativas*

Alternativa	Nombre	Valor	Descripción
Alternativa 1	Inversión inicial base	\$ 1.160.236,00	Corresponde al costo de adquisición de los componentes del sistema: canaletas artesanales hechas con PVC, filtro de arena y grava en caneca plástica, tanque de 1.000 litros, hipoclorito para desinfección y materiales simples de instalación.
	Mano de obra para instalación (30%)	\$ 348.070,80	Dado que en el Chocó la disponibilidad de técnicos puede ser baja, se estima una inversión mayor para cubrir la contratación de personal local o desplazamiento de instaladores externos.
	Logística y viaje (25%)	\$ 290.059,00	Incluyen transporte de materiales desde las ciudades principales (como Quibdó o Medellín) hasta comunidades rurales, generalmente por vía fluvial o terrestre difícil.
	Operación anual	\$ 60.000,00	Gastos relacionados con la compra de hipoclorito, limpieza de componentes y pequeñas reparaciones, realizadas por los propios usuarios.
	Mantenimiento anual	\$ 100.000,00	Reposición de insumos como carbón, arena, tela mosquitera, y limpieza profunda del filtro de arena. Aumentado debido al clima húmedo del Chocó, que acelera el deterioro.
	Total	\$ 1.958.365,80	
Alternativa 2	Inversión inicial base	\$ 1.423.336,00	Incluye componentes prefabricados de mayor calidad (canaletas industriales, filtro cerámico, trampa de sólidos) y tanque estándar de almacenamiento. Ofrece mejor eficiencia y calidad de agua.
	Mano de obra para instalación (30%)	\$ 427.000,80	Instalación de piezas con mayor precisión requiere personal capacitado, especialmente para el sistema de filtrado cerrado.
	Logística y viaje (25%)	\$ 355.834,00	Transporte de partes frágiles (como el filtro cerámico) y materiales voluminosos hasta zonas de difícil acceso.
	Operación anual	\$ 120.000,00	Incluye el uso regular de hipoclorito, limpieza de trampa de sólidos y mantenimiento de filtros.
	Mantenimiento anual	\$ 200.000,00	Reposición de filtros, sustitución del filtro cerámico y revisión técnica básica, considerando la humedad y el uso frecuente.
	Total	\$ 2.526.170,80	
Alternativa 3	Inversión inicial base	\$ 5.019.678,00	Contempla la impermeabilización del techo, un sistema de filtración multietapa con cartuchos y UV, clorador automático, bomba de presión y red interna de distribución
	Mano de obra para instalación (30%)	\$ 1.505.903,40	Requiere técnicos especializados para la instalación de componentes eléctricos, hidráulicos y de control, además de sistemas de presión.
	Logística y viaje (25%)	\$ 1.254.919,50	Costos elevados por transporte de equipos pesados, delicados y componentes eléctricos de alto valor.
	Operación anual	\$ 600.000,00	Gasto en electricidad, consumibles del clorador automático, filtros y uso constante de la bomba.
	Mantenimiento anual	\$ 600.000,00	Reemplazo periódico de cartuchos, lámparas UV, verificación del sistema eléctrico y mantenimiento de la bomba.
	Total	\$ 8.980.500,90	

Nota. Elaboración propia.

Definición de Criterios Técnicos de Evaluación de Alternativas

Con el fin de determinar la alternativa más adecuada para la implementación de un sistema de captación de agua lluvia, se establecen una serie de criterios técnicos de evaluación que permiten valorar de manera integral el desempeño, la viabilidad y la sostenibilidad de cada opción. Estos criterios responden tanto a aspectos funcionales como operativos y económicos, y han sido ponderados de acuerdo con su importancia relativa en el contexto del proyecto. Los criterios y sus respectivos pesos son los siguientes:

- **Capacidad de captación (5%):** Se refiere a la eficiencia del sistema para recolectar el volumen de agua lluvia disponible, en función del área y tipo de cubierta, el diseño de las canaletas y el sistema de conducción. Este criterio es fundamental, ya que condiciona la cantidad de recurso hídrico aprovechable.
- **Durabilidad de los componentes (15%):** Evalúa la resistencia y vida útil de los materiales utilizados, considerando factores como la exposición al clima, la corrosión, la intemperie y el desgaste por uso continuo. Un sistema duradero reduce costos de reposición y asegura continuidad en el servicio.
- **Facilidad de instalación (10%):** Analiza el nivel de complejidad técnica requerido para el montaje del sistema, así como la disponibilidad local de herramientas, materiales y mano de obra calificada. Este criterio cobra importancia en zonas con acceso limitado a personal técnico.
- **Facilidad de mantenimiento (10%):** Considera la frecuencia, simplicidad y recursos necesarios para llevar a cabo las labores de limpieza, ajuste o sustitución de partes a lo largo del tiempo. En contextos rurales, la autosuficiencia del usuario final es esencial para la sostenibilidad del sistema.

- Costos de instalación (30%): Incluye el análisis de todos los recursos financieros requeridos para la implementación inicial del sistema, tales como la compra de materiales, transporte, mano de obra y equipos auxiliares. Este aspecto es clave para la viabilidad económica del proyecto.
- Eficacia de la filtración (10%): Valora la capacidad del sistema para remover impurezas físicas del agua recolectada.
- Eficacia de la potabilización (20%): Evalúa la efectividad del sistema en eliminar agentes patógenos y asegurar agua apta para consumo humano.

La asignación de estos pesos permite realizar una evaluación comparativa estructurada, en concordancia con los lineamientos del PMBOK® Guide, asegurando así una toma de decisiones técnica, transparente y alineada con los objetivos del proyecto.

Análisis Comparativo de Alternativas mediante Matriz de Criterios Técnicos

A continuación, se procederá a realizar la evaluación comparativa de las tres alternativas de sistemas de captación de agua lluvia, utilizando como base los criterios técnicos previamente definidos. Esta evaluación tiene como objetivo identificar la alternativa que ofrece el mejor desempeño integral, considerando factores funcionales, operativos, económicos y sanitarios. Para ello, se empleará una escala de calificación común del 1 al 5, donde:

- 1 representa un desempeño deficiente
- 2 corresponde a un desempeño insuficiente
- 3 indica un desempeño aceptable
- 4 refleja un desempeño bueno
- 5 representa un desempeño excelente

Cada criterio será ponderado según su nivel de importancia relativa dentro del proyecto, lo que permitirá aplicar un enfoque de análisis multicriterio conforme a las buenas prácticas propuestas por la guía del PMBOK®. Los pesos asignados a cada criterio son los siguientes:

- Capacidad de captación (5%)
- Durabilidad de los componentes (15%)
- Facilidad de instalación (10%)
- Facilidad de mantenimiento (10%)
- Costos de instalación (30%)
- Eficacia de la filtración (10%)
- Eficacia de la potabilización (20%)

Mediante la aplicación de la matriz de ponderación de los criterios técnicos se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 15

Matriz De Ponderación de Criterios Técnicos

Criterio	%	Alternativa 1	Valor	Alternativa 2	Valor	Alternativa 3	Valor
Capacidad de captación (5%)	5%	4	0,2	4	0,2	5	0,25
Durabilidad de los componentes (15%)	15%	4	0,6	4	0,6	5	0,75
Facilidad de instalación (10%)	10%	5	0,5	5	0,5	3	0,3
Facilidad de mantenimiento (10%)	10%	5	0,5	5	0,5	4	0,4
Costos de instalación (30%)	30%	5	1,5	4	1,2	2	0,6
Eficacia de la filtración (10%)	10%	2	0,2	4	0,4	5	0,5
Eficacia de la potabilización (20%)	20%	2	0,4	4	0,8	5	1
		Total 1	3,9	Total 2	4,2	Total 3	3,8

Nota. Elaboración propia

La evaluación comparativa de las tres alternativas de sistemas de captación de agua lluvia, basada en criterios técnicos y ponderaciones previamente definidos, permitió identificar fortalezas y debilidades específicas de cada opción. La Alternativa 2 obtuvo la puntuación más alta con 4,2 puntos, superando a la Alternativa 1 (3,9 puntos) y a la Alternativa 3 (3,8 puntos), posicionándose como la opción más adecuada para su implementación de acuerdo al análisis técnico.

La Alternativa 1 destaca por su bajo costo de instalación (1,5 puntos en ese criterio), así como por su alta facilidad de instalación y mantenimiento (ambos con puntuaciones máximas de 0,5 puntos cada uno). Este sistema está diseñado para viviendas rurales con recursos limitados, empleando techos existentes y canaletas artesanales fabricadas con tubos de PVC. La potabilización se realiza de manera manual mediante hipoclorito de sodio, y la filtración es básica, compuesta por grava, arena y carbón activado. No obstante, estas características, si bien económicas y de fácil implementación, también representan limitaciones en términos de control sanitario. Esto se refleja en sus bajas puntuaciones en eficacia de la filtración (0,2) y eficacia de la potabilización (0,4), lo que redujo su puntaje total pese a su sencillez y economía.

Por otro lado, la Alternativa 3 incorpora un sistema avanzado, con mejoras importantes en todas las etapas: captación, filtración multietapa (con cartuchos, membranas y lámparas UV), potabilización automática y distribución presurizada con bomba eléctrica. Estas características le otorgan los mayores puntajes en capacidad de captación (0,25), durabilidad (0,75), eficacia de la filtración (0,5) y potabilización (1 punto). Sin embargo, estos beneficios técnicos se ven contrarrestados por su complejidad y elevado costo, reflejado en una baja puntuación de 0,6 en costos de instalación, y una calificación de 0,3 en facilidad de instalación, debido a los

requerimientos técnicos y logísticos de su implementación. Esto afectó su resultado global, situándolo por debajo de las otras opciones.

En contraste, la Alternativa 2 se presenta como una opción intermedia que logra el equilibrio más efectivo entre desempeño técnico, operatividad y viabilidad económica. Utiliza techos existentes y canaletas prefabricadas de PVC, lo cual facilita su instalación (0,5 puntos), mientras que su sistema de trampa manual y filtración cerrada en dos etapas permite un tratamiento más confiable del agua. Su eficacia en la filtración (0,4 puntos) y potabilización (0,8 puntos) es considerablemente superior a la de la Alternativa 1, y aunque no alcanza los niveles tecnológicos de la Alternativa 3, ofrece un rendimiento sanitario adecuado sin depender de energía eléctrica ni requerir componentes costosos o especializados. Además, su calificación en costos de instalación fue de 1,2 puntos, lo que evidencia una buena relación costo-beneficio frente a la calidad y funcionalidad del sistema.

En resumen, aunque cada alternativa tiene méritos particulares, la Alternativa 2 se consolida como la propuesta más sólida y equilibrada. Presenta un diseño funcionalmente eficiente, adaptable a contextos rurales o periurbanos, con buen desempeño técnico y sanitario, facilidad de mantenimiento, y un costo razonable.

Elaboración del Flujo de Caja Proyectado del Sistema

Para complementar el análisis técnico con una evaluación económica integral, se ha definido un conjunto de criterios y supuestos que guiarán la construcción del flujo de caja proyectado y la aplicación de indicadores financieros, de acuerdo con las mejores prácticas establecidas en la Guía del PMBOK® y referentes técnicos aplicables a proyectos comunitarios en Colombia.

En primer lugar, se ha establecido un horizonte de evaluación de 10 años, tiempo que corresponde con la vida útil estimada de los sistemas de captación de agua lluvia en condiciones operativas adecuadas. Este período permite captar con suficiente amplitud los costos asociados al ciclo de vida del sistema, incluyendo la inversión inicial, operación continua y mantenimiento preventivo.

En cuanto a los beneficios económicos considerados, si bien el sistema no genera ingresos directos, sí se reconoce su impacto en términos de costos evitados. Por ello, se ha incorporado un beneficio económico anual estimado asociado al ahorro que una familia podría obtener al no depender de la compra de agua embotellada, camiones cisterna o acarreo desde fuentes externas. Esta aproximación permite valorar de forma monetaria el acceso continuo a un recurso vital, incluso en contextos de vulnerabilidad hídrica. Esta metodología es ampliamente aceptada en análisis de proyectos sociales, cuando los beneficios son indirectos pero cuantificables.

El valor de este beneficio anual varía según la calidad del servicio que ofrece cada alternativa. La Alternativa 1, si bien provee agua que puede ser utilizada para el consumo humano, requiere un proceso manual de potabilización y presenta riesgos sanitarios moderados. Por ello, el valor económico asociado a su uso se estima en \$250.000 anuales, considerando su utilidad limitada principalmente a fines domésticos básicos y su dependencia del correcto manejo por parte del usuario.

En el caso de la Alternativa 2, el sistema brinda agua apta para el consumo humano mediante un proceso de filtración de doble etapa y cloración sin necesidad de energía eléctrica. Esta capacidad de ofrecer agua segura y confiable de manera autónoma se traduce en un

beneficio económico estimado de \$450.000 anuales, reflejando su mayor aporte a la seguridad hídrica del hogar.

Por su parte, la Alternativa 3 ofrece el servicio más completo y tecnológicamente avanzado. Su sistema de potabilización multietapa, con componentes eléctricos y automatizados, garantiza agua potable de alta calidad y comodidad de acceso mediante distribución presurizada. Esta combinación de eficiencia sanitaria y operativa se valora en \$650.000 anuales, dado su potencial para reemplazar por completo la necesidad de fuentes externas de abastecimiento y ofrecer condiciones de confort equivalentes a sistemas urbanos convencionales.

Además del ahorro directo por la no compra de agua, el acceso a un sistema seguro de captación, almacenamiento y tratamiento de agua lluvia genera un impacto positivo en la salud pública, especialmente en zonas con cobertura sanitaria limitada. Al reducir la exposición a agua contaminada, se disminuye la incidencia de enfermedades de origen hídrico como diarreas infecciosas, parasitosis y otras afecciones gastrointestinales, comunes en contextos rurales sin acceso a agua potable.

Este efecto sanitario positivo se traduce en una serie de costos evitados tanto para las familias como para el sistema de salud, al disminuir la incidencia de enfermedades asociadas al consumo de agua no segura. Entre estos beneficios se destacan: la reducción de gastos en consultas médicas y medicamentos que, en ausencia del sistema, serían necesarios para tratar episodios gastrointestinales recurrentes; una menor demanda sobre los centros de salud públicos, lo que permite liberar recursos institucionales y personal médico para otras atenciones prioritarias; y la disminución de ausencias laborales y escolares, con un impacto directo en la productividad de los hogares y en la continuidad del proceso educativo, especialmente en contextos vulnerables.

Estos beneficios, aunque indirectos, tienen un valor económico real y cuantificable. Por ello, se integran dentro del beneficio anual estimado para cada alternativa, en proporción al nivel de tratamiento que ofrece cada sistema.

Tabla 16

Costos Evitados

Categoría del beneficio	A1	A2	A3
Ahorro por agua no comprada	\$250.000	\$450.000	\$650.000
Costos evitados en salud	\$300.000	\$450.000	\$500.000
Total beneficio anual estimado	550.000	\$900.000	\$1.150.000

Nota. Elaboración propia.

A continuación, se definen las categorías clave que componen el modelo financiero. Estas se centran en tres grandes rubros: la inversión inicial necesaria para poner en marcha el sistema, los costos recurrentes de operación y mantenimiento, y el horizonte temporal del análisis. La siguiente tabla resume cada una de estas categorías y su contenido específico:

Tabla 17

Descripción de Categorías para el Flujo de Caja

Categoría	Contenido
Inversión inicial	Suma de: inversión base + mano de obra (30%) + logística y viaje (25%)
Operación anual	Costo anual estimado de funcionamiento (cloro, energía, limpieza, etc.)
Mantenimiento anual	Reposición de filtros, revisiones, limpieza profunda
Horizonte de análisis	10 años (proyección financiera a largo plazo)

Nota. Elaboración propia.

A continuación, se consolidan los valores estimados para cada una de las alternativas en términos de inversión inicial, operación y mantenimiento:

Tabla 18*Costos Estimados por Alternativa para el Flujo de Caja*

Concepto	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Inversión inicial	\$1.798.365,80	\$2.206.170,80	\$7.780.500,90
Operación anual	\$60.000,00	\$120.000,00	\$600.000,00
Mantenimiento anual	\$100.000,00	\$200.000,00	\$600.000,00
Total anual (O + M)	\$160.000,00	\$320.000,00	\$1.200.000,00

Nota. Elaboración propia.

Al realizar el flujo de caja para cada alternativa en un horizonte de 10 años, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 19*Flujo de Caja Alternativa 1*

Año	Ingresos por beneficio (\$)	Egresos (O+M) / Inversión (\$)	Flujo neto anual (\$)
Año 0	\$ 0	\$ 1.798.366	-\$ 1.798.366
Año 1	\$ 550.000	\$ 160.000	\$ 390.000
Año 2	\$ 550.000	\$ 160.000	\$ 390.000
Año 3	\$ 550.000	\$ 160.000	\$ 390.000
Año 4	\$ 550.000	\$ 160.000	\$ 390.000
Año 5	\$ 550.000	\$ 160.000	\$ 390.000
Año 6	\$ 550.000	\$ 160.000	\$ 390.000
Año 7	\$ 550.000	\$ 160.000	\$ 390.000
Año 8	\$ 550.000	\$ 160.000	\$ 390.000
Año 9	\$ 550.000	\$ 160.000	\$ 390.000
Año 10	\$ 550.000	\$ 160.000	\$ 390.000

Nota. Elaboración propia.

Tabla 20*Flujo de caja alternativa 2*

Año	Ingresos por beneficio (\$)	Egresos (O+M) / Inversión (\$)	Flujo neto anual (\$)
Año 0	\$ 0	\$ 2.206.171	-\$ 2.206.171

Año 1	\$ 900.000	\$ 320.000	\$ 580.000
Año 2	\$ 900.000	\$ 320.000	\$ 580.000
Año 3	\$ 900.000	\$ 320.000	\$ 580.000
Año 4	\$ 900.000	\$ 320.000	\$ 580.000
Año 5	\$ 900.000	\$ 320.000	\$ 580.000
Año 6	\$ 900.000	\$ 320.000	\$ 580.000
Año 7	\$ 900.000	\$ 320.000	\$ 580.000
Año 8	\$ 900.000	\$ 320.000	\$ 580.000
Año 9	\$ 900.000	\$ 320.000	\$ 580.000
Año 10	\$ 900.000	\$ 320.000	\$ 580.000

Nota. Elaboración propia.

Tabla 21

Flujo de Caja Alternativa 3

Año	Ingresos por beneficio (\$)	Egresos (O+M) / Inversión (\$)	Flujo neto anual (\$)
Año 0	\$ 0	\$ 7.780.501	-\$ 7.780.501
Año 1	\$ 1.150.000	\$ 1.200.000	-\$ 50.000
Año 2	\$ 1.150.000	\$ 1.200.000	-\$ 50.000
Año 3	\$ 1.150.000	\$ 1.200.000	-\$ 50.000
Año 4	\$ 1.150.000	\$ 1.200.000	-\$ 50.000
Año 5	\$ 1.150.000	\$ 1.200.000	-\$ 50.000
Año 6	\$ 1.150.000	\$ 1.200.000	-\$ 50.000
Año 7	\$ 1.150.000	\$ 1.200.000	-\$ 50.000
Año 8	\$ 1.150.000	\$ 1.200.000	-\$ 50.000
Año 9	\$ 1.150.000	\$ 1.200.000	-\$ 50.000
Año 10	\$ 1.150.000	\$ 1.200.000	-\$ 50.000

Nota. Autoría propia

Aplicación de Indicadores Financieros: VPN, TIR y RCB

Respecto a la tasa de descuento, se adopta un valor del 8% anual, ampliamente recomendado para proyectos sociales y ambientales en Colombia, especialmente aquellos sin fines de lucro directo. Esta tasa refleja un enfoque conservador y responsable en la estimación del valor presente de los costos y beneficios futuros, y es coherente con los rangos sugeridos por entidades como el Departamento Nacional de Planeación (DNP), el Banco Interamericano de

Desarrollo (BID) y las guías de evaluación de proyectos de impacto comunitario. Aunque la guía del PMBOK® no establece una tasa única, sí recomienda utilizar una que represente el costo del capital o la tasa mínima esperada de retorno, criterio que aquí se satisface.

Todos los indicadores financieros del proyecto fueron calculados con el apoyo de Microsoft Excel, lo que permitió una evaluación precisa de su viabilidad económica.

El Valor Presente Neto (VPN) se obtuvo utilizando la función VNA(), que permite descontar los flujos de ingresos netos esperados aplicando una tasa de descuento del 8%. A este valor se le restó la inversión inicial, obteniendo así el VPN total del proyecto.

La Tasa Interna de Retorno (TIR) se calculó mediante la función TIR(), a partir de la serie completa de flujos netos anuales, incluyendo la inversión inicial negativa. Esta función determina la tasa de descuento que hace que el VPN sea igual a cero, lo que permite evaluar la rentabilidad relativa del proyecto.

En el caso de la Relación Costo-Beneficio (RCB), dado que Excel no dispone de una función específica para su cálculo, se procedió de manera manual. Primero, se calculó el valor presente de los beneficios y de los costos de cada año aplicando la fórmula:

$$VP = \text{Monto} / (1+r)^n, \text{ donde VP es valor presente.}$$

Posteriormente, se sumaron todos los valores presentes de los beneficios y de los costos, y se aplicó la siguiente fórmula general para obtener la RCB:

$$RCB = \text{sumatoria de VP de beneficios} / \text{sumatoria de VP de costos.}$$

A continuación, se presentan los cálculos de los indicadores financieros para cada alternativa:

Tabla 22*Indicadores Financieros de las Alternativas*

Alternativa	VPN (\$)	TIR (%)	RCB
Alternativa 1	\$ 818.565,95	17,28	1,28
Alternativa 2	\$ 1.685.676,41	22,96	1,39
Alternativa 3	-\$ 8.116.004,97	-	0,49

Nota. Elaboración propia.

Desde el punto de vista económico, la Alternativa 1 representa una opción viable y eficiente dentro de un contexto de recursos limitados. Su VPN positivo indica que el valor actual de los beneficios generados supera los costos del proyecto. La TIR del 17,28% está muy por encima de la tasa de descuento del 8%, lo que significa que la alternativa ofrece un retorno aceptable frente al riesgo. Además, una RCB de 1,29 señala que por cada peso invertido, se generan \$1,29 en beneficios.

Aunque su tecnología es más básica y el nivel de potabilización requiere de manejo cuidadoso por parte del usuario, los resultados económicos son favorables debido a su bajo costo de implementación y operación. Esto hace que esta alternativa sea especialmente adecuada en comunidades rurales donde se prioriza la accesibilidad económica por encima del confort o la automatización.

A pesar de ser la opción más tecnificada, la Alternativa 3 presenta un desempeño económico claramente desfavorable. El VPN negativo indica que los costos superan ampliamente los beneficios proyectados durante el período de evaluación. Además, al no lograr recuperar la inversión en ningún punto, la TIR no es calculable, y la RCB de 0,49 indica que por cada peso invertido se recuperan solo 49 centavos en beneficios.

La Alternativa 2 se posiciona como la mejor opción desde el punto de vista económico y técnico, al lograr el mayor VPN y TIR entre todas las alternativas analizadas. El VPN de más de \$1,6 millones evidencia una ganancia neta significativa sobre la inversión inicial, mientras que la TIR de casi 23% demuestra un retorno altamente atractivo en términos financieros.

La relación costo-beneficio de 1,39 confirma que se generan beneficios superiores por cada unidad monetaria invertida. Estos resultados están alineados con su balance técnico: ofrece agua potable segura, no requiere energía eléctrica, es de mantenimiento accesible y tiene un costo moderado en comparación con el valor que entrega. Esto la convierte en una opción estratégica para contextos rurales o periurbanos que demandan soluciones efectivas, sostenibles y replicables.

Selección de la Alternativa Más Viable Técnica y Económicamente

La evaluación comparativa de las tres alternativas de sistemas de captación de agua lluvia, basada en criterios técnicos y ponderaciones previamente definidos, permitió identificar fortalezas y debilidades específicas de cada opción. La Alternativa 2 obtuvo la puntuación más alta con 4,2 puntos, superando a la Alternativa 1 (3,9 puntos) y a la Alternativa 3 (3,8 puntos), posicionándose como la opción más adecuada para su implementación de acuerdo al análisis técnico.

Desde el punto de vista funcional, la Alternativa 1 destaca por su bajo costo de instalación y alta facilidad de implementación y mantenimiento. Está diseñada para contextos rurales con recursos limitados, y su estructura se basa en componentes locales y procesos manuales de tratamiento del agua. No obstante, su nivel de control sanitario es reducido, lo que afecta su eficacia en términos de calidad del agua potable y se refleja en puntuaciones bajas en los criterios de filtración y potabilización.

En contraste, la Alternativa 3 incorpora una solución tecnológicamente avanzada, con sistemas automáticos de filtración multietapa y distribución presurizada. Si bien ofrece los más altos niveles de calidad, durabilidad y confort, su alto costo de inversión inicial y complejidad

técnica la hacen poco viable para comunidades rurales o con recursos financieros limitados, lo que explica su baja valoración en costos de instalación y facilidad de implementación.

La Alternativa 2, por su parte, se presenta como una solución intermedia que logra un equilibrio efectivo entre desempeño técnico, eficiencia operativa y viabilidad económica. Su sistema utiliza canaletas prefabricadas, un filtro de trampa de sólidos y una doble etapa de filtración con potabilización mediante filtro cerámico, todo sin requerir energía eléctrica. Esto le permite ofrecer agua segura para el consumo humano, con una estructura de mantenimiento sencillo, adaptada a contextos rurales o periurbanos. Técnicamente, combina buena eficacia en potabilización y durabilidad, con facilidad de instalación y un costo moderado, lo que le otorga una ventaja competitiva clara en el análisis técnico.

Desde la perspectiva económica, esta alternativa también presenta el mejor desempeño. Su Valor Presente Neto (VPN) fue de \$1.685.676, su Tasa Interna de Retorno (TIR) alcanzó un 22,96%, y su Relación Costo-Beneficio (RCB) fue de 1,39, superando ampliamente a las otras opciones. Estos indicadores evidencian que no solo recupera su inversión, sino que además genera un retorno significativo dentro del horizonte de 10 años, incluso considerando únicamente beneficios económicos indirectos como el ahorro en agua y los costos evitados en salud.

En conclusión, la Alternativa 2 es la opción más viable, equilibrada y sostenible, al integrar adecuadamente criterios técnicos, funcionales y económicos. Su implementación representa una solución eficiente para mejorar el acceso a agua segura, con un nivel de inversión razonable y un retorno social y financiero claramente justificado.

Fase 3: Formulación del Plan para la Dirección del Proyecto

Como parte de la Fase 3 correspondiente a la formulación del Plan para la Dirección del Proyecto con los Dominios de Desempeño establecidos por el Estándar para la Dirección de

Proyectos del PMI, se da inicio al desarrollo estructurado del plan que orientará la implementación de un sistema de captación y distribución de agua lluvia potabilizada en viviendas unifamiliares en el departamento del Chocó. Esta fase tiene como finalidad consolidar los lineamientos técnicos y estratégicos necesarios para simular la gestión integral del proyecto, garantizando su viabilidad, sostenibilidad y alineación con las necesidades del contexto mediante la integración de los dominios de desempeño definidos por el PMI (2021).

Es relevante destacar que los dominios de desempeño establecidos por el Estándar para la Dirección de Proyectos del PMI (2021) constituyen dimensiones fundamentales que orientan la gestión del proyecto desde diferentes perspectivas. Cada dominio se desarrolla de manera transversal a lo largo del proyecto, integrando aspectos técnicos, organizacionales y contextuales que fortalecen la planificación y la toma de decisiones. En el marco del presente Plan para la Dirección del Proyecto, estos dominios se abordan como componentes complementarios y articulados que permiten estructurar la dirección del sistema propuesto de forma coherente, alineada con los principios metodológicos del PMI.

A continuación, se presenta el desarrollo de los componentes que conforman el Plan para la Dirección del Proyecto, elaborado conforme a los lineamientos del Estándar para la Dirección de Proyectos del PMI (2021). Este plan se integra en el desarrollo del presente trabajo y está compuesto por la definición del alcance, la planificación del cronograma, los costos, la calidad, los interesados y el diseño técnico del sistema, representando una simulación metodológica de su planificación integral.

Dominio del Enfoque de Desarrollo y del Ciclo de Vida

Enfoque de Desarrollo del Proyecto

El Estándar para la Dirección de Proyectos del PMI (2021) reconoce tres enfoques principales para desarrollar un proyecto: predictivo, adaptativo e híbrido. El enfoque predictivo se caracteriza por una planificación detallada desde el inicio y el desarrollo secuencial de las actividades; el adaptativo responde a entornos cambiantes mediante iteraciones frecuentes; y el híbrido combina elementos de ambos según las necesidades del proyecto. En este caso, el enfoque predictivo se ajusta de forma más apropiada a la naturaleza del proyecto, dado que la solución técnica, un sistema de captación, almacenamiento, potabilización y distribución de agua lluvia está diseñada para una vivienda tipo en zonas rurales y periurbanas del departamento del Chocó, con requerimientos y condiciones definidas. Esta estabilidad permite organizar las fases del proyecto de forma secuencial, establecer entregables desde el inicio y gestionar los componentes sin necesidad de ajustes iterativos.

La adopción del enfoque predictivo implica estructurar el proyecto a partir de una planificación detallada y anticipada, donde se definen desde el inicio los objetivos, entregables, cronograma y recursos necesarios. Bajo este enfoque, el desarrollo del proyecto se organiza en fases secuenciales con bajo grado de incertidumbre, lo cual facilita la trazabilidad de las decisiones, el control técnico de cada componente y la coherencia entre las actividades programadas. Además, permite establecer criterios claros para la finalización de cada fase, asegurar la alineación con los requisitos iniciales y reducir la necesidad de modificaciones una vez iniciado el desarrollo. Esta metodología es especialmente pertinente cuando se cuenta con una solución definida y condiciones técnicas estables, como ocurre en el presente proyecto.

Estructuración del Ciclo de Vida

De acuerdo con el Estándar para la Dirección de Proyectos del PMI (2021), el dominio del Enfoque de Desarrollo y del Ciclo de Vida permite establecer la estructura metodológica sobre la cual se articulan los demás dominios de desempeño del proyecto. En este caso, se adopta un enfoque predictivo, en atención a la estabilidad de los requerimientos técnicos del sistema de captación y distribución de agua lluvia propuesto. Este enfoque facilita organizar el proyecto en fases secuenciales, con entregables definidos desde el inicio, lo cual permite estructurar una simulación metodológica completa para su planificación e implementación.

El ciclo de vida definido para este proyecto se compone de tres fases principales: planificación integral, validación técnica e implementación proyectada. En cada fase se aplican dominios de desempeño específicos, según su funcionalidad y nivel de incidencia en los resultados del proyecto.

Fase 1. Planificación Integral del Proyecto

Esta fase comprende la estructuración del Plan para la Dirección del Proyecto y el desarrollo del diseño técnico del sistema. Se establecen las bases metodológicas, los recursos, los tiempos, el alcance y los entregables del proyecto. Hacen parte de esta primera fase, los siguientes elementos incluidos en los siguientes dominios:

- Dominio del Enfoque de Desarrollo y Ciclo de Vida: permite seleccionar el enfoque predictivo y definir la estructura de fases del proyecto.
- Dominio de la Planificación: orienta la formulación del alcance, el cronograma, el presupuesto y la asignación de recursos.
- Dominio de los Interesados: facilita la identificación y análisis de actores relevantes y la definición de estrategias de participación.
- Dominio del Equipo: define los roles, responsabilidades y condiciones de articulación técnica entre los participantes del proyecto.
- Dominio del Trabajo del Proyecto: permite integrar operativamente los componentes del plan,

estableciendo mecanismos de coordinación y control.

- Dominio de la Entrega: establece los entregables esperados, los criterios de aceptación y las condiciones de sostenibilidad técnica y operativa del sistema.

Fase 2. Validación Técnica

Consiste en revisar la coherencia técnica y contextual del diseño formulado. Se verifican los criterios funcionales del sistema y se identifican ajustes necesarios antes de proyectar su implementación.

- Dominio de la Entrega: se verifica el cumplimiento de los requisitos funcionales y la alineación del sistema con las condiciones previstas.
- Dominio de la Medición del Desempeño: se aplican criterios de revisión para garantizar la coherencia del plan y la trazabilidad de las decisiones adoptadas.
- Dominio de la Incertidumbre: se identifican riesgos técnicos, normativos o ambientales que puedan afectar el diseño, y se plantean medidas de mitigación.

Fase 3. Implementación Proyectada

Se consolida el sistema validado en una propuesta operativa simulada, que permite representar su funcionamiento bajo condiciones reales y evaluar su impacto proyectado.

- Dominio del Trabajo del Proyecto: se organiza funcionalmente el sistema como unidad operativa completa.
- Dominio de la Entrega: se simula el funcionamiento del sistema bajo criterios de pertinencia, eficiencia y sostenibilidad.
- Dominio de la Medición del Desempeño: se evalúa la aplicabilidad del sistema y su contribución a los objetivos estratégicos del proyecto.
- Dominio de la Incertidumbre: se proyectan escenarios de riesgo durante la implementación y se establecen estrategias de respuesta contextualizadas. Hacen parte del desarrollo de la implementación, los siguientes elementos:

- Compra y adquisición de materiales y componentes.
- Transporte y logística de materiales al sitio (teórico).
- Instalación física del sistema (simulada).
- Pruebas de funcionamiento y ajustes técnicos.
- Capacitación para operación y mantenimiento (simulada).
- Puesta en marcha operativa y evaluación inicial.

Relación entre fases y entregables

Cada fase del ciclo de vida definido en el proyecto genera entregables específicos que permiten consolidar progresivamente la solución técnica propuesta. Estos entregables cumplen una función metodológica clave dentro del Plan para la Dirección del Proyecto, ya que permiten estructurar, validar y proyectar la solución en coherencia con los dominios de desempeño definidos por el PMI (2021).

En la fase de planificación integral, el principal entregable es el Plan para la Dirección del Proyecto, el cual articula los componentes estratégicos, técnicos y operativos del sistema. Dentro de este plan se integra el diseño técnico del sistema de captación y distribución de agua lluvia potabilizada, incluyendo esquemas funcionales, lista de componentes, dimensiones, materiales y condiciones de instalación. Este documento constituye el núcleo metodológico del trabajo y orienta las fases posteriores.

En la fase de validación técnica, el entregable es la versión revisada y ajustada del diseño técnico, producto de la evaluación de su coherencia interna, viabilidad operativa y adecuación al contexto. Esta versión validada permite consolidar un sistema técnicamente viable y alineado con las condiciones reales del entorno.

Finalmente, en la fase de implementación proyectada, el entregable consiste en una propuesta consolidada del sistema implementado de forma simulada. Esta incluye la integración de los componentes del sistema, su representación funcional bajo condiciones reales, y la evaluación de su aplicabilidad e impacto esperado. Aunque esta fase no implica ejecución física, permite demostrar la factibilidad técnica del sistema y estimar el valor entregado al contexto comunitario. Esta secuencia de entregables permite articular el enfoque predictivo adoptado, facilitando el control metodológico del proyecto y asegurando la coherencia entre diseño, validación y proyección funcional.

Criterios de transición entre fases

En un enfoque predictivo como el adoptado en este proyecto, cada fase del ciclo de vida solo puede comenzar una vez se han completado ciertos requisitos técnicos y documentales de la fase anterior. Estos criterios de transición permiten asegurar que el proyecto avanza de forma ordenada, sobre entregables terminados y verificados. Establecer estos puntos de control facilita la revisión, la toma de decisiones informadas y el seguimiento del cumplimiento de los objetivos. Para avanzar de la fase de planificación integral a la fase de validación técnica, se requiere contar con el Plan para la Dirección del Proyecto completo, que incluya el diseño técnico del sistema. Este documento debe haber sido revisado internamente y cumplir con los lineamientos definidos en cuanto al alcance, cronograma, costos, recursos y especificaciones del sistema.

El paso de la fase de validación técnica a la fase de implementación proyectada está condicionado a la verificación de la coherencia interna del diseño, la identificación y análisis de riesgos asociados, y la incorporación de los ajustes pertinentes. La validación debe garantizar que el sistema es viable, y que sus componentes se articulan funcionalmente como un conjunto operativo.

Estos criterios de transición permiten asegurar que cada fase se desarrolla sobre una base consolidada, evitando reprocesos, inconsistencias o desalineaciones metodológicas. Además, fortalecen la capacidad del plan para proyectar un sistema técnicamente estructurado, alineado con las condiciones reales del entorno y con capacidad de generar valor desde su diseño.

Dominio de la Planificación

En el marco del dominio de planificación, la Definición del Alcance del Proyecto constituye una actividad inicial fundamental para estructurar el Plan para la Dirección del Proyecto. Esta definición comprende la formulación del diseño e implementación del sistema, la identificación de los entregables técnicos y documentales que se generarán, y la especificación de las restricciones pertinentes, incluyendo factores técnicos, normativos y contextuales propios del entorno del proyecto. Esta delimitación clara del alcance permite establecer una base estructural sobre la cual se articulan los demás elementos de la planificación, tales como la secuencia lógica de actividades (cronograma), la configuración técnica del sistema, la estimación y asignación de recursos, y la proyección de los costos, en coherencia con los lineamientos del PMI (2021) orientados a facilitar la entrega de valor y la toma de decisiones fundamentadas a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Definición del alcance del proyecto

Objetivo del Proyecto

El proyecto tiene como finalidad desarrollar un sistema de captación y distribución de agua lluvia potabilizada de bajo costo para una vivienda unifamiliar en el departamento del Chocó, integrando los dominios de desempeño establecidos en el Estándar para la Dirección de Proyectos del PMI. El diseño del sistema, así como su planificación y gestión, se articulan bajo dichos dominios con el propósito de asegurar su viabilidad técnica y económica, garantizando además su alineación con la entrega de valor esperada para el contexto de intervención.

Entregables del Proyecto

El proyecto contempla una serie de entregables técnicos y documentales que responden a los objetivos establecidos y permiten estructurar el sistema de captación y distribución de agua lluvia potabilizada desde un enfoque predictivo. Estos entregables se articulan con las fases del ciclo de vida definido y con los dominios de desempeño aplicados en cada etapa, conforme a los lineamientos del PMI (2021).

Durante la fase de planificación integral se elaborará el Plan para la Dirección del Proyecto, estructurado conforme a los dominios de desempeño del PMBOK® (PMI, 2021). Este documento incluirá: el diseño técnico del sistema, con sus esquemas funcionales, componentes, materiales y dimensiones preliminares; un cronograma de actividades con identificación de hitos; la estimación de costos por fases del sistema; y la estrategia de asignación y uso de recursos técnicos, logísticos y humanos.

En la fase de validación técnica, los entregables estarán orientados a garantizar la coherencia y viabilidad del sistema:

- Informe de revisión y validación técnica del diseño, que documenta observaciones, criterios de ajuste y riesgos identificados en el análisis funcional y contextual del sistema.

Finalmente, en la fase de implementación proyectada, se entregará una Propuesta de consolidación operativa del sistema, representada en una simulación teórica del funcionamiento y sostenibilidad del sistema bajo condiciones proyectadas, que incluye lo siguiente:

- Plan de adquisición y logística para compra y transporte de materiales y componentes.
- Instalación simulada del sistema.
- Protocolos y resultados de pruebas funcionales simuladas, con ajustes técnicos documentados.
- Plan de capacitación para la operación y mantenimiento del sistema.
- Informe de puesta en marcha simulada y evaluación inicial de desempeño.

Actividades Incluidas en el Alcance

Las actividades comprendidas en el alcance del proyecto se orientan a desarrollar de forma estructurada los componentes teóricos y técnicos requeridos para formular el Plan para la Dirección del Proyecto del sistema de captación y distribución de agua lluvia potabilizada. Estas actividades están organizadas conforme a las tres fases del ciclo de vida definido en el proyecto:

Las actividades clave incluidas en el alcance son las siguientes:

- Definir el alcance del proyecto, estableciendo objetivos, entregables y restricciones técnicas, normativas y contextuales que delimitan el sistema.
- Estructurar el cronograma del proyecto, organizando las actividades según las fases del ciclo de vida, identificando hitos y secuencias lógicas.
- Formular el diseño técnico del sistema, especificando componentes, materiales, dimensiones y criterios de funcionamiento.

- Planificar la gestión de costos, estimando el presupuesto con base en el diseño y las actividades proyectadas.
- Planificar la gestión de recursos, definiendo los recursos humanos, técnicos y logísticos requeridos para su implementación teórica.
- Desarrollar la validación técnica del sistema, revisando la coherencia del diseño frente a criterios funcionales, normativos y contextuales.
- Simular la implementación operativa del sistema, proyectando su funcionamiento, eficiencia y sostenibilidad bajo condiciones reales representadas.
- Consolidar el Plan para la Dirección del Proyecto, integrando los productos de cada actividad conforme a los dominios de desempeño establecidos por el PMI.

Restricciones del Proyecto

El alcance está condicionado por una serie de restricciones relevantes para la planificación:

1. Dependencia de infraestructura preexistente: el sistema requiere la existencia de techos adecuados en cada vivienda (lámina metálica o fibrocemento con al menos 40–60 m²), lo cual limita su aplicabilidad a construcciones que cumplan con esta condición estructural.
2. El proyecto debe mantenerse dentro de un presupuesto simulado de bajo costo, que oriente la selección de materiales disponibles en el mercado nacional.
3. La ubicación geográfica del Chocó impone restricciones logísticas por el difícil acceso, lo que implica la necesidad de transporte y disponibilidad real de los materiales en la zona.
4. Ausencia de energía eléctrica: aunque el diseño no requiere energía para operar, esta condición implica que todas las operaciones de tratamiento y distribución deben ser completamente por gravedad, lo cual restringe el diseño hidráulico a pendientes mínimas y distancias cortas.

5. Limitaciones de mantenimiento comunitario: el sistema incorpora filtración en dos etapas y una trampa de sólidos de limpieza manual. Esto requiere capacitación básica de los usuarios y disposición para realizar mantenimientos periódicos, lo cual representa una restricción operativa en contextos donde no existe una cultura previa de mantenimiento.

6. Disponibilidad y transporte de componentes específicos: algunos materiales (filtro cerámico, carbón activado, válvulas, respiradero con filtro) no están disponibles localmente y deben ser adquiridos en centros urbanos, lo que aumenta la dependencia logística y puede generar retrasos o costos adicionales en la implementación.

Supuestos de Planificación

Para estructurar el Plan para la Dirección del Proyecto y proyectar el funcionamiento del sistema, se han considerado los siguientes supuestos:

1. Las viviendas del área de intervención cuentan con techos adecuados para la captación de agua lluvia, contruidos en lámina metálica o fibrocemento y con una superficie mínima entre 40 y 60 m², lo cual permite instalar los componentes del sistema sin modificaciones estructurales. Se dispone de una vivienda unifamiliar con techo a dos aguas y pendiente adecuada para la captación de agua lluvia.
2. La comunidad beneficiaria está dispuesta a adoptar y mantener el sistema, debido a la carencia de acceso permanente a agua potable, y asumirá responsabilidades básicas de operación y limpieza una vez recibida la capacitación correspondiente.
3. Se asume una disponibilidad climática constante, con un régimen de lluvias suficiente a lo largo del año que garantice el llenado regular del sistema y su funcionalidad continua.

4. Los materiales incluidos en la alternativa seleccionada están disponibles en el mercado nacional y pueden ser adquiridos y transportados al área de intervención con apoyo logístico local, sin generar costos extraordinarios o retrasos operativos.

5. El sistema será operado directamente por los usuarios, sin necesidad de asistencia técnica especializada ni dependencia de energía eléctrica, ya que su funcionamiento se basa en filtración por gravedad y procesos manuales.

6. Se considera que no existen restricciones normativas locales que impidan el uso del agua lluvia para consumo humano, siempre que se apliquen procesos de tratamiento adecuados y se cumpla con los estándares técnicos de calidad del agua potable.

7. El terreno donde se instalaría teóricamente el sistema permite una instalación funcional sin necesidad de adecuaciones mayores.

Planificación del Cronograma del Proyecto

Como paso siguiente a la definición del alcance, se desarrolla la planificación del cronograma del proyecto, integrando las tres fases principales del ciclo de vida definido: planificación integral, validación técnica e implementación proyectada. Esta planificación se realiza conforme al Dominio de Desempeño de la Planificación del Estándar para la Dirección de Proyectos (PMI, 2021) y tiene como propósito establecer una secuencia lógica y estructurada de actividades que permita determinar su duración, las relaciones de precedencia y los tiempos estimados requeridos para su ejecución simulada.

Durante la fase de planificación integral, se desarrolla el Plan para la Dirección del Proyecto junto con el diseño técnico del sistema, definiendo las bases metodológicas, los recursos necesarios, los tiempos estimados, el alcance y los entregables esperados. En la fase de

validación técnica, se evalúa la coherencia funcional y el contexto del diseño elaborado, identificando posibles ajustes y riesgos que podrían afectar la correcta ejecución del proyecto. Finalmente, en la fase de implementación proyectada, se consolida el sistema validado a través de una propuesta operativa simulada, que permite evaluar su funcionamiento bajo condiciones reales y anticipar su impacto potencial. La tabla a continuación presenta el cronograma detallado de las actividades contempladas para el desarrollo integral del proyecto, organizadas de forma secuencial, con sus respectivas duraciones, fechas estimadas y hitos relevantes, facilitando así el seguimiento y control efectivo del avance previsto.

Tabla 23

Cronograma de actividades para el proyecto

Fase	Actividad	Dura ción estim ada (días)	Orde n de ejecu ción	Hito asociado	Inicio	Fin	Semana					
							1	2	3	4	5	6
Planificaci ón integral	1. Desarrollar la definición del alcance del proyecto	3	1	Hito 1: Alcance definido	03/06/ 2025	05/06/ 2025	■					
	2. Planificar el cronograma del proyecto	2	2	Hito 2: Cronograma establecido	06/06/ 2025	07/06/ 2025		■				
	3. Diseñar el Sistema de Agua Lluvia Potabilizada	5	3	Hito 3: Diseño técnico aprobado	08/06/ 2025	12/06/ 2025		■				
	4. Planificar la gestión de costos y recursos	2	4	Hito 4: Costos y recursos planificados	13/06/ 2025	14/06/ 2025			■			
	5. Planificar la gestión de la calidad	2	5	Hito 5: Criterios de calidad definidos	15/06/ 2025	16/06/ 2025				■		
	6. Planificar la gestión de los interesados y las comunicaciones	2	6	Hito 6: Plan de comunicaciones formulado.	17/06/ 2025	18/06/ 2025					■	
Validació n Técnica	1. Simulación de la revisión técnica del diseño preliminar	6	7		19/06/ 2025	24/06/ 2025					■	
	2. Identificación y análisis real de riesgos técnicos, normativos y contextuales	3	8	Hito 7: Análisis de riesgos completado	25/06/ 2025	27/06/ 2025					■	
	3. Elaboración del informe de validación técnica y aprobación	3	9	Hito 8: Informe de validación aprobado	28/06/ 2025	30/06/ 2025						■
Implemen tación Proyectad a	1. Planificación y simulación de adquisición de materiales y componentes	2	10		01/07/20 25	02/07/20 25						■
	2. Simulación de logística de transporte y recepción de materiales	2	11		03/07/20 25	04/07/20 25						■
	3. Simulación de instalación física del sistema, incluyendo montaje y conexionado	3	12	Hito 9: Instalación completada	05/07/20 25	07/07/20 25						■
	4. Ejecución de pruebas funcionales simuladas	2	13	Hito 10: Finalización de pruebas funcionales	08/07/20 25	09/07/20 25						■
	5. Planificación y simulación de capacitación para operación y mantenimiento	1	14	Hito 11: Capacitación simulada completada	10/07/20 25	10/07/20 25						■
	6. Simulación de puesta en marcha operativa y evaluación inicial	1	15	Hito 12: Puesta en marcha simulada finalizada	11/07/20 25	11/07/20 25						■

7. Elaboración del informe final de simulación, evaluación de desempeño y recomendaciones	2	16	Hito 13: Entrega del informe final	12/07/20 25	13/07/20 25
---	---	----	------------------------------------	----------------	----------------

Nota. Elaboración propia.

El cronograma elaborado organiza el proceso de formulación del Plan para la Dirección del Proyecto en dieciséis actividades principales, con una duración total estimada desde el 3 de junio hasta el 4 de agosto de 2025. Las tareas se distribuyen de manera secuencial, iniciando con la definición del alcance y concluyendo con la elaboración del informe final de simulación y recomendaciones. Cada actividad está asociada a un hito específico que señala su culminación, lo que permite establecer puntos de control clave durante el desarrollo del proyecto simulado.

Adicionalmente, el diagrama de Gantt proporciona una representación visual clara de la progresión temporal de cada actividad, mostrando su duración, orden de ejecución y relación con las demás tareas. Esta herramienta facilita el análisis detallado de los tiempos asignados, la identificación de las fases críticas y contribuye a mantener la coherencia con las mejores prácticas de planificación recomendadas por el PMI (2021).

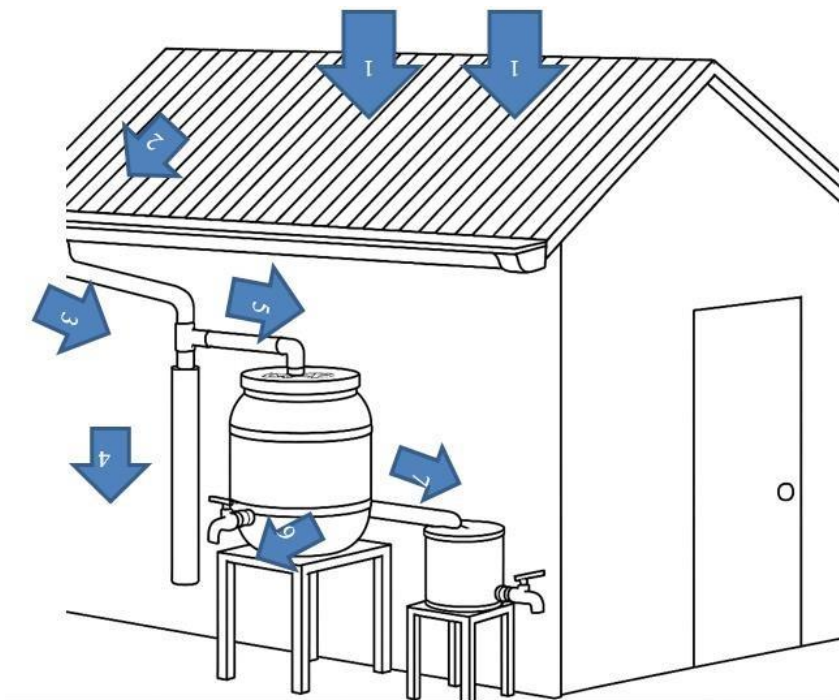
Diseño Técnico del Sistema de Captación y Distribución de Agua Lluvia

Potabilizada

El diseño técnico del sistema responde a una solución integral para viviendas unifamiliares ubicadas en zonas rurales o periurbanas del departamento del Chocó, y contempla los componentes requeridos para captar, almacenar, filtrar, potabilizar y distribuir agua lluvia para uso doméstico. Este diseño actúa como insumo operativo del Plan para la Dirección del Proyecto y se formula bajo una lógica funcional que sigue el flujo del agua desde su captación hasta su entrega al usuario final.

Figura 5

Esquema de Sistema Agua Lluvia



Nota. Elaboración propia.

En la figura anterior se evidencia la secuencia del sistema de agua lluvia. El proceso inicia con la captación del agua a través de los tejados (Paso 1). Luego, el agua fluye hacia la

canaleta que bordea el techo (Paso 2), y de allí desciende a través del bajante vertical hacia el sistema de pretratamiento (Paso 3).

En el Paso 4, el agua ingresa a un filtro tipo trampa que retiene los primeros litros contaminados. Este dispositivo cuenta con un mecanismo de boya que, al llenarse la trampa, se activa permitiendo que el agua más limpia fluya hacia el tanque de almacenamiento (Paso 5).

Una vez en el tanque, el agua puede utilizarse para consumo no potable, mediante el grifo de distribución instalado en la parte inferior del tanque grande (Paso 6). Para conservarla adecuadamente, se recomienda adicionar una cantidad específica de hipoclorito de sodio

Cuando se requiere agua para consumo humano, esta debe pasar previamente por un filtro rápido de grava, arena y mallas, que permite remover sólidos en suspensión y turbidez.

Finalmente, según la disposición del hogar, se puede incorporar un filtro cerámico en el grifo del tanque pequeño, lo cual garantiza una purificación microbiológica adicional. Luego de este paso, se recomienda adicionar nuevamente hipoclorito y dejar reposar el agua antes de su consumo.

Basados en la alternativa de solución seleccionada se detallará específicamente los componentes y elementos que serán usados en la construcción del sistema de agua lluvia:

Captación

El sistema utiliza como superficie de captación una de las dos alas de un techo preexistente de lámina metálica de zinc o fibrocemento, con un área útil aproximada entre 20 y 30 m². Esta superficie permite recolectar entre 12.000 y 18.000 litros de agua lluvia al año, dependiendo del régimen local de precipitaciones. Su mantenimiento requiere limpieza previa y periódica, con el fin de minimizar la presencia de sólidos, residuos orgánicos u otros contaminantes superficiales que puedan afectar la calidad del agua recolectada.

Conducción Y Primera Descarga

El agua lluvia es recolectada inicialmente en un techo preexistente de lámina metálica o fibrocemento con un área estimada entre 40 y 60 m². Esta superficie capta el agua y la dirige hacia un sistema de conducción compuesto por canaletas prefabricadas de PVC tipo Amazonas, de sección 160 × 90 mm, dispuestas en tramos de 3 metros. Las canaletas se ensamblan utilizando uniones especiales que aseguran la continuidad del flujo, y se fijan mediante soportes de PVC y soportes metálicos tipo Amazonas, los cuales garantizan una instalación firme incluso en estructuras irregulares o inestables.

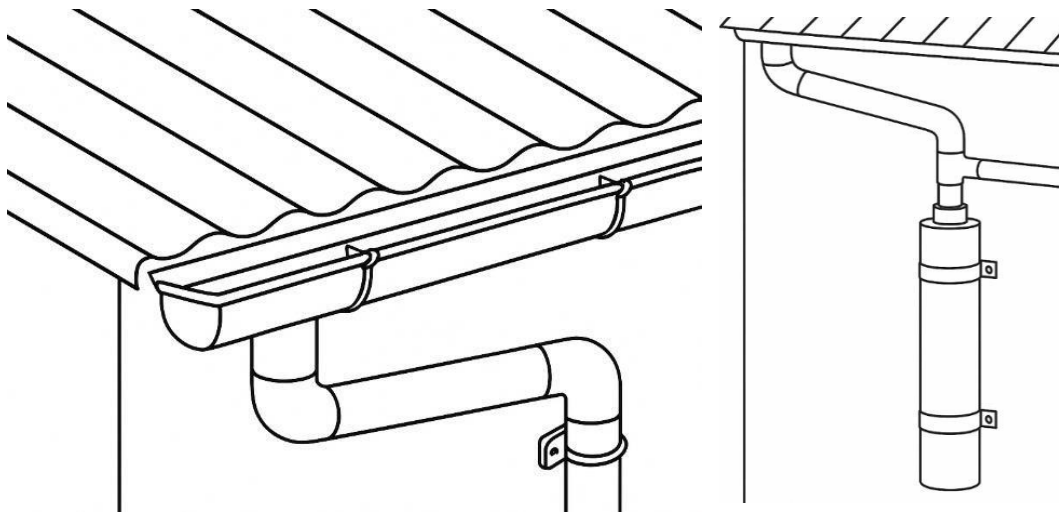
Los extremos de las canaletas son cerrados con tapas externas para contener el flujo y direccionarlo adecuadamente. Desde las canaletas, el agua es conducida hacia los bajantes verticales conformados por tubería de PVC de 3", acoplados mediante un adaptador de bajante, uniones sanitarias, y codos de 45° y 90° que permiten cambios de dirección y la integración con el resto del sistema. Estos bajantes se fijan a la pared con abrazaderas metálicas, y todo el sistema está sellado con cinta de caucho y pegamento para PVC, asegurando estanqueidad en las conexiones y resistencia a las filtraciones.

El agua recolectada llega finalmente a un sistema de primera descarga o filtro trampa, diseñado para mejorar la calidad del agua captada. Este sistema está conformado por una tubería de PVC sanitaria de 4" de un metro de altura, conectada al bajante a través de una Tee de 3", seguida de una reducción de 3" a 4". En su interior se coloca una bola plástica flotante, que cumple la función de boya: al llenarse el tubo con los primeros litros de agua contaminada con polvo, heces de aves o residuos vegetales acumulados en el techo, la bola asciende y sella el paso hacia el tanque de almacenamiento. En la parte inferior del tubo se incorpora un accesorio sanitario con adaptador de limpieza de 4", que permite purgar el sistema periódicamente

mediante un tapón roscado. Esta configuración permite descartar el agua más contaminada y asegurar que solo el agua relativamente más limpia continúe hacia el tanque.

Figura 6




Captación y Canal
















Nota. Elaboración propia.

Tabla 24

Componente de Captación, Canal y Bajantes

Tipo	Elemento	Cantidad	Observación	Imagen de referencia
Captación	Techo preexistente de lámina metálica o fibrocemento (40–60 m ²)	0	No se incluye en el listado porque se asume existente.	
Canaleta y bajante	Canaleta prefabricada de PVC tipo amazonas blanca 160 × 90 mm (tramos de 3 m)	3	Se requieren hasta 9 metros. Usar 10 metros generaría desperdicio.	
Canaleta y bajante	Unión canal amazonas (Pavco Wavin)	3	Une tramos de canaleta. Se requieren mínimo dos uniones a partir de 7 m de canal, más una adicional para conectar con el bajante.	
Canaleta y bajante	Unión bajante-canal amazonas (Pavco Wavin)	1	Conecta la última canaleta con el sistema de bajante.	

Canaleta y bajante	Adaptador bajante agua lluvia (3" PVC SANITARIO) (Pavco Wavin)	1	Acopla el sistema de canaleta con la tubería PVC de 3".	
Canaleta y bajante	Tapa externa Amazonas (Pavco Wavin)	2	Cierra los extremos del canal para contener el flujo de agua.	
Canaleta y bajante	1 tubos de PVC de 3", longitud de 6m.	1	Se utilizarán entre 1 y 3 m como bajante, y el resto para conectar con el filtro y el tanque.	
Canaleta y bajante	Unión 3" PVC sanitaria	1	Permite acoplar el adaptador del bajante con la tubería de 3".	
Canaleta y bajante	Codos de PVC de 3" 45 grados	2	Facilitan cambios de dirección en el bajante.	
Canaleta y bajante	Abrazaderas metálicas para fijación de bajantes para tubería 3"	6	Anclan la tubería a la pared.	
Canaleta y bajante	Soporte metálico tipo amazonas	6	Recomendado cuando la estructura del techo es irregular o inestable, para reforzar la fijación.	
Canaleta y bajante	Soportes canal amazonas PVC	6	Uno en cada extremo y cuatro adicionales distribuidos equidistantes según la longitud utilizada. Se atornillan a la pared o al soporte metálico.	
Canaleta y bajante	Pegamento para PVC 118ml	2	Ninguna	
Canaleta y bajante	Cinta selladora de caucho 10m	1	Sella uniones expuestas para evitar filtraciones.	
Filtro trampa	unión Tee pvc 3 pulgadas	1	Permite dividir el flujo entre el filtro de primera descarga y el tanque de almacenamiento.	

Filtro trampa	Reducción PVC 3" a 4"	1	Acopla tuberías de diferentes diámetros (3" y 4").	
Filtro trampa	Tubería 4" PVC sanitaria (1m)	1	Se utiliza para construir el filtro de primera descarga.	ninguna
Filtro trampa	Abrazaderas metálicas para fijación de bajantes para tubería 4"	2	Anclan la tubería a la pared.	
Filtro trampa	Accesorio Sanitaria Adaptador Limpieza 4"	1	Tapón roscado para limpieza del filtro de PVC de 4".	
Filtro trampa	Bola plástica (diámetro entre 3" y 4")	1	Funciona como boya que, al flotar, bloquea el paso del agua al filtro una vez lleno.	
Canaleta y bajante	Llave Válvula Pvc 3"	1	Controla el paso del agua lluvia hacia el tanque de almacenamiento.	
Canaleta y bajante	Codos de PVC de 3" 90 grados	2	Uno se usa para fijar el sistema a la pared y el otro para dirigir el ingreso del agua al tanque.	

Nota. Elaboración propia.

Almacenamiento

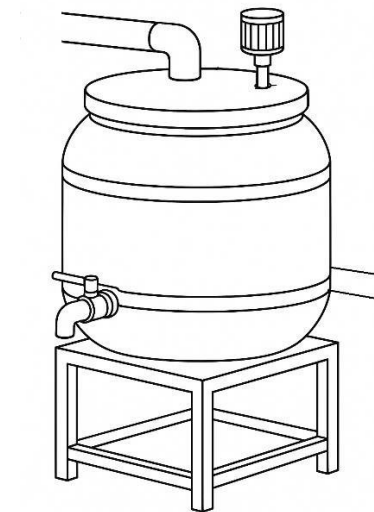
Una vez el agua ha pasado por el sistema de captación y prefiltrado, se conduce hacia un tanque plástico vertical de 1.000 litros, que actúa como el principal contenedor de almacenamiento. Este tanque debe contar con una tapa hermética, indispensable para evitar la

entrada de contaminantes, insectos o luz solar directa, lo que ayuda a prevenir la proliferación de algas y microorganismos en su interior. En la entrada superior, se recomienda instalar una malla plástica o metálica tipo rejilla antiinsectos, o una tela filtrante, que funcione como una barrera adicional contra hojas, insectos y residuos gruesos.

El tanque cuenta con una salida roscada inferior de 1", que puede ser utilizada para conectar el sistema de distribución por gravedad o dirigir el flujo hacia un sistema de filtración posterior (caneca con arena, grava y carbón activado). Esta conexión se realiza mediante un adaptador macho de PVC roscado × liso, acoplado a tubería sanitaria de 1".




Adicionalmente, se instala un grifo plástico de 1/2" en una perforación independiente del cuerpo del tanque, destinado a la extracción manual de agua, ideal para llenado de recipientes o uso doméstico directo. Este grifo se fija con una tuerca plástica y arandela de goma desde el interior, garantizando un sello hermético. Para evitar fugas, se aplica cinta Teflón PTFE sobre las roscas antes de la instalación.




El tanque debe elevarse sobre una base de al menos cuatro bloques de concreto (o madera tratada), nivelados correctamente, para facilitar la distribución del agua por gravedad, sin necesidad de bomba. Además, se incorpora un respiradero con filtro antipolvo, que permite la entrada de aire durante el llenado o vaciado, manteniendo la presión interna sin comprometer la calidad del agua almacenada.

Figura 7*Esquema Almacenamiento*

Nota. Elaboración propia.

Tabla 25*Componente de almacenamiento*

Tipo	Elemento	Cantidad	Observación	Imagen de referencia
Almacenamiento	1 tanque plástico de 1.000 litros, tipo vertical, con salida roscada inferior de 1" y 1 tapa hermética	1	Contenedor principal para el almacenamiento del agua lluvia. Se recomienda que tenga tapa hermética.	
Almacenamiento	1 malla plástica o metálica (rejilla antiinsectos) para entrada superior o tela.	1	Evita el ingreso de insectos u hojas al tanque desde la entrada superior.	
Almacenamiento	1 grifo plástico de salida de 1/2"	1	Se instalará mediante una perforación adicional al tanque, independiente de la salida de 1". Permite extracción manual.	

Almacenamiento	1 tuerca plástica + arandela de goma para fijación de grifo de 1/2"	1	Se enrosca desde el interior del tanque y garantiza el sello hermético del grifo.	
Almacenamiento	Cinta Teflón PTFE Basic 1-pulg X 10mt	1	Se aplica en la rosca del grifo para evitar fugas.	
Almacenamiento	1 base de bloques de concreto (mínimo 4 bloques + nivelación) o madera tratada	4	Permite elevar el tanque para facilitar el flujo por gravedad. Incluye nivelación de la base.	
Almacenamiento	1 respirero con filtro antipolvo	1	Permite el ingreso de aire al tanque sin que entren partículas de polvo.	

Nota. Elaboración propia.

Filtración Intermedia

Posterior al almacenamiento, el agua es conducida a una caneca plástica de 50 litros con tapa, que actúa como sistema de filtración de dos etapas. En la entrada superior del filtro se instala una malla de nylon o metálica, que funciona como prefiltrado para retener hojas, insectos y partículas grandes.

Dentro de la caneca, el agua pasa por varias capas filtrantes organizadas de abajo hacia arriba: primero una capa de grava lavada (8 kg) que soporta las demás capas y evita obstrucciones; seguida por una capa de arena gruesa o grava fina (4 kg) que mejora el flujo y retiene partículas mayores; luego una capa de arena fina lavada y tamizada (8 kg) que retiene sedimentos y turbidez; y finalmente una capa superior de carbón vegetal activado triturado (2 kg) que elimina olores, sabores y compuestos orgánicos disueltos.

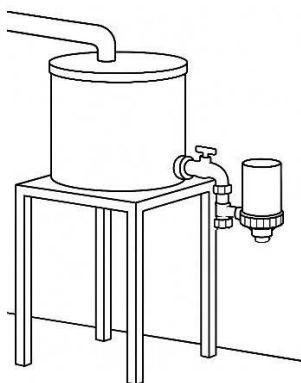
Una malla de nylon o tela mosquitera se coloca entre las capas o al fondo para evitar que sólidos pasen hacia la salida. El agua filtrada se extrae mediante un grifo plástico de 1/2",

instalado a 2–3 cm del fondo de la caneca y fijado con una tuerca plástica y arandela de goma que garantizan un sellado hermético.

El suministro de agua al filtro se realiza desde la salida roscada inferior de 1" del tanque de almacenamiento, conectada mediante un adaptador macho PVC 1" roscado × liso a un tramo de tubería sanitaria de 1 metro, con dos codos PVC de 90° que permiten direccionar la tubería hacia la entrada superior de la caneca.

Figura 8

Componente de filtración



Nota. Elaboración propia.

Tabla 26

Componente de Filtración

Tipo	Elemento	Cantidad	Observación	Imagen de referencia
Filtración	1 caneca plástica de 50 litros con tapa (tipo pintura o alimentación animal)	1	Recipiente principal del filtro. Debe ser resistente, con boca ancha.	
Filtración	8 kg de grava lavada (piedra redonda de 1–3 cm)	1	Capa inferior del filtro. Soporta las demás capas y evita taponamiento en la salida.	
Filtración	4 kg de arena gruesa o grava fina (3–6 mm)	1	Capa intermedia que mejora el flujo y evita arrastre de arena fina.	
Filtración	8 kg de arena fina lavada y tamizada	1	Capa principal de filtración física. Retiene partículas y turbidez.	

Filtración	2 kg de carbón vegetal activado (triturado)	1	Capa superior. Remueve olores, sabores y contaminantes orgánicos.	
Filtración	0,5 m ² de malla de nylon o tela mosquitera (unidad mínima comercial: 5 m ²)	1	Se coloca entre capas o al fondo para evitar paso de sólidos al grifo.	
Filtración	1 grifo plástico de salida de 1/2"	1	Se instala a 2–3 cm del fondo del recipiente. Permite la salida del agua filtrada.	
Filtración	1 tuerca plástica + arandela de goma para fijación del grifo	1	Garantiza el sellado y estabilidad del grifo en la pared de la caneca.	
Filtración	1 adaptador macho PVC 1" roscado x liso	1	Se conecta a la salida roscada del tanque (1") para iniciar línea de conducción.	
Filtración	1 tramo de tubería PVC sanitaria 1" (mínimo 1 metro)	1	Conduce el agua desde el tanque hasta la entrada superior del filtro.	
Filtración	2 codos PVC 90° de 1"	2	Permiten direccionar el recorrido de la tubería hacia la caneca.	



Nota. Elaboración propia.

Potabilización

Antes de su uso, el agua es sometida a cloración mediante hipoclorito de sodio al 5%, dosificado con jeringa o cuentagotas, seguido de un reposo mínimo de 30 minutos en un balde con tapa. Posteriormente, el agua se hace pasar por un filtro cerámico tipo vela para asegurar su potabilidad final.

Tabla 27

Componente de Potabilización

Tipo	Elemento	Cantidad	Observación	Imagen de referencia
Potabilización	1 frasco de hipoclorito de sodio al 5% (500 mL, uso doméstico)	1	Potabilización	
Potabilización	1 jeringa de 5 mL o cuentagotas	1	Potabilización	
Potabilización	1 balde plástico con tapa (mínimo 10 L) para dosificación y reposo	1	Potabilización	
Potabilización	1 filtro cerámico tipo vela o cartucho, con carcasa o portafiltro, ensamble roscada grifo ½"	1	Potabilización	

Nota. Elaboración propia.

Distribución

El sistema de distribución opera por gravedad mediante un grifo plástico instalado en la parte inferior del tanque, lo que permite el acceso directo del usuario al agua tratada sin requerir bombeo.

Validación Teórica de los Criterios de Filtración y Potabilización

El diseño técnico del sistema de captación y potabilización de agua lluvia formulado en este proyecto responde a un enfoque multietapa, basado en el principio de tratamiento sucesivo que actúa desde el punto de captación hasta la distribución final del recurso en condiciones aptas para el uso doméstico. A diferencia de los sistemas que emplean un único dispositivo filtrante, esta propuesta contempla una secuencia funcional que integra procesos de retención de sólidos, separación de aguas contaminadas, almacenamiento protegido, filtración progresiva y desinfección.

Esta estructura cumple con los lineamientos técnicos establecidos en la Guía para la calidad del agua potable: recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017), que define los parámetros microbiológicos, físicos y químicos necesarios para garantizar la seguridad del agua para consumo humano. Asimismo, se acoge a lo dispuesto en la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social de Colombia, por la cual se señalan las características físicas, químicas y microbiológicas que debe cumplir el agua potable en el país. Estos lineamientos son adaptados a contextos rurales con infraestructura básica y recursos limitados, asegurando la pertinencia técnica del sistema en zonas con alta vulnerabilidad hídrica.

El proceso inicia con la captación del agua lluvia sobre techos limpios de zinc o fibrocemento, los cuales deben mantenerse libres de residuos vegetales, excretas de animales y polvo acumulado. Esta superficie actúa como primer filtro pasivo. Posteriormente, el agua desciende por canaletas y bajantes hacia un sistema de primera descarga, cuya función es desechar los primeros litros recolectados que generalmente contienen mayores niveles de contaminantes. Este sistema incorpora una boya flotante que, al alcanzar un volumen predeterminado, bloquea el ingreso del primer flujo de agua, evitando que contaminantes como polvo, excrementos de animales, hojas o partículas acumuladas en la superficie de captación ingresen al tanque principal. Investigaciones como las de García-Ávila et al. (2023) y Richards et al. (2021) han demostrado que la implementación de dispositivos de primera descarga puede reducir significativamente la turbidez y la carga microbiológica del agua recolectada, especialmente en zonas rurales, al evitar la acumulación de materia orgánica y microorganismos patógenos en el sistema de almacenamiento.

Una vez superada la etapa de pretratamiento, el agua es conducida a un tanque plástico hermético con capacidad de 1.000 litros, provisto de tapa ajustada, malla antipolvo y sistema de

ventilación protegido. Esta configuración impide el ingreso de insectos, partículas externas y luz solar directa, condiciones que reducen el riesgo de proliferación de algas, larvas de mosquitos y contaminación cruzada. En esta fase, se recomienda la aplicación de hipoclorito de sodio en dosis controladas, con el objetivo de mantener una concentración residual de cloro libre entre 0,2 mg/L y 2,0 mg/L, rango establecido en el artículo 4° de la Resolución 2115 de 2007 como parámetro obligatorio para garantizar la eficacia de la desinfección del agua destinada al consumo humano.

Para los casos en que se requiere agua apta para el consumo humano, el diseño incorpora una etapa adicional de filtración mediante un sistema en caneca estratificada, compuesto por capas de grava, arena gruesa, arena fina y carbón activado. Este tipo de filtro cumple funciones complementarias: las capas minerales permiten la remoción de partículas suspendidas, sedimentos finos y reducción de la turbidez, mientras que el carbón activado favorece la adsorción de compuestos orgánicos responsables de alteraciones en el sabor, color y olor del agua.

Según Ávila y Moreno (2016), esta configuración puede alcanzar eficiencias de hasta un 95 % en la reducción de turbidez, lo cual permite acercarse al valor máximo permitido de 2 unidades nefelométricas de turbidez (UNT) para el agua tratada, establecido en el artículo 4° de la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social de Colombia.

Adicionalmente, el sistema contempla la instalación de un filtro cerámico tipo vela en el punto de uso, ubicado en el grifo del tanque secundario. Este componente, con porosidad entre 0,5 y 1,0 micras, actúa como barrera microbiológica final, reteniendo microorganismos patógenos presentes en el agua. Su incorporación refuerza la calidad sanitaria del recurso

almacenado, especialmente en condiciones donde la concentración de cloro residual no pueda mantenerse de forma estable.

La integración de estas etapas no solo atiende distintos tipos de contaminantes, como turbidez, materia orgánica y bacterias, también permite reducir la dependencia de un único mecanismo de tratamiento. Al combinar medidas físicas, químicas y microbiológicas, el sistema logra una cobertura funcional amplia frente a los riesgos sanitarios más comunes en la recolección de agua lluvia en zonas rurales. Cada componente cumple una función precisa dentro de la cadena de tratamiento, y su efectividad ha sido documentada en literatura técnica revisada.

Si bien el sistema no fue sometido a validación empírica mediante análisis de laboratorio, la estructura técnica propuesta se fundamenta en evidencia confiable y en condiciones de operación compatibles con el entorno rural del Chocó. Esta validación teórica respalda la viabilidad del diseño como solución domiciliaria para acceso autónomo al agua tratada, bajo los principios de sostenibilidad, accesibilidad y replicabilidad técnica. Se recomienda que en una etapa posterior del proyecto se realice una prueba piloto controlada que permita contrastar estos valores proyectados con resultados medidos en campo, de modo que se complemente la fundamentación metodológica con resultados empíricos verificables.

Planificación de la gestión de Recursos del Proyecto

Restricciones en el Uso de Recursos

Tabla 28

Restricciones en el Uso de Recursos

Restricción	Descripción
Dependencia de infraestructura preexistente:	La implementación del sistema requiere la existencia de techos adecuados (lámina metálica o fibrocemento, 40–60 m ²), lo cual limita la

Funcionamiento sin energía eléctrica:	<p>aplicabilidad del diseño y condiciona la planificación de recursos físicos a un tipo específico de vivienda. No se contempla la provisión de estructuras adicionales para la captación.</p> <p>El sistema debe operar completamente por gravedad. Esta restricción excluye el uso de componentes electromecánicos, como bombas, válvulas eléctricas o paneles solares, y obliga a planificar con materiales compatibles con un diseño hidráulico pasivo.</p>
Limitaciones de mantenimiento comunitario	<p>El sistema incorpora elementos que requieren limpieza periódica, como la trampa de sólidos y los filtros. Se reconoce como restricción la limitada experiencia de los usuarios en prácticas de mantenimiento, lo que obliga a seleccionar recursos de fácil uso y a planificar actividades de capacitación básicas para garantizar la operatividad del sistema.</p>

Nota. elaboración propia.

Supuestos en el uso de recursos

Tabla 29

Supuestos en el Uso de Recursos

Supuesto	Descripción
Condiciones estructurales mínimas garantizadas	<p>: Se asume que la vivienda objetivo cumple con las condiciones estructurales necesarias para instalar el sistema sin necesidad de obras adicionales. Esta suposición permite planificar los recursos físicos sin contemplar modificaciones al entorno construido.</p>
Adopción comunitaria del sistema:	<p>Se considera que la comunidad beneficiaria asumirá responsabilidades básicas en la operación y mantenimiento del sistema tras recibir capacitación. Esto permite reducir la necesidad de personal técnico externo en la fase de uso y transferir parte de la gestión operativa a los usuarios.</p> <p>: Se proyecta un régimen de lluvias constante durante el año, lo que permite diseñar un sistema de almacenamiento y distribución con</p>

Viabilidad normativa:	recursos estándar, sin necesidad de sistemas de respaldo o expansión. Se parte del supuesto de que no existen restricciones normativas locales que impidan el uso del agua lluvia para consumo humano, siempre que se apliquen procesos de tratamiento adecuados, lo cual evita la necesidad de recursos adicionales asociados a requisitos legales.
Condiciones topográficas favorables	Se asume que el terreno permite instalar el sistema sin requerir movimientos de tierra, cortes o nivelaciones, lo cual reduce la demanda de recursos de obra civil.

Nota. Elaboración propia.

Identificación de Recursos Físicos Y Humanos

En el marco de la planificación del proyecto, se identifican los recursos físicos y humanos necesarios para la implementación del sistema de captación y distribución de agua lluvia potabilizada. Esta identificación permite establecer con claridad los insumos, equipos, herramientas y personal requeridos para cumplir con los entregables técnicos definidos en el alcance.

Tabla 30

Listado de Recursos por Fases

No	Fase	Tipo de recurso	Componente	Elemento	Cantidad	Descripción Recurso
1	Fase 1 - Planificación integral	Recurso humano	Dirección del proyecto	Coordinador del proyecto	1	Responsable de estructurar el Plan para la Dirección del Proyecto, diseñar el sistema, elaborar el cronograma con hitos y estimar los costos de cada fase.
2	Fase 1 - Planificación integral	Herramienta o equipo auxiliar	General	Computador con software de oficina (Word, Excel)	1	Medio digital para redactar el plan, esquemas técnicos, cronograma y matrices de costos.

3	Fase 1 - Planificación integral	Herramienta o equipo auxiliar	General	Bibliografía	1	Documentos de consulta
4	Fase 2 - Validación técnica	Recurso humano	Técnico evaluador	técnica impresa o digital (PMBOK, RAS, etc.) Técnico o tecnólogo en sistemas hidráulicos	1	normativa y metodológica para estructurar el plan y diseño técnico conforme a estándares. Revisa el diseño técnico y documenta observaciones, criterios de ajuste y riesgos funcionales.
5	Fase 2 - Validación técnica	Herramienta o equipo auxiliar	General	Computador con software de oficina (Word, Excel)	1	Medio digital para elaborar el informe técnico con observaciones y criterios de validación.
6	Fase 2 - Validación técnica	Herramienta o equipo auxiliar	General	Bibliografía técnica (PMBOK, RAS, normas básicas)	1	Documentación de apoyo para contrastar el diseño frente a criterios técnicos y normativos aplicables.
7	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Captación	Techo preexistente de lámina metálica o fibrocemento (40–60 m ²)	0	Condición preexistente, no requiere instalación
8	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Canaleta y bajante	Canaleta prefabricada de PVC tipo amazonas blanca 160 × 90 mm (tramos de 3 m)	3	Instalable – conduce agua desde el techo
9	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Canaleta y bajante	Unión canal amazonas (Pavco Wavin)	3	Instalable – conecta tramos de canaleta
10	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Canaleta y bajante	Unión bajante- canal amazonas (Pavco Wavin)	1	Instalable – conexión entre canaleta y bajante
11	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Canaleta y bajante	Adaptador bajante agua lluvia (3" PVC SANITARIO) (Pavco Wavin)	1	Instalable – unión a tubería de 3 pulgadas
12	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Canaleta y bajante	Tapa externa amazonas	2	Instalable – cierre lateral de la canaleta
13	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Canaleta y bajante	1 tubos de PVC de 3", longitud de 3m.	1	Instalable – bajante vertical hacia trampa
14	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Canaleta y bajante	Unión 3" PVC sanitaria	1	Instalable – conexión de tubería sanitaria
15	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Canaleta y bajante	Codos de PVC de 3" 45 grados	2	Instalable – redireccionamiento del flujo
16	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Canaleta y bajante	Abrazaderas metálicas para fijación de bajantes	6	Instalable – sujeción de tubería vertical

17	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Canaleta y bajante	Soportes canal metalico amazonas	6	Instalable – fijación de canaleta a estructura
18	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Canaleta y bajante	Soportes canal PVC amazonas	6	Instalable – soporte adicional o alternativo
19	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Canaleta y bajante	Pegamento para PVC 118ml	2	Consumible – adhesivo para uniones de PVC
20	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Canaleta y bajante	Cinta selladora de caucho 10m	1	Consumible – sellado adicional en conexiones
21	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	filtro trampa	unión Tee pvc 3 pulgadas	1	Instalable – división de flujo en filtro
22	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	filtro trampa	Reducción PVC 3” a 4”	1	Instalable – acople a caneca de 4 pulgadas
23	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	filtro trampa	Tubería 4” PVC sanitaria (1m)	1	Instalable – sección vertical del filtro
24	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	filtro trampa	abrazaderas metálicas para soporte del tubo filtro trampa	2	Instalable – sujeción del tubo del filtro
25	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	filtro trampa	Accesorio Sanitaria Adaptador Limpieza 4”	1	Instalable – permite acceso para limpieza
26	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Filtro trampa	Bola plástica (diámetro entre 3” y 4”)	1	Instalable – control de paso automático
27	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Canaleta y bajante	Llave Válvula Pvc 3”	1	Instalable – control de paso manual
28	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Canaleta y bajante	Codos de PVC de 3" 90 grados	1	Instalable – cambio de dirección del flujo
29	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Filtración	1 caneca plástica de 50 litros, con tapa (tipo pintura o alimentación animal)	1	Instalable – estructura del filtro rápido
30	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Filtración	8 kg de grava lavada (comercializada en sacos de 40 kg o a granel por arrobas)	1	Consumible – medio filtrante inferior
31	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Filtración	8 kg de arena fina de río (lavada y tamizada)	1	Consumible – medio filtrante superior
32	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Filtración	4 kg de arena gruesa o grava fina (3–6 mm)	1	Consumible – capa intermedia filtrante

33	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Filtración	2 kg de carbón vegetal activado (puede adquirirse a granel o en paquetes de 1 kg)	1	Consumible – filtración biológica y organoléptica
34	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Filtración	0,5 m ² de malla de nylon o tela mosquitera fina (5m ² unidad minima)	1	Consumible – retención de partículas gruesas
35	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Filtración	1 grifo plástico de salida de 1/2"	1	Instalable – punto de salida del agua tratada
36	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Filtración	1 tuerca plástica + arandela de goma para fijación del grifo	1	Instalable – fijación hermética del grifo
37	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Filtración	1 adaptador macho PVC 1" roscado × liso	1	Instalable – conexión entre tuberías
38	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Filtración	1 tramo de tubería PVC sanitaria 1" (mínimo 1 metro)	1	Instalable – conexión interna del filtro
39	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Filtración	codos PVC 90° de 1"	2	Instalable – desvío del flujo dentro del filtro
40	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Almacenamiento	1 tanque plástico de 1.000 litros, tipo vertical, con salida roscada inferior de 1" y 1 tapa hermética	1	Instalable – almacenamiento principal del sistema
41	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Almacenamiento	1 grifo plástico de salida de 1/2"	1	Instalable – salida manual del agua tratada
42	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Almacenamiento	1 tuerca plástica + arandela de goma para fijación de grifo de 1/2"	1	Instalable – fijación del grifo al tanque
43	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Almacenamiento	Cinta Teflón PTFE Basic 1- pulg X 10mt	1	Consumible – sellado de roscas en conexiones
44	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Almacenamiento	1 base de bloques de concreto (mínimo 4 bloques + nivelación) o madera tratada	4	Instalable – soporte estructural del tanque

45	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Almacenamiento	1 respirero con filtro antipolvo	1	Instalable – evita presión y entrada de partículas
46	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Potabilización	1 frasco de hipoclorito de sodio al 5% (500 mL, uso doméstico)	1	Consumible – desinfección del agua
47	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Potabilización	1 jeringa de 5 mL o cuentagotas	1	Consumible – dosificación precisa de desinfectante
48	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Potabilización	1 balde plástico con tapa (mínimo 10 L) para dosificación y reposo	1	Instalable – recipiente para dosificación y reposo
49	Fase 3 - Implementación proyectada	Material	Potabilización	1 filtro cerámico tipo vela o cartucho, con carcasa o portafiltro, ensamble roscada grifo 1/2"	1	Instalable – filtración final para potabilización
50	Fase 3 - Implementación proyectada	Herramienta o equipo auxiliar	General	Taladro manual	1	Herramienta manual utilizada para realizar perforaciones en componentes plásticos o bases estructurales durante el montaje del sistema.
51	Fase 3 - Implementación proyectada	Herramienta o equipo auxiliar	General	Sierra manual para PVC	1	Herramienta de corte que permite seccionar canaletas o tuberías de PVC según las longitudes requeridas para la instalación.
52	Fase 3 - Implementación proyectada	Herramienta o equipo auxiliar	General	Nivel de burbuja pequeño	1	Instrumento de verificación que asegura la correcta alineación y pendiente de los componentes instalados del sistema.
53	Fase 3 - Implementación proyectada	Herramienta o equipo auxiliar	General	Cinta métrica	1	Herramienta de medición utilizada para dimensionar tramos de tubería, canaletas y ubicar puntos de instalación.
54	Fase 3 - Implementación proyectada	Herramienta o equipo auxiliar	General	Pala	1	Utensilio manual empleado para excavar o trasladar materiales como arena, grava o carbón durante la construcción del filtro.
55	Fase 3 - Implementación proyectada	Herramienta o equipo auxiliar	General	Recipiente plástico de apoyo (batea o balde)	1	Recipiente auxiliar que facilita la manipulación de materiales sueltos durante la etapa de filtración o mezcla.

56	Fase 3 - Implementación proyectada	Herramienta o equipo auxiliar	General	Brocha pequeña	1	Instrumento de aplicación usado para extender de forma uniforme adhesivos sobre superficies de unión de PVC.
57	Fase 3 - Implementación proyectada	Herramienta o equipo auxiliar	General	Guantes de trabajo	2	Elemento de protección personal que reduce el riesgo de lesiones durante la manipulación de herramientas y materiales.
58	Fase 3 - Implementación proyectada	Recurso humano	General	Técnico instalador (SENA o formación equivalente)	1	Profesional con formación técnica o tecnológica encargado de liderar la instalación de cada componente del sistema, asegurando su correcta integración y funcionalidad.
59	Fase 3 - Implementación proyectada	Recurso humano	General	Ayudantes operativos locales	2	Mano de obra de apoyo encargada de tareas operativas como carga, mezcla, perforación, limpieza o sujeción de componentes durante la instalación.
60	Fase 3 - Implementación proyectada	Herramienta o equipo auxiliar	General	Escalera (mín. 2 m)	1	Herramienta portátil que permite el acceso seguro a zonas elevadas para instalar canaletas, bajantes y otros componentes.
61	Fase 3 - Implementación proyectada	Herramienta o equipo auxiliar	General	Computador básico con software de oficina (Word, Excel, PowerPoint)	1	Medio digital utilizado para la elaboración del plan de adquisición, protocolos funcionales simulados y consolidación de resultados documentales del sistema.
62	Fase 3 - Implementación proyectada	Herramienta o equipo auxiliar	Logística de implementación	Transporte de materiales y herramientas al sitio de instalación	1	Medio logístico requerido para trasladar canaletas, filtro cerámico, tanque de almacenamiento y herramientas desde el proveedor hasta el sitio de simulación. Incluye desplazamiento de personal, manipulación de elementos frágiles y acceso a zonas rurales.

Nota. Elaboración propia.

Asignación de recursos en el cronograma del proyecto

Tabla 31

Asignación de Recursos en el Cronograma

Fase	Actividad	Duración estimada (días)	Orden de ejecución	Inicio	Fin	Recurso asignado
------	-----------	--------------------------------	-----------------------	--------	-----	------------------

Planificación integral	1. Desarrollar la definición del alcance del proyecto	3	1	03/06/2025	05/06/2025	Coordinador del proyecto (12h), Computador con software (3d), Bibliografía técnica (1und)
Planificación integral	2. Planificar el cronograma del proyecto	2	2	06/06/2025	07/06/2025	Coordinador del proyecto (8h), Computador con software (2d)
Planificación integral	3. Diseñar el Sistema de Agua Lluvia Potabilizada	5	3	08/06/2025	12/06/2025	Coordinador del proyecto (30h), Computador con software (5d), Bibliografía técnica (1und)
Planificación integral	4. Planificar la gestión de costos y recursos	2	4	13/06/2025	14/06/2025	Coordinador del proyecto (16h), Computador con software (2d).
Planificación integral	5. Planificar la gestión de la calidad	2	5	15/06/2025	16/06/2025	Coordinador del proyecto (16h), Bibliografía técnico (1und) Computador con software (2d).
Planificación integral	6. Planificar la gestión de los interesados y las comunicaciones	2	6	17/06/2025	18/06/2025	Coordinador del proyecto (16h), Computador con software (2dias)
Validación Técnica	1. Simulación de la revisión técnica del diseño preliminar	6	7	19/06/2025	24/06/2025	Técnico evaluador (48h), Computador con software (6d), Bibliografía técnica (1und)
Validación Técnica	2. Identificación y análisis real de riesgos técnicos, normativos y contextuales	3	8	25/06/2025	27/06/2025	Técnico evaluador (24h)
Validación Técnica	3. Elaboración del informe de validación técnica y aprobación	3	9	28/06/2025	30/06/2025	Técnico evaluador (24h), Computador con software (3d)
Implementación Proyectada	1. Planificación y simulación de adquisición de materiales y componentes	2	10	01/07/2025	02/07/2025	Computador con software (5d), Cotizaciones Coordinador del proyecto (16h)
Implementación Proyectada	2. Simulación de logística de transporte y recepción de materiales	2	11	03/07/2025	04/07/2025	Técnico instalador (10h), Ayudantes operativos (2x10h), Recurso logístico para transporte de materiales
Implementación Proyectada	3. Simulación de instalación física del sistema, incluyendo montaje y conexión	3	12	05/07/2025	07/07/2025	Técnico instalador (24h), Ayudantes operativos (2x24h), Herramientas y materiales del sistema
Implementación Proyectada	4. Ejecución de pruebas funcionales simuladas	2	13	08/07/2025	09/07/2025	Técnico instalador (8h) Cinta métrica, Cronómetro
Implementación Proyectada	5. Planificación y simulación de capacitación para operación y mantenimiento	1	14	10/07/2025	10/07/2025	Técnico instalador (8h), Computador (1d), Material de capacitación
Implementación Proyectada	6. Simulación de puesta en marcha operativa y evaluación inicial	1	15	11/07/2025	11/07/2025	Técnico instalador (8h), Computador (1d), Checklist de puesta en marcha
Implementación Proyectada	7. Elaboración del informe final de simulación, evaluación de desempeño y recomendaciones	2	16	12/07/2025	13/07/2025	Coordinador del proyecto (10h), Computador con software (2d)

Nota. Elaboración propia.

Estrategia de Adquisición de Recursos

Como parte del desarrollo técnico del proyecto, se formuló una estrategia de adquisición de recursos que organiza, estima y documenta los materiales, herramientas, equipos y personal necesarios para la simulación de la implementación del sistema de captación y distribución de agua lluvia potabilizada. Esta estrategia responde al principio de planificación del valor definido

por el PMBOK® (PMI, 2021) y estructura los recursos en cinco grupos funcionales, permitiendo su trazabilidad por componente del sistema, fase de aplicación y mecanismo de adquisición simulado.

Tabla 32

Estrategia de Adquisición de Recursos

Recursos humanos operativos y técnicos	Se identificaron tres perfiles funcionales: un coordinador del proyecto responsable de estructurar el diseño técnico, la planificación y el control de las fases; un técnico evaluador con formación en sistemas hidráulicos, encargado de validar el diseño; y un equipo operativo compuesto por un técnico instalador y dos ayudantes locales que participan en la simulación de montaje y pruebas del sistema. Estos perfiles se estimaron en función de las actividades programadas, utilizando como referencia las competencias técnicas definidas por el SENA para trabajos de instalación y mantenimiento de redes hidráulicas.
Herramientas y equipos auxiliares	Se definió un conjunto mínimo de herramientas necesarias para ejecutar la simulación técnica del sistema, entre las que se incluyen: taladro manual, sierra para PVC, nivel de burbuja, cinta métrica, escalera, brocha, pala y recipiente auxiliar. A esto se suma un computador con software de oficina, indispensable para la elaboración de documentos técnicos y el registro de resultados de pruebas. Todos estos elementos fueron simulados como disponibles mediante préstamo institucional, adquisición local o alquiler temporal. La estimación fue de una unidad por herramienta, considerando que el trabajo se desarrolla de forma secuencial.
Materiales del sistema de captación y conducción	Los materiales de captación fueron definidos con base en el diseño técnico del sistema. Se seleccionaron canaletas prefabricadas tipo amazonas, tubos de PVC de 3 pulgadas, uniones, codos, válvulas, adaptadores y elementos de fijación (abrazaderas y soportes metálicos). Para cada componente se estimó la cantidad exacta requerida en la simulación, considerando tramos mínimos funcionales y medidas comerciales disponibles. La adquisición se representó mediante cotizaciones reales de distribuidores locales, con referencias específicas de marcas como Pavco Wavin. Se consolidaron fichas técnicas para cada elemento, incluyendo precio, unidad de venta y disponibilidad.
Sistema de filtración, potabilización y almacenamiento	El subsistema de tratamiento se integró con una caneca plástica de 50 litros, mallas filtrantes, medios granulares (grava, arena, carbón activado), accesorios de salida y tubería interna. Para la potabilización, se estimó el uso de hipoclorito de sodio, una jeringa dosificadora y un filtro cerámico tipo vela. En cuanto al almacenamiento, se incluyó un tanque plástico de 1.000 litros con grifo, tapa hermética, base de bloques de concreto y respaldero con filtro antipolvo. Todos los materiales fueron clasificados entre instalables y consumibles, y se simuló mediante levantamiento de precios y fichas de producto obtenidas en plataformas de venta de materiales hidráulicos.
Consolidación logística y simulación de adquisición	Como parte de los resultados del proyecto, se elaboró un inventario detallado de todos los recursos materiales y equipos requeridos, clasificándolos por componente funcional del sistema y fase de aplicación. A partir de esta información, se diseñó una ruta de adquisición simulada que incluye: La identificación de tres proveedores potenciales para cada tipo de componente. Cotizaciones comparativas con fechas, condiciones de entrega y precios. Una estimación hipotética de tiempos de despacho y recepción desde los almacenes hasta el sitio de simulación.

Nota. Elaboración propia.

Consideraciones de Sostenibilidad y Mantenimiento

Como resultado del diseño técnico del sistema y de la planificación integral del proyecto, se establecieron las consideraciones clave para garantizar la sostenibilidad funcional, operativa y ambiental del sistema propuesto. Estas consideraciones fueron formuladas en coherencia con el

principio de entrega continua de valor del PMBOK® (PMI, 2021), y permiten proyectar la viabilidad de implementación real en viviendas unifamiliares del departamento del Chocó.

Tabla 33

Sostenibilidad del Proyecto

Sostenibilidad operativa	El sistema fue diseñado con base en componentes de bajo mantenimiento, alta disponibilidad en el mercado nacional y facilidad de instalación. Los materiales seleccionados (PVC, polietileno, gravilla, filtros cerámicos) permiten una operación continua con intervenciones mínimas. Además, la estructura modular del sistema permite su desmonte, limpieza o reemplazo por partes sin necesidad de herramientas especializadas ni personal calificado, lo que favorece su sostenibilidad técnica en contextos con baja infraestructura de soporte.
Bajo consumo energético	El sistema propuesto no requiere energía eléctrica para su funcionamiento, ya que opera por gravedad desde la captación hasta el almacenamiento final. Esto reduce los costos de operación y lo hace viable en zonas sin conexión a red eléctrica o con suministro intermitente. Esta característica es fundamental para su sostenibilidad económica y ambiental, al eliminar el consumo de energía y reducir la huella de carbono asociada al uso de agua potable tratada convencional.
Mantenimiento preventivo básico	Se definieron procedimientos simples de mantenimiento que pueden ser realizados por los usuarios sin requerir personal externo. Entre las acciones previstas se encuentran: Limpieza mensual del filtro trampa y de la caneca filtrante. Reemplazo semestral del carbón activado y de la arena fina. Revisión trimestral del estado del grifo, la tapa del tanque y las uniones de PVC. Aplicación de cloro en dosis controladas, según el volumen almacenado. Para facilitar estas tareas, el proyecto incluye un plan de capacitación simulado orientado al usuario, que contempla rutinas de revisión, fichas técnicas simplificadas y recomendaciones prácticas de operación segura.
Reposición y disponibilidad de repuestos	El sistema puede ajustarse a variaciones en el volumen de precipitación, mediante la modificación del tamaño del tanque o el número de puntos de captación. Asimismo, su uso puede adaptarse a costumbres locales relacionadas con la recolección y uso del agua de lluvia. Se consideró, además, la posibilidad de integrar prácticas de recolección existentes en las viviendas para complementar el sistema.
Impacto ambiental y reducción del consumo de agua potable	La implementación del sistema contribuiría a la reducción del consumo de agua potable proveniente de redes centralizadas, disminuyendo la presión sobre fuentes convencionales y promoviendo un modelo descentralizado de aprovechamiento hídrico. Esto fortalece la sostenibilidad ambiental del sistema, al integrar criterios de eficiencia y uso racional del recurso.

Nota. Elaboración propia.

Estas consideraciones fueron incorporadas desde la fase de diseño y validación técnica del sistema, con el objetivo de asegurar que el modelo propuesto sea funcional en su simulación, viable y sostenible en contextos reales de aplicación, contribuyendo a soluciones de agua seguras, accesibles y replicables en comunidades vulnerables.

Planificación de la Gestión de Costos del Proyecto

Restricciones Aplicables a los Costos

Tabla 34*Restricciones Costos*

Restricción	Descripción
Disponibilidad y transporte de componentes específicos	Ciertos materiales necesarios para el sistema, como el filtro cerámico, el carbón activado y las válvulas, no están disponibles en la zona rural de implementación y deben ser transportados desde centros urbanos. Esta situación implica una restricción logística que puede generar aumentos de costos, tanto por el transporte como por el tiempo adicional requerido para su adquisición.
Condiciones geográficas de difícil acceso	La ubicación en el departamento del Chocó impone limitaciones logísticas por el estado de las vías, la disponibilidad de transporte local y la dispersión geográfica de las viviendas. Esta condición constituye una restricción operativa que debe ser contemplada en la estimación de costos logísticos y en la planificación de las adquisiciones.

Nota. Elaboración propia.

*Supuestos Aplicables a los Costos***Tabla 35***Supuestos de los Costos*

Supuesto	Descripción
Disponibilidad de materiales en el mercado nacional:	Se asume que todos los materiales incluidos en la alternativa seleccionada se encuentran disponibles en el mercado colombiano, lo cual permite utilizar catálogos de referencia nacionales para la estimación de precios.
Condiciones geográficas de difícil acceso Ausencia de requerimientos estructurales o energéticos adicionales	Dado que el sistema opera por gravedad y se adapta a techos existentes, se asume que no se incurrirá en costos por adecuaciones estructurales, instalaciones eléctricas o componentes tecnológicos adicionales.
Disponibilidad de computador y software por parte del coordinador y evaluador	Se asume que el coordinador del proyecto y evaluador cuenta con un equipo de cómputo y software básico (Word, Excel), por lo tanto, este recurso no genera costos adicionales para el proyecto.
Acceso a bibliografía técnica en línea	Se considera que la bibliografía normativa y metodológica utilizada durante la fase de planificación se encuentra disponible en fuentes

	digitales confiables, lo que permite estimar su costo con base en una unidad referencial por actividad que requiere consulta directa.
Valor hora del recurso humano técnico	Para efectos de estimación, se adopta como base el Salario Mínimo Legal Mensual Vigente en Colombia para 2025, fijado en \$1.300.000 COP, y una jornada legal de 192 horas al mes, lo que equivale a un valor hora base de \$6.770 COP. Sobre este valor, se aplica un factor de 1.5 para los perfiles técnicos con funciones directivas o de evaluación especializada. En consecuencia: - Coordinador del proyecto y técnico evaluador: $\$6.770 \times 1.5 = \$10.155/\text{hora}$ - Técnico instalador y ayudantes operativos: \$6.770/hora. Esta diferenciación permite reflejar de manera más precisa los distintos niveles de responsabilidad y especialización en el proyecto, manteniendo una base referencial ligada al contexto normativo nacional.
Disponibilidad de herramientas, checklist y materiales de simulación	Se asume que herramientas (como cinta métrica, cronómetro, manuales, checklist y otros elementos menores) están disponibles internamente para simulación y no generan costos directos para efectos de estimación del presente proyecto.
Cotizaciones y documentación técnica	Se considera que las cotizaciones y documentación técnica necesarias para simulación de adquisiciones se gestionan sin costo adicional mediante acceso a portales y catálogos de proveedores disponibles públicamente.

Nota. Elaboración propia.

Estructura de Estimación de Costos por Entregable

La estimación se realizó asociando un valor monetario a cada uno de los entregables definidos en las fases del proyecto. Durante la planificación integral, se calcularon los costos asociados al recurso humano (coordinador del proyecto) y a los medios digitales necesarios. Para la fase de validación técnica, se incluyeron los honorarios del técnico evaluador y los recursos bibliográficos y tecnológicos. En la implementación proyectada, los costos se distribuyeron en función de los materiales, herramientas y mano de obra requeridos para la simulación del montaje, pruebas, capacitación y evaluación final.

Durante la Fase 1 Planificación integral, se incluyen actividades relacionadas con la definición del alcance del proyecto, diseño técnico del sistema, elaboración del cronograma, estimaciones iniciales, y planificación de los dominios de calidad, recursos e interesados. Los recursos implicados corresponden exclusivamente a recurso humano (coordinador del proyecto), herramientas digitales básicas y bibliografía técnica. En esta fase no se movilizan materiales ni logística operativa.

Tabla 36

Recurso Humano Fase 1 Planificación

Actividad	Horas coordinador	Costo coordinador (\$10.155/h)	Total actividad
1. Desarrollar la definición del alcance del proyecto	12	\$121.860	\$121.860
2. Planificar el cronograma del proyecto	8	\$81.240	\$81.240
3. Diseñar el Sistema de Agua Lluvia Potabilizada	30	\$304.650	\$304.650
4. Planificar la gestión de costos y recursos	16	\$162.480	\$162.480
5. Planificar la gestión de la calidad	16	\$162.480	\$162.480
6. Planificar la gestión de los interesados y las comunicaciones	16	\$162.480	\$162.480
Total	98	—	\$995.190

Nota. Elaboración propia.

La Fase 2 Validación técnica contempla la revisión funcional del diseño preliminar, el análisis de riesgos técnicos y contextuales, y la elaboración del informe técnico de validación. Los recursos utilizados incluyen un técnico evaluador, computador con software y bibliografía técnica de referencia.

Tabla 37

Recurso Humano Fase 2

Actividad	Horas técnico	Costo técnico (\$10.155/h)	Costo total actividad
1. Simulación de la revisión técnica del diseño preliminar	48	\$487.440	\$487.440

2. Identificación y análisis de riesgos técnicos, normativos y contextuales	24	\$243.720	\$243.720
3. Elaboración del informe de validación técnica y aprobación	24	\$243.720	\$243.720
Total	96		\$974.880

Nota. Elaboración propia.

Finalmente, la Fase 3, Implementación Proyectada, agrupa las actividades de adquisición, transporte, instalación, pruebas funcionales, capacitación y evaluación operativa. Esta fase requiere la movilización de recursos materiales, logísticos y de mano de obra calificada, lo cual incrementa significativamente su peso dentro del costo total del proyecto. Con base en la Alternativa 2 seleccionada, se proyecta un valor de referencia total de \$2.206.170,80, discriminado de la siguiente manera:

- Inversión inicial base en materiales: \$1.423.336
- Mano de obra para instalación (30%): \$427.000,80
- Logística y transporte (25%): \$355.834

Estos valores se tomarán como referencia preliminar para contextualizar el orden de magnitud de la inversión en la fase de implementación proyectada. Sin embargo, es necesario aclarar que no constituyen aún la estimación definitiva del presupuesto del proyecto. Para tal efecto, se aplicará un proceso estructurado de estimación de costos, conforme a los lineamientos del PMBOK, que integrará los siguientes componentes:

- La asignación de horas de trabajo por actividad, previamente establecida en el cronograma detallado, lo que permitirá calcular con mayor exactitud los costos asociados al recurso humano.
- La clasificación y valorización específica de los recursos materiales, técnicos y logísticos identificados en la matriz de recursos del proyecto, considerando cantidades,

características técnicas y valores unitarios obtenidos de fuentes verificables del mercado nacional.

- La diferenciación por tipo de recurso humano (coordinador, técnico instalador, ayudantes), con sus respectivas tarifas horarias referenciales, ajustadas al contexto operativo del proyecto.

De esa manera, se define a continuación la estimación de los costos para la fase 3, referente al recurso humano:

Tabla 38

Recurso humano Fase 3 Costos Detallados

Actividad	Recurso humano	Horas	Tarifa (\$/h)	Costo total (\$)
1. Planificación y simulación de adquisición de materiales y componentes	Coordinador del proyecto	16 h	10.155	162.480
2. Simulación de logística de transporte y recepción de materiales	Técnico instalador	10 h	6.770	67.700
	Ayudantes operativos (2x10h)	20 h	6.770	135.400
3. Simulación de instalación física del sistema	Técnico instalador	24 h	6.770	162.480
	Ayudantes operativos (2x24h)	48 h	6.770	324.960
4. Ejecución de pruebas funcionales simuladas	Técnico instalador	8 h	6.770	54.160
5. Planificación y simulación de capacitación para operación y mantenimiento	Técnico instalador	8 h	6.770	54.160
6. Simulación de puesta en marcha operativa y evaluación inicial	Técnico instalador	8 h	6.770	54.160
7. Informe final de simulación y recomendaciones	Coordinador del proyecto	10 h	10.155	101.550
TOTAL FASE IMPLEMENTACIÓN PROYECTADA	—	152 h	—	\$1.116.050

Nota. Elaboración propia.

El resumen de la fase 3:

Tabla 39*Recurso Humano Fase 3 Implementación General*

Recurso humano	Horas totales	Tarifa (\$/h)	Costo total (\$)
Coordinador del proyecto	26 h	10.155	264.030
Técnico instalador	58 h	6.770	392.660
Ayudantes operativos	68 h	6.770	460.360
Total general	152 h	—	\$1.116.050

Nota. Elaboración propia.

A continuación, se presenta el listado de precios unitarios correspondientes a los elementos determinados en la identificación de recursos para la fase de implementación del sistema. Esta tabla permite establecer una base de referencia para la estimación de costos materiales, técnicos y logísticos, complementando el análisis de recursos humanos.

Tabla 40*Listado de Materiales Detallado*

Tipo	Elemento	Cantidad	Valor unitario	Valor total	Fuente de consulta
Captación	Techo preexistente de lámina metálica o fibrocemento (40–60 m ²)	0	\$ 0,00	\$ 0,00	NA
Canaleta y bajante	Canaleta prefabricada de PVC tipo amazonas blanca 160 × 90 mm (tramos de 3 m)	3	\$ 66.500,00	\$ 199.500,00	https://supertechos.com.co/products/canal-en-pvc-3mt?srsId=Afm8OorxyGNrlygwbu_02K1yDwOlviStnFBUbdFJF3Tv7AtejOLZORg&
Canaleta y bajante	Unión canal amazonas (Pavco Wavin)	3	\$ 15.200,00	\$ 45.600,00	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/40817/union-canal-amazonas/40817/
Canaleta y bajante	Unión bajante-canal amazonas (Pavco Wavin)	1	\$ 19.900,00	\$ 19.900,00	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/40818/union-bajante-canal-amazonas/40818/
Canaleta y bajante	Adaptador bajante agua lluvia (3" PVC SANITARIO) (Pavco Wavin)	1	\$ 10.100,00	\$ 10.100,00	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/17501/adaptador-bajante-alcantarillado/17501/
Canaleta y bajante	Tapa externa amazonas	2	\$ 7.700,00	\$ 15.400,00	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/40825/tapa-externa-izquierda-amazonas/40825/
Canaleta y bajante	1 tubos de PVC de 3", longitud de 3m.	1	\$ 69.000,00	\$ 69.000,00	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/65853/tubo-sanitario-3-x-6mts/65853/?
Canaleta y bajante	Unión 3" PVC sanitaria	1	\$ 2.400,00	\$ 2.400,00	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/04610/union-3-pg-sanitaria/04610/
Canaleta y bajante	Codos de PVC de 3" 45 grados	2	\$ 10.900,00	\$ 21.800,00	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/04584/codo-45-x-3-cxc-sanitaria/04584/
Canaleta y bajante	Abrazaderas metálicas para fijación de bajantes	6	\$ 2.200,00	\$ 13.200,00	https://interelectricas.com.co/tuberia-metalica-y-pvc/946-grapa-metalica-aleta-doble-3-pulg.-html
Canaleta y bajante	Soportes canal metálico amazonas	6	\$ 7.800,00	\$ 46.800,00	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/40821/soporte-canal-metal-amazonas/40821/?
Canaleta y bajante	Soportes canal PVC amazonas	6	\$ 2.800,00	\$ 16.800,00	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/40819/soporte-canal-pvc-amazonas/40819/
Canaleta y bajante	Pegamento para PVC 118ml	2	\$ 14.900,00	\$ 29.800,00	https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/344979/pegamento-pvc-cpvc-secado-rapido-118ml/344979/
Canaleta y bajante	Cinta selladora de caucho 10m	1	\$ 22.900,00	\$ 22.900,00	https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-2666285238-cinta-adhesiva-tapa-reparar-gotera-impermeabilizante-5cm-10m-

						_JM?searchVariation=185027960005#polycard-client=search-nordic&searchVariation=185027960005&position=31&search_layout=stack&type=item&tracking_id=1f367178-4f01-435d-93ae-5714b7c299df
filtro trampa	unión Tee pvc 3 pulgadas	1	\$ 9.000,00	\$ 9.000,00		https://mitiendacoval.com/sanitaria-y-ventilacion-tee-3-sanitaria
filtro trampa	Reducción PVC 3" a 4"	1	\$ 20.000,00	\$ 20.000,00		https://tuvalrep.com.co/producto/reducciones-excentricas-pavco/
filtro trampa	Tubería 4" PVC sanitaria (1m)	1	\$ 15.200,00	\$ 15.200,00		https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/373409/tubo-sanitario-4-x-1m/373409/
filtro trampa	abrazaderas metálicas para soporte del tubo filtro trampa	2	\$ 2.200,00	\$ 4.400,00		https://interelectricas.com.co/tuberia-metalica-y-pvc/946-grapa-metalica-aleta-doble-3-pulg.html
filtro trampa	Accesorio Sanitaria Adaptador Limpieza 4"	1	\$ 19.900,00	\$ 19.900,00		https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/212350/accesorio-sanitaria-adaptador-limp-4pulg/212350/
Filtro trampa	Bola plástica (diámetro entre 3" y 4")	1	\$ 3.000,00	\$ 3.000,00		Estimacion
Canaleta y bajante	Llave Válvula Pvc 3"	1	\$ 32.900,00	\$ 32.900,00		https://www.mercadolibre.com.co/valvula-de-bola-de-pvc-de-3-pulgadas-para-tratamiento-de-agu/p/MCO2005788361?highlight=false&headerTopBrand=true#polycard-client=search-nordic&searchVariation=MCO2005788361&position=2&search_layout=stack&type=product&tracking_id=68b9c155-9315-4ae9-8c9c-e8365ab1ff79&wid=MCO1444590191&sid=search
Canaleta y bajante	Codos de PVC de 3" 90 grados	1	\$ 4.600,00	\$ 4.600,00		https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/04578/codo-90-x-3-cxc-sanitaria/04578/
Filtración	1 caneca plástica de 50 litros, con tapa (tipo pintura o alimentación animal)	1	\$ 89.900,00	\$ 89.900,00		https://www.mercadolibre.com.co/caneca-tanque-multiuso-plastico-50-litros-con-tapa-y-manijas-color-verde/p/MCO502145967
Filtración	8 kg de grava lavada (comercializada en sacos de 40 kg o a granel por arrobas)	1	\$ 12.000,00	\$ 12.000,00		https://www.miacuariodulce.com.co/gravas/205-grava-de-silice-x-1-kg.html
Filtración	8 kg de arena fina de río (lavada y tamizada)	1	\$ 2.584,00	\$ 2.584,00		https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/297067/arena-de-rio-40kg/297067
Filtración	4 kg de arena gruesa o grava fina (3-6 mm)	1	\$ 1.200,00	\$ 1.200,00		https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/297069/mixto-40kg/297069/
Filtración	2 kg de carbón vegetal activado (puede adquirirse a granel o en paquetes de 1 kg)	1	\$ 37.776,00	\$ 37.776,00		https://www.mercadolibre.com.co/carbon-activado-granulado-activo-filtro-acuario-pecera-1-kg/p/MCO36481051#polycard-client=search-nordic&searchVariation=MCO36481051&position=5&search_layout=stack&type=product&tracking_id=3bc71929-2ad2-46e9-ba50-04996339e8b2&wid=MCO1420759371&sid=search
Filtración	0,5 m² de malla de nylon o tela mosquitera fina (5m2 unidad mínima)	1	\$ 68.182,00	\$ 68.182,00		https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-576572356-malla-mosquitera-plastica-verde-060m-x-30m-toolcraft-tc1018-
						_JM?searchVariation=178733328742#polycard-client=search-nordic&searchVariation=178733328742&position=37&search_layout=grid&type=item&tracking_id=4f0da5f7-9116-4eb5-ae1e-c156bafeb44a
Filtración	1 grifo plástico de salida de 1/2"	1	\$ 6.800,00	\$ 6.800,00		https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/120943/llave-terminal-plastica-jardin-1-2-pulgada/120943/
Filtración	1 tuerca plástica + arandela de goma para fijación del grifo	1	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00		https://ferredakota.com/shop/product/remi-tuerca-plastica-1-2-para-llave-4094
Filtración	1 adaptador macho PVC 1" roscado x liso	1	\$ 1.800,00	\$ 1.800,00		https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/04736/adaptador-macho-1-presion/04736/
Filtración	1 tramo de tubería PVC sanitaria 1" (mínimo 1 metro)	1	\$ 3.366,67	\$ 3.366,67		https://agrocolombiasas.com/producto/tubo-pvc-de-presion-1-x-6-metros-rde-26-durman/
Filtración	codos PVC 90° de 1"	2	\$ 2.900,00	\$ 5.800,00		https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/04755/codo-90-x-1-presion/04755/
Almacenamiento	1 tanque plástico de 1.000 litros, tipo vertical, con salida roscada inferior de 1" y 1 tapa hermética	1	\$ 345.457,00	\$ 345.457,00		https://abacolexpress.com/products/tanque-conico-1000-abacol?srsltid=AfmB0oqbRGib4AKINDAQ5oYVQjxR1DK2sLeEBqT4H8icRbmKysIH5_4
Almacenamiento	1 grifo plástico de salida de 1/2"	1	\$ 6.800,00	\$ 6.800,00		https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/120943/llave-terminal-plastica-jardin-1-2-pulgada/120943/
Almacenamiento	1 tuerca plástica + arandela de goma para fijación de grifo de 1/2"	1	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00		https://ferredakota.com/shop/product/remi-tuerca-plastica-1-2-para-llave-4094
Almacenamiento	Cinta Teflón PTFE Basic 1-pulg X 10mt	1	\$ 2.550,00	\$ 2.550,00		https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/135324/cinta-teflon-ptfe-basic-1-pulg-x-10mt-topex/135324/
Almacenamiento	1 base de bloques de concreto (mínimo 4 bloques + nivelación) o madera tratada	4	\$ 5.300,00	\$ 21.200,00		https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/371906/bloque-liso-14-gris-14x19x39cm-13mpa-125und-mt2/371906/

Almacenamiento	1 respadero con filtro antipolvo	1	\$ 141.100,00	\$ 141.100,00	https://www.grupoautocontrol.com/producto/filtro-respirador-para-tanque-con-canasta/
Potabilización	1 frasco de hipoclorito de sodio al 5% (500 mL, uso doméstico)	1	\$ 5.100,00	\$ 5.100,00	https://dentaldoktor.com/products/hipoclorito-de-sodio-al-5-fco-x120-ml-prodont?srsId=AfmBOoqvnKl0pNFSkv3vDzOjZg9xoG8Of8VekVjfoYbB6wGV1FDkEoNn
Potabilización	1 jeringa de 5 mL o cuentagotas	1	\$ 790,00	\$ 790,00	https://www.larebajavirtual.com/feringa-inverfarma-5-ml-3p-145619/p?srsId=AfmBOorix-iHgn2LoFnifKjHN0bOdrIjVRqgL2Dt93uftRwXAO
Potabilización	1 balde plástico con tapa (mínimo 10 L) para dosificación y reposo	1	\$ 9.490,00	\$ 9.490,00	https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-2861878888-balde-10-lt-plastico-multicolor-JM
Potabilización	1 filtro cerámico tipo vela o cartucho, con carcasa o portafiltro, ensamble roscada grifo ½"	1	\$ 22.900,00	\$ 22.900,00	https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1341432743-filtro-purificador-de-agua-de-ceramica-bioenergetico-grifos-JM
Total				\$ 1.410.995,67	

Nota. Elaboración propia.

Para complementar la estimación de la Fase 3 – Implementación Proyectada, se incorporará el componente de logística y transporte, el cual corresponde a los costos asociados al traslado, manejo y disposición de materiales y equipos requeridos para el sistema. Como referencia, se tomará el valor estimado previamente de \$355.834, equivalente al 25 % del total proyectado en la Alternativa 2. Este valor será incluido dentro del análisis financiero de la fase, permitiendo una representación más realista de los costos operativos vinculados a la ejecución del proyecto.

Al comparar los valores resultantes de esta estimación con los datos proyectados en la Alternativa 2, se observa que el costo total del proyecto se mantiene en un rango similar al valor preliminar, lo que valida en términos generales la viabilidad económica de la solución planteada. Sin embargo, el análisis detallado permite identificar diferencias importantes a nivel de composición. Por ejemplo, los costos asociados a la instalación del sistema aumentan de forma significativa en esta estimación, debido a la inclusión de las horas reales requeridas por el técnico instalador y los ayudantes operativos, las cuales no estaban desglosadas en el escenario referencial inicial. Asimismo, en la estimación anterior no se había considerado con claridad la participación del coordinador del proyecto, cuyo trabajo técnico en planificación, dirección y cierre fue cuantificado en esta versión, revelando un componente crítico que no había sido valorizado de manera explícita. Estas diferencias permiten fortalecer la precisión del

presupuesto, mejorar la trazabilidad de cada gasto y fundamentar con mayor solidez la estructura financiera del proyecto.

Presupuesto del Proyecto

El presupuesto se estructuró a partir de la suma de los costos estimados por actividad, integrando los materiales instalables y consumibles, las herramientas requeridas (de uso puntual o recurrente), y los costos laborales asociados al tiempo de participación de cada perfil técnico. Esta desagregación permite vincular cada actividad con los recursos específicos que demanda, facilitando la trazabilidad del gasto y asegurando la coherencia entre la planificación técnica, el cronograma de ejecución y la estimación financiera del sistema.

Tabla 41

Presupuesto del Proyecto

Fase	Actividad / Componente	Costo total (\$)
Planificación Integral	1. Desarrollar la definición del alcance del proyecto	121.860
	2. Planificar el cronograma del proyecto	81.240
	3. Diseñar el Sistema de Agua Lluvia Potabilizada	304.650
	4. Planificar la gestión de costos y recursos	162.480
	5. Planificar la gestión de la calidad	162.480
	6. Planificar la gestión de los interesados y las comunicaciones	162.480
Subtotal Planificación Integral		\$995.190
Validación Técnica	1. Simulación de la revisión técnica del diseño preliminar	487.440
	2. Identificación y análisis de riesgos técnicos, normativos y contextuales	243.720
	3. Elaboración del informe de validación técnica y aprobación	243.720
Subtotal Validación Técnica		\$974.880
Implementación Proyectada	1. Planificación y simulación de adquisición de materiales y componentes	162.480
	2. Simulación de logística de transporte y recepción de materiales	203.100
	3. Simulación de instalación física del sistema	487.440
	4. Ejecución de pruebas funcionales simuladas	54.160
	5. Planificación y simulación de capacitación	54.160

	6. Simulación de puesta en marcha operativa y evaluación inicial	54.160
	7. Elaboración del informe final de simulación y recomendaciones	101.550
	Costo materiales (instalables y consumibles)	1.423.336
	Costo referencial en logística y transporte (25%)	355.834
Subtotal Implementación Proyectada		\$2.896.220
TOTAL GENERAL DEL PROYECTO		

Nota. Elaboración propia.

Análisis del Presupuesto

El Presupuesto total estimado del proyecto asciende a \$4.866.290 y se distribuye en tres fases principales: Planificación Integral, Validación Técnica e Implementación Proyectada. Cada una de estas fases presenta particularidades en su estructura de costos, determinadas por el tipo de recursos requeridos, la duración de las actividades y el nivel de especialización del recurso humano involucrado.

La Fase 1: Planificación Integral, con un costo de \$995.190, representa el 20.5% del presupuesto total. Aunque no incluye materiales físicos ni logística, este valor se concentra exclusivamente en el tiempo del coordinador del proyecto, cuyo valor hora se estimó en \$10.155 (1.5 veces el salario mínimo vigente) debido al nivel de responsabilidad y especialización requerido en funciones de planificación, diseño, gestión de calidad, cronograma, recursos y comunicaciones. Esta fase demandó 98 horas de trabajo técnico, lo cual justifica su costo como una inversión en la estructura metodológica y estratégica del proyecto.

La Fase 2: Validación Técnica tiene un valor total de \$974.880, equivalente al 20% del presupuesto. Aquí se llevaron a cabo tareas fundamentales como la revisión técnica del diseño preliminar, la identificación de riesgos técnicos y normativos, y la elaboración del informe de validación. Estas actividades fueron desarrolladas por un técnico evaluador, también con una tarifa de \$10.155 por hora. Las 96 horas asignadas a esta fase reflejan un trabajo detallado que

garantiza la viabilidad del sistema antes de simular su implementación. Este esfuerzo es clave para minimizar errores futuros y asegurar la coherencia técnica y funcional del diseño.

La Fase 3: Implementación Proyectada concentra el mayor porcentaje del presupuesto, con un valor de \$2.896.220, que representa el 59.5% del total. Este incremento sustancial se debe a una combinación de factores. En primer lugar, se incluye una inversión referencial de \$1.423.336 en materiales, derivados de la identificación detallada de los elementos necesarios para los sistemas de captación, almacenamiento, filtración y distribución. En segundo lugar, se contempla un valor de \$355.834 por concepto de logística y transporte, correspondiente al 25% del valor de referencia según la Alternativa 2. Este componente reconoce los costos asociados al traslado, manipulación y disposición de materiales en contextos rurales o de difícil acceso.

Adicionalmente, esta fase demanda 152 horas de trabajo, distribuidas entre el coordinador del proyecto (26 horas), el técnico instalador (58 horas) y los ayudantes operativos (68 horas). A diferencia de las fases anteriores, el personal operativo en esta etapa tiene una tarifa base de \$6.770 por hora (salario mínimo legal), lo que mantiene los costos bajo control, pero el volumen de horas necesarias para actividades como la instalación física, pruebas funcionales, capacitación y puesta en marcha incrementa naturalmente el valor final. Esta carga operativa es inherente a la naturaleza práctica de esta fase, donde la planificación y validación se traducen en acciones concretas de simulación y ejecución técnica.

En conjunto, el análisis de los resultados muestra que el crecimiento progresivo del costo por fase es coherente con el nivel de complejidad y recursos requeridos en cada una. La primera fase invierte en dirección técnica y organización; la segunda en evaluación experta del diseño; y la tercera en la simulación operativa del sistema completo. Por tanto, el comportamiento

presupuestal es proporcional a las necesidades reales del proyecto, y refleja un modelo de planificación sólido y realista.

Estrategia de Adquisición de Recursos Financieros

Dado el carácter simulado del proyecto, la estrategia de adquisición de recursos financieros se plantea sobre la base de supuestos realistas para contextos rurales con capacidades limitadas. Se considera que la financiación del sistema sería asumida por un actor privado, específicamente una persona natural interesada en implementar una solución de captación de agua lluvia de bajo costo en su vivienda. Este financiamiento cubriría los materiales, herramientas y mano de obra mínima necesarios para la construcción del sistema, en articulación con el acompañamiento técnico del equipo ejecutor del proyecto.

De forma complementaria, se reconocen fuentes hipotéticas adicionales de financiación como programas institucionales, convocatorias locales de innovación en agua o esquemas de cooperación técnica dirigidos a territorios con vulnerabilidad hídrica. Esta estrategia se articula con el principio de entrega continua de valor (PMI, 2021), priorizando la eficiencia del gasto y la sostenibilidad operativa del sistema propuesto. Se plantea como supuesto que los recursos financieros no provienen de estructuras públicas ni de inversión estatal, sino que son gestionados directamente por la persona interesada, bajo criterios de economía, funcionalidad y adaptabilidad al entorno.

Criterios de Seguimiento y Control de Costos

Para dar cumplimiento al Dominio de Desempeño de la Planificación, se implementa un instrumento de monitoreo financiero bajo la forma de una tabla de control presupuestal que consolida, para cada actividad del cronograma, la información de fases, recursos asignados y

costos planificados. Mediante el registro sistemático de los costos ejecutados, las variaciones absolutas y porcentuales, y el estado de cada entregable, esta herramienta facilita la identificación de discrepancias en tiempo real y respalda la toma de decisiones preventivas o correctivas. La disposición tabular permite, además, vincular directamente los datos financieros con los hitos definidos en el cronograma y con los principios de pensamiento sistémico y entrega de valor establecidos por el PMI (PMI, 2021).

Tabla 42

Seguimiento y Control de Costos

Fase	Actividad / Componente	Duración (días)	Inicio	Fin	Recursos asignados	Costo planificado (COP)	Costo ejecutado (COP)	Variación (COP)	Desviación (%)	Entregable asociado	Estado del entregable
Planificación integral	1. Desarrollar la definición del alcance del proyecto	3	03/06/2025	05/06/2025	Coordinador (12 h), Computador (3 d), Bibliografía (1 und)	121.860				Plan para la Dirección del Proyecto	Pendiente
Planificación integral	2. Planificar el cronograma del proyecto	2	06/06/2025	07/06/2025	Coordinador (8 h), Computador (2 d)	81.240				Cronograma del Proyecto	Pendiente
Planificación integral	3. Diseñar el Sistema de Agua Lluvia Potabilizada	5	08/06/2025	12/06/2025	Coordinador (30 h), Computador (5 d), Bibliografía (1 und)	304.650				Diseño Técnico del Sistema	Pendiente
Planificación integral	4. Planificar la gestión de costos y recursos	2	13/06/2025	14/06/2025	Coordinador (16 h), Computador (2 d)	162.480				Plan de Gestión de Costos y Recursos	Pendiente
Planificación integral	5. Planificar la gestión de la calidad	2	15/06/2025	16/06/2025	Coordinador (16 h), Bibliografía (1 und), Computador (2 d)	162.480				Plan de Gestión de la Calidad	Pendiente
Planificación integral	6. Planificar la gestión de los interesados y las comunicaciones	2	17/06/2025	18/06/2025	Coordinador (16 h), Computador (2 d)	162.480				Plan de Gestión de Interesados y Comunicaciones	Pendiente
Validación Técnica	1. Simulación de la revisión técnica del diseño preliminar	6	19/06/2025	24/06/2025	Técnico evaluador (48 h), Computador (6 d), Bibliografía (1 und)	487.440				Informe de revisión técnica	Pendiente
Validación Técnica	2. Identificación y análisis real de riesgos técnicos,	3	25/06/2025	27/06/2025	Técnico evaluador (24 h)	243.720				Registro de riesgos técnicos	Pendiente

Validación Técnica	normativos y contextuales 3. Elaboración del informe de validación técnica y aprobación	3	28/06/2025	30/06/2025	Técnico evaluador (24 h), Computador (3 d)	243.720	Informe de validación técnica	Pendiente
Implementación proyectada	1. Planificación y simulación de adquisición de materiales y componentes	2	01/07/2025	02/07/2025	Coordinador (16 h), Computador (5 d), Cotizaciones	162.480	Plan de adquisición de materiales	Pendiente
Implementación proyectada	2. Simulación de logística de transporte y recepción de materiales	2	03/07/2025	04/07/2025	Técnico instalador (10 h), Ayudantes (2×10 h), Recurso logístico	203.100	Plan logístico de transporte	Pendiente
Implementación proyectada	3. Simulación de instalación física del sistema, incluyendo montaje y conexionado	3	05/07/2025	07/07/2025	Técnico instalador (24 h), Ayudantes (2×24 h), Herramientas y materiales	487.440	Informe de instalación simulada	Pendiente
Implementación proyectada	4. Ejecución de pruebas funcionales simuladas	2	08/07/2025	09/07/2025	Técnico instalador (8 h), Cinta métrica, Cronómetro	54.160	Informe de pruebas funcionales	Pendiente
Implementación proyectada	5. Planificación y simulación de capacitación para operación y mantenimiento	1	10/07/2025	10/07/2025	Técnico instalador (8 h), Computador (1 d), Material de capacitación	54.160	Material de capacitación	Pendiente
Implementación proyectada	6. Simulación de puesta en marcha operativa y evaluación inicial	1	11/07/2025	11/07/2025	Técnico instalador (8 h), Computador (1 d), Checklist	54.160	Checklist de puesta en marcha	Pendiente
Implementación proyectada	7. Elaboración del informe final de simulación, evaluación de desempeño y recomendaciones	2	12/07/2025	13/07/2025	Coordinador (10 h), Computador (2 d)	101.550	Informe final de simulación	Pendiente

Nota. Elaboración propia.

Dominio de Desempeño de los Interesados

De acuerdo con la Guía del PMBOK® (PMI, 2021), el involucramiento efectivo de los interesados es un componente clave para asegurar la entrega de valor en los proyectos. En este

contexto, se realizó una caracterización detallada de los interesados del proyecto, considerando su rol, nivel de influencia, expectativas y relación con los objetivos del sistema de captación y distribución de agua lluvia potabilizada. Esta identificación permitió clasificar a cada actor según su nivel de poder e interés, establecer estrategias de participación diferenciadas y definir enfoques de comunicación y seguimiento que faciliten su compromiso a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Por tanto, ahora se presenta el desarrollo del Dominio de Desempeño de los Interesados, estructurado en función de la estrategia de involucramiento, el plan de comunicaciones, la integración de los actores clave en cada fase del ciclo de vida del proyecto y los mecanismos de seguimiento a su participación, en concordancia con los lineamientos establecidos por el PMI (2021).

Estrategia de Involucramiento de los Interesados

Se desarrolla la estrategia de involucramiento de los interesados con base en el registro previamente elaborado y conforme a los lineamientos del Dominio de Desempeño de los Interesados establecido en el Estándar para la Dirección de Proyectos del PMI (2021). Dado el carácter simulado del proyecto y su alcance limitado a una implementación de bajo costo en una vivienda unifamiliar del departamento del Chocó, se ha optado por enfocar la estrategia únicamente en los actores con participación directa y operativa en el desarrollo del sistema. En consecuencia, se excluyen del análisis los interesados de nivel nacional e institucional, así como aquellos cuya vinculación implicaría estructuras formales no justificadas para un ejercicio de pequeña escala, tales como entidades gubernamentales, organizaciones no gubernamentales, universidades, interventores o veedurías ciudadanas. La dirección y ejecución del proyecto será asumida por un coordinador con apoyo de un equipo técnico básico, lo que permite simplificar la

estructura de gestión. La estrategia de involucramiento se orienta a garantizar una participación efectiva de la familia beneficiaria, los representantes comunitarios, el equipo ejecutor y los proveedores de insumos, actores que intervienen directamente en la planificación, ejecución y validación funcional del sistema propuesto.

Tabla 43

Estrategias de Involucramiento Interesados

Entidad / Nivel	Nombre del Interesado	Rol en el Proyecto	Nivel de Involucramiento	Estrategia de Involucramiento	Fase Principal de Participación	Frecuencia / Medio
Vivienda beneficiaria del proyecto	Representante de familia beneficiaria	Beneficiario directo	Gestionar atentamente	Talleres breves de socialización, validación del diseño y retroalimentación directa.	Planificación integral / Implementación proyectada	Presencial - Inicio y cierre de cada fase
Comunidad local	Líder comunitario en agua y saneamiento	Representante comunitario	Gestionar atentamente	Reuniones de coordinación para validar pertinencia del diseño y acompañar la socialización comunitaria.	Planificación integral	Presencial - Una vez por fase
Dirección y ejecución del proyecto	Coordinador del proyecto	Responsable de planificación y ejecución	Gestionar atentamente	Liderar diseño, planificación, seguimiento, toma de decisiones y generación de entregables.	Todas las fases	Diaria - Presencial y digital
Equipo técnico ejecutor	Técnico de obra y dos ayudantes	Ejecutores del sistema	Gestionar atentamente	Asignación de tareas técnicas, ejecución del montaje y pruebas simuladas del sistema.	Implementación proyectada	Presencial - Toda la fase de implementación
Proveedor de insumos	Proveedor local o estimado simulado	Proveedor técnico	Mantener satisfecho	Coordinación previa para definición de requerimientos, calidad esperada y cronograma de entrega.	Implementación proyectada	Presencial / Telefónico - Etapa previa a instalación

Empresa privada financiadora	Persona natural interesada	Patrocinador del sistema	Mantener satisfecho	Informe breve de avances, reporte de costos y entrega de resultados funcionales del sistema.	Planificación integral / Evaluación final	Digital o verbal - Inicio, avances y cierre
-------------------------------------	----------------------------	--------------------------	---------------------	--	---	---

Nota. Elaboración propia.

Las estrategias de involucramiento definidas responden al carácter operativo y simulado del proyecto, priorizando actores con participación directa en la planificación, ejecución y uso del sistema. El coordinador del proyecto asume un rol central, integrando funciones de dirección y enlace técnico, lo cual facilita la implementación en un entorno con recursos limitados. El equipo técnico ejecutor se vincula en la fase de instalación y pruebas funcionales, con tareas claras y supervisión continua.

La familia beneficiaria y el líder comunitario participan en la validación del diseño, la identificación de necesidades locales y la apropiación de la solución. Su participación se organiza mediante encuentros presenciales y espacios de retroalimentación, lo que permite adaptar el sistema al contexto real de uso. Estas acciones fortalecen la sostenibilidad del proyecto desde una perspectiva social.

El actor financiador, representado por una persona natural, asume los costos del sistema con base en criterios de funcionalidad, economía y resultado tangible. Su involucramiento contempla la entrega de reportes breves sobre avances y desempeño, articulados con el principio de entrega continua de valor. Esta figura refuerza la viabilidad del sistema bajo esquemas de inversión personal en zonas con baja cobertura institucional.

Plan de Comunicaciones con los Interesados

La comunicación con los interesados se estructura de manera proporcional al rol, influencia y nivel de participación de cada actor dentro del proyecto. El objetivo principal es

asegurar que todos los involucrados reciban información relevante y oportuna que les permita contribuir activamente a las fases del proyecto y al uso efectivo del sistema. Dado el alcance limitado del proyecto y los recursos disponibles, se priorizan medios de comunicación presenciales, verbales y escritos de bajo costo.

El coordinador del proyecto actúa como responsable central de las comunicaciones, organizando los flujos de información con base en el cronograma establecido. Las comunicaciones con la familia beneficiaria se centran en la validación del diseño, la planificación de la instalación y la capacitación para su uso. El líder comunitario participa en encuentros de coordinación para reforzar la pertinencia del sistema. El equipo técnico recibe instrucciones diarias sobre tareas operativas, mientras que el proveedor es contactado con información precisa sobre los insumos requeridos. El financiador privado es informado al finalizar cada fase clave, con reportes breves sobre avances y ejecución.

Tabla 44

Plan de Comunicaciones con los Interesados

Interesado	Tipo de información	Medio de comunicación	Frecuencia	Responsable
Familia beneficiaria	Avances, diseño validado, recomendaciones de uso	Reuniones presenciales	Inicio, instalación y cierre de cada fase	Coordinador del proyecto
Líder comunitario	Diseño funcional, cronograma	Reuniones presenciales	Una vez por fase	Coordinador del proyecto
Coordinador del proyecto	Consolidación y distribución de información	Documentación interna, oral	Diaria	Coordinador del proyecto
Equipo técnico ejecutor	Actividades asignadas, instrucciones técnicas	Comunicación directa oral	Diaria en fase de ejecución	Coordinador del proyecto
Proveedor de insumos	Lista de materiales, fechas	Llamada o mensaje escrito	Una vez previa a instalación	Coordinador del proyecto

Empresa privada financiadora	Avances, costos, resultados	Informe verbal o escrito	Al cierre de cada fase clave	Coordinador del proyecto
------------------------------------	--------------------------------	-----------------------------	------------------------------------	-----------------------------

Nota. Elaboración propia.

El plan de comunicaciones establecido para el proyecto se ajusta a su escala operativa y al contexto comunitario, priorizando medios simples, accesibles y proporcionales al rol de cada interesado. La centralización de la gestión comunicacional en el coordinador del proyecto permite articular eficientemente las interacciones con los distintos actores, garantizando continuidad en la información y coherencia entre fases. La frecuencia y el medio se definieron según el nivel de participación de cada parte: el equipo técnico requiere comunicación diaria durante la ejecución, mientras que la familia beneficiaria, el líder comunitario, el proveedor y el financiador reciben información en momentos estratégicos del cronograma. Este enfoque favorece la toma de decisiones informada, la validación social del sistema y la trazabilidad del avance, sin depender de recursos tecnológicos complejos ni estructuras adicionales.

Integración del Involucramiento de los Interesados con el Ciclo de Vida del Proyecto

La participación de los interesados debe integrarse de manera estructurada a lo largo del ciclo de vida del proyecto, en función de sus roles, responsabilidades y momentos de intervención. Para este proyecto simulado, se identificaron los puntos críticos en los que cada actor aporta valor, se definió el tipo de participación esperado y se especificaron los medios de interacción más adecuados. La siguiente tabla resume esta integración, relacionando cada fase del proyecto con los actores involucrados, el tipo de participación previsto y la forma en que se gestionará dicha interacción.

Tabla 45

Interesados en el Ciclo de Vida del Proyecto

Fase del Proyecto	Interesados principales	Tipo de participación	Forma de interacción
Planificación integral	Familia beneficiaria, líder comunitario, financiador	Validación del diseño, definición de expectativas, planificación financiera	Reuniones presenciales, retroalimentación directa, reporte verbal
Validación técnica	Coordinador, equipo técnico, líder comunitario	Simulación de revisión técnica, ajustes al diseño, análisis de riesgos	Simulaciones, reuniones técnicas, revisión conjunta de observaciones
Implementación proyectada	Equipo técnico, familia beneficiaria, financiador	Instalación, pruebas funcionales, entrega de resultados	Ejecución presencial, instrucciones diarias, informes de cierre

Nota. Elaboración propia.

La integración progresiva del involucramiento de los interesados en cada fase del proyecto permite asegurar la coherencia entre los objetivos técnicos y las expectativas sociales y operativas del sistema. En la fase de planificación, se destaca la validación del diseño por parte de la familia beneficiaria y la articulación inicial con el financiador, lo que permite ajustar el alcance al contexto real. Durante la validación técnica, la participación del equipo y del coordinador permite anticipar riesgos y realizar ajustes oportunos. En la implementación proyectada, la interacción diaria con el equipo técnico y la familia beneficiaria facilita la apropiación del sistema y el control de su funcionalidad. Esta articulación favorece una gestión más eficaz y realista de los recursos, fortaleciendo la entrega continua de valor en todas las etapas del proyecto.

Seguimiento a la Participación y Gestión de Expectativas

El seguimiento a la participación y la gestión de expectativas de los interesados permite monitorear de forma continua el grado de cumplimiento de las actividades asignadas a cada actor y verificar si sus necesidades, aportes y compromisos fueron atendidos adecuadamente. Para este proyecto, se diseñó una tabla de control que relaciona a cada interesado con su mecanismo de seguimiento, frecuencia de verificación, evidencia documentada y observaciones sobre su

participación. Este instrumento facilita la trazabilidad del involucramiento, así como la evaluación del desempeño de cada actor en función de su rol.

Tabla 46

Seguimiento a la Participación y Gestión de Expectativas

Interesado	Mecanismo de seguimiento	Frecuencia de verificación	Indicador de cumplimiento	Responsable	Evidencia de cumplimiento	Cumplimiento (Sí / No)	Observación
Familia beneficiaria	Registro de reuniones y observaciones	Al inicio, durante instalación y cierre	Participación activa y validación del diseño	Coordinador del proyecto	Acta de reunión firmada, comentarios registrados		
Líder comunitario	Actas de reuniones comunitarias	Una vez por fase	Revisión y aceptación del diseño por comunidad	Coordinador del proyecto	Firma en acta comunitaria y validación verbal		
Equipo técnico ejecutor	Control diario de actividades y bitácora de obra	Diaria durante implementación proyectada	Tareas ejecutadas según cronograma	Coordinador del proyecto	Bitácora técnica con actividades marcadas como completadas		
Proveedor de insumos	Confirmación de entrega según lista y fechas	Previo a fase de instalación	Entrega completa y oportuna	Coordinador del proyecto	Factura y constancia de entrega conforme del coordinador		
Empresa privada financiadora	Informe verbal o escrito al cierre de cada fase	Final de planificación, implementación y evaluación	Recepción de información y conformidad con resultados	Coordinador del proyecto	Mensaje recibido y respuesta verbal de aprobación		

Nota. Elaboración propia.

Dado que el proyecto se desarrolla en un contexto simulado, el seguimiento a la participación y la gestión de expectativas se plantea como una herramienta prospectiva que permite anticipar cómo se verificaría el involucramiento de los interesados en cada fase. La tabla

elaborada establece criterios de verificación y evidencias esperadas que, en un escenario real, permitirían comprobar si los actores cumplieron con su rol y si sus expectativas fueron gestionadas adecuadamente. Esta estructura facilita la planificación de la trazabilidad del proyecto, identificando momentos clave para el control y formas viables de recolectar evidencias como actas, bitácoras o registros de entregas.

Dominio del Equipo

A continuación, se presenta el desarrollo correspondiente al dominio del desempeño del equipo, conforme a los lineamientos establecidos en la Guía del PMBOK® (PMI, 2021). Este dominio aborda los elementos clave para conformar, guiar y sostener un equipo capaz de generar valor a lo largo del ciclo de vida del proyecto, integrando aspectos relacionados con la colaboración, el liderazgo y el entorno de trabajo. En el contexto simulado de este proyecto, orientado al diseño e implementación de un sistema de captación y distribución de agua lluvia potabilizada para una vivienda unifamiliar en Chocó, ya se ha definido un grupo básico de recurso humano y se han identificado los principales interesados. Esta información constituye el punto de partida para estructurar las condiciones necesarias que favorezcan el desempeño del equipo, su alineación con los objetivos del proyecto y la generación de valor sostenible para la comunidad beneficiaria. El contenido se desarrolla en torno a los componentes esenciales del dominio, adaptados a las características operativas y contextuales del proyecto.

Formación y Desarrollo del Equipo de Proyecto

Abarca la selección de integrantes, criterios de conformación, establecimiento de roles y responsabilidades, así como el desarrollo de capacidades y alineación con los objetivos del proyecto.

En el contexto del proyecto simulado orientado al diseño e implementación de un sistema de captación y distribución de agua lluvia potabilizada para una vivienda unifamiliar en el departamento del Chocó, se ha estructurado un equipo operativo ajustado a las restricciones presupuestales, técnicas y territoriales. La conformación del equipo responde a los principios de adecuación al entorno, colaboración efectiva y pensamiento sistémico definidos en la Guía del PMBOK® (PMI, 2021), articulando perfiles técnicos y operativos con funciones diferenciadas y alineadas con los objetivos del proyecto.

La tabla que se presenta a continuación desglosa, para cada perfil, los elementos esenciales del proceso de formación y desarrollo del equipo: justificación del rol, criterios de conformación, actividades asignadas, distribución de horas y costos, contribución al valor entregado, desarrollo de capacidades individuales y alineación con los objetivos del proyecto. Este enfoque permite evidenciar cómo cada miembro del equipo aporta a los entregables claves y cómo el proceso de simulación también funciona como una instancia formativa y de fortalecimiento técnico.

Tabla 47

Formación y Desarrollo del Equipo

Elemento	Coordinador del proyecto	Técnico (validación e instalación)	Ayudantes operativos
Rol y justificación	Lidera planificación, seguimiento y cierre. Seleccionado por experiencia en gestión de proyectos PMI y trabajo en contextos con restricciones logísticas.	Asume funciones técnicas. Seleccionado por experiencia en sistemas hidráulicos y adaptabilidad al entorno.	Apoyan instalación física y pruebas. Requieren experiencia básica en labores manuales.
Criterios de conformación	Experiencia en dirección de proyectos, manejo de herramientas de planificación, capacidad de liderazgo técnico y contextual.	Competencia en diseño de sistemas hidráulicos, experiencia en validación técnica y capacidades para operar en campo.	Habilidad práctica en labores manuales, disposición para trabajo colaborativo y en zonas rurales.

Actividades asignadas	Definición del alcance, cronograma, calidad, interesados, costos, adquisición de materiales, evaluación final.	Validación del diseño, análisis de riesgos, instalación, pruebas, capacitación, puesta en marcha.	Transporte, montaje, apoyo a instalación y pruebas.
Horas y costos asignados	124 h (98 h planificación + 26 h implementación), \$10.155/h, Total: \$1.258.470	152 h (96 h validación + 56 h implementación), \$10.155/h y \$6.770/h, Total: \$1.029.040	68 h por ayudante, \$6.770/h, Total conjunto: \$459.360
Contribución al valor entregado	Asegura viabilidad, sostenibilidad y alineación técnica y presupuestal con objetivos del proyecto.	Garantiza funcionalidad técnica, minimiza errores, promueve apropiación del sistema.	Permiten ejecución operativa bajo condiciones reales del entorno.
Fortalecimiento de capacidades	Aplica herramientas avanzadas de gestión y adapta soluciones a contextos rurales.	Reafirma habilidades técnicas y uso de enfoques adaptativos en sistemas de bajo costo.	Aprendizaje práctico en montaje y operación de sistemas de agua lluvia.
Desarrollo de capacidades	Fortalece habilidades de diseño estratégico y análisis integral del ciclo de vida del proyecto.	Fortalece capacidades para diagnóstico técnico, ejecución de pruebas y formación comunitaria.	Adquieren destrezas funcionales en armado, conexión y verificación de componentes.
Alineación con los objetivos del proyecto	Contribuye directamente a la planificación, dirección técnica y control presupuestal, garantizando el cumplimiento de todos los entregables principales.	Su participación es clave en la validación de viabilidad y aseguramiento de la funcionalidad técnica del sistema, directamente ligado al valor entregado.	Apoyan la ejecución física del sistema, permitiendo la materialización de los diseños técnicos proyectados.

Nota. Elaboración propia.

La estructuración del equipo de trabajo en este proyecto simulado responde a una lógica funcional que articula perfiles técnicos y operativos con actividades específicas por fase. La distribución de responsabilidades y tiempos refleja una asignación eficiente de recursos, en coherencia con el enfoque basado en valor de la Guía del PMBOK® (PMI, 2021). Cada perfil contribuye de forma concreta al logro de los entregables, y se evidencia una alineación clara entre capacidades individuales y objetivos del proyecto.

El desarrollo de capacidades se integra al proceso a través de la participación directa en tareas técnicas y operativas. Las simulaciones planteadas permiten que el equipo refuerce habilidades en contexto, sin requerir procesos formales de formación. Esta dinámica refleja un

entorno de trabajo colaborativo donde el aprendizaje se da en la práctica, adaptado a las condiciones reales del territorio y orientado a la funcionalidad del sistema.

Entorno de Trabajo y Condiciones para el Desempeño Colaborativo

El entorno de trabajo del equipo en este proyecto simulado ha sido diseñado conforme a los principios de la Guía del PMBOK® (PMI, 2021), integrando condiciones virtuales y presenciales adaptadas al contexto rural del Chocó. Esta configuración busca facilitar la colaboración efectiva, garantizar la coherencia técnica-operativa y asegurar que el equipo pueda desarrollar sus funciones bajo condiciones realistas y sostenibles.

Tabla 48

Entorno y Condiciones para el Trabajo

Criterio	Desarrollo aplicado al proyecto
Modalidad de trabajo adecuada al contexto	Se adopta una modalidad mixta de trabajo, con actividades de planificación desarrolladas en entornos virtuales mediante el uso de computadores y software de oficina, mientras que las fases de validación técnica e implementación se realizan de forma presencial simulada, bajo condiciones análogas a las de una vivienda rural en Chocó. Esta estrategia permite optimizar los recursos disponibles, mantener la continuidad del trabajo del equipo y preparar a los integrantes para escenarios reales de intervención.
Herramientas y medios accesibles y funcionales	Durante la planificación se emplean herramientas básicas como hojas de cálculo, procesadores de texto y repositorios digitales para la consolidación de documentos. En la fase simulada presencial, se utilizan instrumentos físicos como planos impresos, listas de materiales, herramientas manuales y registros escritos, todos adaptados a las limitaciones tecnológicas del entorno rural proyectado. Estas herramientas fueron seleccionadas por su accesibilidad, bajo costo y pertinencia operativa.
Condiciones logísticas realistas	La validación técnica y la simulación de la implementación se desarrollan en espacios con restricciones físicas similares a las del entorno objetivo. No se dispone de equipos especializados, lo que exige que las soluciones técnicas sean prácticas y replicables con materiales y herramientas de uso común. Esta condición fortalece la coherencia entre diseño y ejecución, y permite evaluar la sostenibilidad técnica del sistema bajo condiciones reales.
Cultura de colaboración basada en principios	La interacción entre los miembros del equipo se organiza bajo un enfoque de respeto, corresponsabilidad y participación activa. Se promueve una cultura donde las decisiones se toman de forma compartida, valorando las aportaciones individuales y fomentando la autonomía operativa. Este ambiente colaborativo permite que el equipo funcione de manera integrada y orientada a los entregables establecidos, en concordancia con los principios de la dirección de proyectos del PMI.

La modalidad mixta de trabajo permite una articulación eficiente entre planificación estratégica y ejecución operativa, ajustándose a los recursos disponibles y a las condiciones del entorno. La simulación en campo refuerza la aplicabilidad del diseño y fortalece las capacidades del equipo al enfrentarse a escenarios prácticos. Al promover una cultura colaborativa basada en participación y confianza, se facilita el cumplimiento de los entregables, generando condiciones propicias para la entrega de valor en proyectos reales.

Liderazgo y Dirección del Equipo

El enfoque de liderazgo implementado en este proyecto simulado se basa en los principios de liderazgo adaptativo y liderazgo servicial definidos por la Guía del PMBOK® (PMI, 2021). En un equipo reducido y con perfiles funcionalmente diversos, el liderazgo debe ajustarse al contexto operativo, facilitando la colaboración, anticipando barreras y asegurando la alineación continua con los objetivos del proyecto. El coordinador del proyecto ejerce este liderazgo desde una posición de facilitación, promoviendo relaciones de confianza, organización estructurada del trabajo y toma de decisiones compartida.

La dirección del equipo se realiza mediante acciones que fortalecen la participación activa y la autonomía funcional. Durante la planificación, se promueve la interacción técnica y el análisis conjunto de criterios operativos. En la fase de implementación simulada, la distribución clara de responsabilidades, el acompañamiento técnico y la resolución oportuna de situaciones de campo permiten sostener un entorno productivo. Este modelo de liderazgo, centrado en la colaboración y la adaptabilidad, asegura la cohesión del equipo y su orientación a resultados, en concordancia con los principios de pensamiento sistémico, adecuación al entorno y compromiso con el valor entregado establecidos por el PMI (2021).

Evaluación y Monitoreo del Desempeño del Equipo

El monitoreo del desempeño del equipo en este proyecto simulado se desarrolla a través de una herramienta estructurada que permite verificar, por fase, el cumplimiento de las actividades asignadas a cada integrante. Esta evaluación responde a los principios de pensamiento sistémico, orientación a resultados y mejora continua establecidos en la Guía del PMBOK® (PMI, 2021). La herramienta empleada corresponde a una matriz de evaluación que consolida criterios técnicos y operativos, definiendo responsables, fechas y acciones de seguimiento.

La matriz está compuesta por campos que permiten registrar la información clave para cada evaluación. El campo “Cumple / No cumple” permite marcar si la actividad fue ejecutada conforme a los criterios definidos: entrega a tiempo, completitud técnica y funcionalidad esperada. El campo “Observaciones” permite consignar comentarios cualitativos sobre el desarrollo de la actividad, incluyendo logros, dificultades o condiciones contextuales que hayan influido en el resultado. Por su parte, el campo “Acción correctiva / refuerzo” documenta las decisiones tomadas para mejorar o fortalecer el desempeño, como reasignaciones, ajustes técnicos o acompañamientos específicos. Finalmente, el campo “Estado acumulado por fase” permite calificar el desempeño general del integrante en el conjunto de actividades asignadas dentro de cada fase, facilitando una lectura integral y orientada a la toma de decisiones.

La presente matriz de monitoreo y evaluación del desempeño del equipo ha sido elaborada conforme a los principios establecidos en la Guía del PMBOK® (PMI, 2021), con el fin de realizar un seguimiento estructurado al cumplimiento de las actividades asignadas en el marco del proyecto simulado para el desarrollo de un sistema de captación y distribución de agua lluvia potabilizada en Chocó. La herramienta permite verificar el desempeño individual y

colectivo por fase, definir responsables de evaluación, aplicar criterios de cumplimiento y establecer acciones de mejora.

Tabla 49

Matriz de Monitoreo y Evaluación del Equipo

Integrante	Fase del proyecto	Actividad principal	Indicador de desempeño	Medio de verificación	Cumple / No cumple	Fecha de evaluación	Responsable de evaluación	Observaciones	Acción correctiva / refuerzo	Estado acumulado por fase
Coordinador del proyecto	Planificación	Elaboración del Plan para la Dirección del Proyecto	Entrega completa y oportuna del documento planificado	Documento entregado y revisado por criterios del PMBOK		2025-06-07	Evaluador interno (líder metodológico)			
Técnico (validación)	Validación técnica	Análisis y validación del diseño del sistema	Informe técnico entregado con identificación precisa de riesgos y recomendaciones	Informe de validación técnica y revisión por parte del coordinador		2025-06-25	Coordinador del proyecto			
Ayudantes operativos	Implementación	Montaje y apoyo logístico durante la instalación	Cumplimiento diario de tareas asignadas y apoyo efectivo al técnico	Registro de asistencia y evaluación diaria del técnico		2025-07-08	Técnico instalador			
Técnico instalado	Implementación	Simulación de instalación y ejecución de pruebas funcionales	Tareas ejecutadas sin errores técnicos ni omisiones operativas	Lista de chequeo de instalación y resultados de pruebas simuladas		2025-07-10	Coordinador del proyecto			
Ayudantes operativos	Implementación	Apoyo en la ejecución de pruebas y cierre de actividades	Participación activa en todas las etapas operativas asignadas	Bitácora operativa y observación directa del desempeño		2025-07-10	Técnico instalador			
Coordinador del proyecto	Implementación	Redacción de informe final y evaluación funcional simulada	Documento final entregado y validado sin omisiones clave	Informe final validado contra entregables anteriores		2025-07-14	Coordinador del proyecto			

Nota. Elaboración propia

La implementación de esta matriz permite vincular los entregables operativos con indicadores de desempeño claros y verificables, alineando así el control del equipo con el enfoque de valor y pensamiento sistémico del PMI (2021). Al establecer fechas específicas de evaluación coherentes con el cronograma del proyecto y responsables definidos para cada fase,

se garantiza la trazabilidad de los resultados y la posibilidad de ajustar comportamientos y tareas de manera oportuna. Este instrumento facilita no solo el control del avance técnico, sino también el fortalecimiento progresivo de las capacidades del equipo.

Dominio de la Entrega

El dominio de desempeño de la entrega, conforme a lo establecido en la Guía del PMBOK® (PMI, 2021), orienta la producción de resultados verificables y útiles dentro del proyecto, asegurando que los entregables generados respondan a los requisitos planificados y aporten valor conforme a los objetivos definidos. En el marco del presente proyecto, este dominio se desarrolla mediante tres componentes articulados: la planificación y control de los entregables, la gestión de la calidad aplicada a su desarrollo y validación, y la alineación de dichos productos con el valor proyectado. Cada uno de estos apartados permite establecer una secuencia técnica y metodológica que respalda la construcción, verificación y aceptación de los entregables, con fundamento en criterios normativos, técnicos y de aplicabilidad contextual.

Planificación y Control de los Entregables

Según la Guía del PMBOK® (PMI, 2021), la planificación y control de los entregables permite asegurar que cada producto del proyecto cumpla con los requisitos establecidos, sea validado por los responsables designados y mantenga trazabilidad. En el presente proyecto, se definieron entregables por fase, cada uno con su criterio de aceptación, responsable de revisión, secuencia de validación y mecanismo de seguimiento:

Tabla 50

Planificación y Control de los Entregables

Fase	Entregable	Criterio de Aceptación	Responsable de Revisión	Validación	Trazabilidad
------	------------	------------------------	-------------------------	------------	--------------

Planificación integral	Plan para la Dirección del Proyecto	Coherencia con los dominios del PMBOK® y claridad estructural	Coordinador del proyecto	Revisión documental y validación estructural	Versión documentada con control de cambios
Planificación integral	Diseño técnico del sistema	Conformidad con el RAS (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico) y adaptabilidad al entorno local	Revisor técnico y coordinador	Revisión técnica, ajustes y aprobación final	Esquemas y cantidades para la construcción
Planificación integral	Cronograma del proyecto	Lógica entre actividades, hitos y duración	Coordinador del proyecto	Revisión contra EDT y análisis de secuencia lógica	Cronograma codificado con bitácora de ajustes
Planificación integral	Costos por fases	Consistencia entre recursos estimados, precios unitarios y fases	Coordinador del proyecto	Validación presupuestal y ajuste conforme al diseño	Matriz de costos con referencias cruzadas
Planificación integral	Listado de recursos	Adecuación de los recursos técnicos y humanos al alcance del proyecto	Coordinador del proyecto	Cruce con cronograma y plan de calidad	Matriz de asignación con control de uso
Validación técnica	Informe de validación técnica del diseño	Validez técnica de las recomendaciones frente a riesgos y contexto	Revisor técnico	Análisis técnico, ajustes recomendados y validación final	Historial de observaciones y ajustes validados Plano técnico versionado y fichas de especificación
Implementación proyectada	Informe de implementación simulada	Cumplimiento de condiciones funcionales definidas en el diseño técnico	Coordinador del proyecto	Simulación, análisis funcional e informe estructurado	Registro detallado con secuencia de implementación
Implementación proyectada	Registros de pruebas funcionales	Resultados verificables que respalden funcionalidad y calidad del sistema	Revisor técnico	Ejecución de pruebas, registro de resultados y verificación	Registros físicos y digitales de pruebas realizadas
Implementación proyectada	Propuesta de operación y mantenimiento	Viabilidad técnica y económica del mantenimiento del sistema en uso proyectado	Revisor técnico	Evaluación integral, recomendaciones y aprobación final	Informe técnico con plan de mantenimiento validado

Nota. Elaboración propia.

Gestión de la Calidad de los Entregables

La gestión de la calidad de los entregables permite asegurar que los productos generados durante el proyecto cumplan con los requisitos definidos, tanto normativos como funcionales. Este enfoque, alineado con los principios del Estándar para la Dirección de Proyectos del PMI (2021), se aplica de forma estructurada mediante procesos de planificación, aseguramiento, control y mejora continua.

Estándares de Calidad Aplicados

La calidad de los entregables se define en función de criterios normativos, metodológicos y técnicos que orientan su validación y aceptación. De acuerdo con el Estándar para la Dirección de Proyectos del PMI (2021), los entregables deben cumplir con las expectativas de los interesados y responder a los requisitos establecidos durante la planificación. En este proyecto, se aplican como estándares principales la Guía del PMBOK® (PMI, 2021), el Reglamento Técnico RAS y principios de coherencia técnica y funcional asociados al diseño de sistemas de agua potable. La siguiente tabla sintetiza los estándares aplicados por entregable:

Tabla 51

Estándares de Calidad Aplicados

Fase	Entregable	Estándar de Calidad Aplicado	Fuente Técnica
Planificación integral	Plan para la Dirección del Proyecto	Estructura completa según dominios del PMBOK® y coherencia metodológica	Guía del PMBOK® (PMI, 2021)
Planificación integral	Diseño técnico del sistema	Cumplimiento del RAS y diseño adaptado al entorno local	RAS, Guía del PMBOK® (PMI, 2021)
Planificación integral	Cronograma del proyecto	Secuencia lógica, duración realista y vinculación con la EDT	Guía del PMBOK® (PMI, 2021)
Planificación integral	Costos por fases	Correspondencia entre cantidades, precios y fases del sistema	PMBOK® y principios de estimación

Planificación integral	Listado de recursos	Adecuación técnica y funcional de los recursos asignados	PMBOK® y buenas prácticas logísticas
Validación técnica	Informe de validación técnica	Análisis técnico conforme al contexto, riesgos y recomendaciones verificables	PMBOK® y criterios de revisión técnica
Implementación proyectada	Informe de implementación simulada	Funcionalidad del sistema validada mediante simulación	PMBOK® y pruebas funcionales simuladas
Implementación proyectada	Registros de pruebas funcionales	Verificación técnica documentada del rendimiento del sistema	PMBOK® y criterios técnicos operativos
Implementación proyectada	Propuesta de operación y mantenimiento	Plan operativo coherente con el diseño, de bajo costo y viable localmente	PMBOK® y buenas prácticas de mantenimiento

Nota. Elaboración propia.

La estructura de estándares aplicados a cada entregable muestra una articulación progresiva entre los criterios metodológicos y técnicos que orientan la validación del sistema propuesto. Los productos derivados de la fase de planificación se apoyan en la Guía del PMBOK® (PMI, 2021), lo que garantiza coherencia con los dominios de desempeño y refuerza la integridad del plan como herramienta de gestión. Esta correspondencia metodológica establece una base sólida para el control y seguimiento del resto de fases.

En los entregables técnicos y funcionales, como el diseño del sistema y la propuesta de operación y mantenimiento, se integran normas específicas como el RAS, lo que permite verificar que las soluciones propuestas son viables, seguras y adaptadas al entorno del Chocó. La inclusión de estándares normativos en estos productos fortalece su aplicabilidad y permite establecer criterios objetivos de evaluación que trascienden el plano documental.

La alineación entre propósito, contenido técnico y validez metodológica favorece el cumplimiento de los objetivos definidos y aporta garantías de calidad que respaldan su funcionalidad dentro del contexto proyectado. La definición de estos estándares también facilita la implementación de mecanismos de control y aseguramiento desde la planificación, permitiendo trazar el cumplimiento de cada entregable a lo largo del ciclo del proyecto.

Estrategias de Aseguramiento Control de la Calidad

Los estándares definidos para cada entregable establecen los criterios que orientan su aceptación formal y funcional dentro del proyecto. A partir de estos referentes, se estructuran estrategias específicas que permiten planificar la calidad desde la fase inicial y controlar su cumplimiento durante el desarrollo. Estas estrategias articulan acciones preventivas y mecanismos de verificación, respaldando la validez técnica, documental y operativa de los productos generados.

Las estrategias definidas para garantizar la calidad de los entregables se clasifican en dos tipos según su función en el proceso de gestión: estrategias de aseguramiento, orientadas a incorporar la calidad desde la planificación; y estrategias de control, enfocadas en la verificación sistemática del cumplimiento de los criterios establecidos. Esta diferenciación permite abordar la calidad desde una perspectiva integral, combinando acciones preventivas y mecanismos de revisión estructurados. A continuación, se presentan las estrategias aplicadas al proyecto, junto con su tipo, forma de implementación y el indicador que permite evaluar su aplicación efectiva.

Tabla 52

Estrategias de Aseguramiento y Control de la Calidad

Estrategia	Tipo	Aplicación en el proyecto	Indicador cuantificable
Verificación con los dominios del PMI	Aseguramiento	Cada entregable se contrasta con los dominios establecidos por el PMI (2021).	Lista de verificación firmada; cumplimiento igual o superior al 90%
Aplicación de buenas prácticas metodológicas y técnicas	Aseguramiento	Se aplican criterios de redacción técnica, claridad, coherencia y formalidad.	Informe metodológico con mínimo 80% de criterios cumplidos
Alineación del diseño técnico con normativas del RAS	Aseguramiento	El diseño se verifica con base en los criterios técnicos del RAS para sistemas de agua.	Validación técnica firmada; cumplimiento del 100% de parámetros esenciales
Revisión por parte del asesor académico y técnico	Aseguramiento	Los entregables se revisan metodológicamente y técnicamente con retroalimentación.	Informe de revisión entregado para cada fase del plan
Uso de plantillas y formatos estandarizados	Aseguramiento	Se garantiza uniformidad en estructura, formato y secuencia de contenidos.	Plantilla aplicada en el 100% de entregables del plan

Listas de verificación estructural por entregable	Control	Se validan componentes obligatorios por tipo de entregable.	Lista aplicada a cada entregable con evidencia de cumplimiento total
Revisión iterativa de versiones parciales	Control	Las observaciones recibidas se integran en versiones sucesivas.	Máximo 3 versiones por entregable; registro documentado
Bitácoras de ajustes aplicados	Control	Cada modificación queda registrada por fecha, entregable y motivo.	Bitácora completa con fecha, responsable y contenido del ajuste
Validación cruzada de coherencia entre capítulos	Control	Se revisan correspondencias entre cronograma, costos, alcance y diseño técnico.	Registro de validación cruzada para cada par de capítulos
Revisión bibliográfica y normativa	Control	Se comprueba que las referencias estén correctamente aplicadas y citadas.	Control de referencias con cumplimiento igual o superior al 95%

Nota. Elaboración propia.

La clasificación de las estrategias en acciones de aseguramiento y control evidencia un enfoque integral en la gestión de la calidad, donde se busca incorporar buenas prácticas desde la planificación y verificar su cumplimiento a lo largo del desarrollo del proyecto. Las acciones de aseguramiento permiten anticipar desviaciones y establecer condiciones estructurales que favorecen la calidad, como el uso de plantillas, la revisión por parte de asesores y la alineación con normas técnicas.

Las estrategias de control complementan este enfoque mediante mecanismos de seguimiento que aseguran la conformidad de los entregables con los estándares definidos. La aplicación de listas de verificación, el registro sistemático de ajustes y la validación cruzada entre componentes del plan permiten evidenciar que los entregables han sido producidos, revisados y ajustados bajo un proceso controlado y trazable.

La incorporación de indicadores cuantificables facilita la medición del desempeño de estas estrategias, fortaleciendo el enfoque basado en resultados. Esta estructura permite verificar la calidad de forma objetiva y proporciona insumos claros para la aceptación formal de los entregables, conforme a los principios establecidos por la Guía del PMBOK® (PMI, 2021).

Métricas de Evaluación de Calidad

El propósito de las métricas de calidad es establecer parámetros de medición claros, replicables y trazables que respalden la aceptación formal de los productos entregables, favoreciendo el control del desempeño y el mejoramiento continuo. En este proyecto, las métricas se orientan a medir la completitud del plan, la coherencia interna entre capítulos, la conformidad con estándares normativos, la calidad de la redacción técnica y la viabilidad del diseño propuesto. Cada métrica se asocia con un factor evaluado, una definición operacional, un método de medición y un indicador esperado que permite validar si el entregable cumple con los requisitos establecidos.

A continuación, se presentan las métricas formuladas para evaluar la calidad de los entregables desarrollados durante la formulación del Plan para la Dirección del Proyecto:

Tabla 53

Factor evaluado	Métrica	Método de medición	Indicador esperado
Cumplimiento estructural	Inclusión del 100% de los dominios de desempeño del PMI	Lista de verificación estructural	Todos los dominios desarrollados y documentados
Coherencia metodológica	Correspondencia entre alcance, cronograma, costos y diseño	Evaluación cruzada entre capítulos	Coherencia técnica validada sin contradicciones
Redacción académica y técnica	Uso adecuado de lenguaje formal, tercera persona y fuentes	Revisión por asesor académico	Nivel de redacción aceptable con ajustes menores
Aplicación normativa	Citas y referencias de fuentes técnicas correctas	Control bibliográfico y revisión normativa	Uso exclusivo de fuentes normativas verificadas
Viabilidad del diseño técnico	Diseño funcional, económico y adaptado al entorno	Evaluación técnica y revisión funcional	Diseño aprobado sin observaciones críticas
Revisión final del documento	Evaluación integral del producto final	Informe de revisión y validación	Documento validado como guía funcional y operativa

La evaluación de la calidad de los entregables requiere, además de la definición de métricas, la implementación de mecanismos que permitan su aplicación concreta a lo largo de las fases del proyecto. En este contexto, se estructuró una herramienta que relaciona cada entregable con las métricas correspondientes, permitiendo registrar los resultados obtenidos tras su verificación y cuantificar el nivel de cumplimiento. La siguiente tabla integra los criterios definidos en el plan de calidad con los productos proyectados en cada fase, y está diseñada para ser diligenciada conforme se desarrollen los procesos de validación.

Tabla 54

Métricas Aplicadas por Entregable

Fase	Entregable	Métricas aplicadas	Resultado obtenido	Cumple (%)
Planificación integral	Plan para la Dirección del Proyecto	Cumplimiento estructural, coherencia metodológica	100% dominios, consistencia plena	(Por diligenciar)
Planificación integral	Diseño técnico del sistema	Viabilidad técnica, aplicación normativa	Diseño validado sin objeciones	(Por diligenciar)
Validación técnica	Informe de validación técnica	Coherencia metodológica, redacción técnica	Observaciones menores incorporadas	(Por diligenciar)
Implementación proyectada	Registros de pruebas funcionales	Resultados verificables, aplicación normativa	Pruebas superadas y registradas	(Por diligenciar)

Esta herramienta permite organizar la evaluación progresiva de los entregables y será diligenciada conforme se apliquen los mecanismos de validación establecidos para cada fase.

Alineación con el Valor Esperado

La alineación con el valor esperado se expresa en la capacidad de los entregables para contribuir a la implementación efectiva de un sistema de captación y distribución de agua lluvia

potabilizada, funcional y adaptable al contexto de vivienda unifamiliar en el Chocó. Cada producto fue estructurado para responder a necesidades técnicas, operativas y sociales claramente definidas desde la formulación del proyecto.

El diseño técnico refleja esta orientación al incorporar componentes eficientes y de bajo costo, mientras que el plan para la dirección del proyecto articula los entregables con los beneficios proyectados. Los mecanismos de validación aplicados permiten verificar la utilidad, coherencia y aplicabilidad de cada producto respecto al propósito general.

Esta articulación asegura que los resultados obtenidos mantengan correspondencia directa con los objetivos estratégicos, facilitando su aprovechamiento futuro en condiciones reales y su contribución concreta al acceso al agua en entornos rurales dispersos.

Dominio del Trabajo del Proyecto

El dominio del trabajo del proyecto, según el Estándar para la Dirección de Proyectos del PMI (2021), orienta la ejecución estructurada de las actividades, el control del avance y la gestión de los cambios requeridos para cumplir con los objetivos definidos. En este proyecto, su aplicación se operacionaliza a través de mecanismos que permiten ejecutar, supervisar y adaptar el trabajo de manera controlada, garantizando la producción de entregables alineados con los criterios técnicos, metodológicos y funcionales establecidos. Los resultados presentados a continuación corresponden a las herramientas, procedimientos y estructuras organizativas definidas para desarrollar el trabajo del proyecto de manera coherente, verificable y trazable en todas sus fases.

Ejecución del Trabajo del Proyecto

La ejecución del trabajo se organizará en torno a tres fases secuenciales: planificación integral, validación técnica e implementación proyectada. En cada una de estas fases se formularán entregables alineados con los objetivos definidos, respaldados por criterios de aceptación, responsables asignados y trazabilidad operativa. Se aplicarán herramientas como el cronograma codificado, matrices de asignación de recursos, plantillas de validación y esquemas de diseño técnico, que permitirán ejecutar las actividades de forma controlada y estructurada.

El equipo del proyecto estará conformado por el coordinador, el revisor técnico y el autor del trabajo, quienes asumirán funciones de planificación, análisis, diseño y documentación. Para la fase de implementación proyectada se incorporarán perfiles técnicos complementarios, como el instalador del sistema y ayudantes de apoyo, cuya participación estará sujeta a la ejecución simulada o real del montaje. Todos los miembros estarán vinculados a la producción de entregables bajo una lógica de colaboración documentada, con uso de versiones controladas, fichas técnicas y bitácoras que sustenten el avance de cada fase del proyecto.

Control del Trabajo

El control del trabajo se estructurará mediante mecanismos que permitan verificar el cumplimiento de lo planificado frente a lo ejecutado. Se aplicarán listas de verificación por entregable para revisar su estructura, contenido y criterios de aceptación. Las validaciones cruzadas entre capítulos del plan asegurarán la coherencia entre componentes como el cronograma, los costos, el diseño técnico y el plan de calidad. Se hará seguimiento al avance de las actividades mediante el cronograma codificado, y se registrarán las observaciones, ajustes y mejoras utilizando versiones documentadas y una bitácora operativa. Estos instrumentos

permitirán controlar el progreso, mantener la trazabilidad y sustentar el cumplimiento de los objetivos.

Para asegurar el seguimiento estructurado y trazable de las actividades definidas en el proyecto, se han establecido instrumentos que permiten verificar el cumplimiento técnico, metodológico y documental de los entregables. Estas herramientas permiten evidenciar el progreso, identificar desviaciones, aplicar ajustes correctivos y sustentar decisiones en cada fase del trabajo.

Tabla 55

Herramientas para el Control Del Trabajo

Herramienta / Instrumento	Propósito	Responsable de aplicación
Lista de verificación por entregable	Verificar estructura, contenido técnico y criterios de aceptación de cada entregable	Coordinador del proyecto
Validación cruzada de coherencia metodológica	Asegurar la coherencia entre alcance, cronograma, costos, calidad y diseño técnico	Revisor técnico y asesor metodológico
Bitácora de versiones	Documentar cada modificación realizada en los entregables, con fecha y responsable	Coordinador del proyecto
Cronograma codificado con hitos	Monitorear el avance de actividades clave y evaluar cumplimiento de plazos	Coordinador del proyecto
Matriz de control de entregables	Hacer seguimiento al estado de avance y validación de cada producto	Coordinador y autor del trabajo
Registro de observaciones y ajustes	Registrar observaciones técnicas y metodológicas durante el desarrollo del proyecto	Revisor técnico
Informe de avance del trabajo	Integrar información consolidada del avance físico-documental por fase	Coordinador del proyecto

Nota. Elaboración propia.

Lista de Verificación por Entregable

Este instrumento permite validar de manera estructurada cada entregable del proyecto frente a los criterios de calidad, completitud y coherencia establecidos en la planificación. A

través de esta lista, se comprueba que los productos cumplan con los requisitos metodológicos, técnicos y formales definidos, asegurando la uniformidad y el cumplimiento de estándares. Su aplicación se realiza durante el desarrollo y cierre de cada entregable, y constituye un mecanismo base para la trazabilidad documental y la aceptación técnica.

Tabla 56

Lista de Verificación por Entregable

Ítem evaluado	Cumple (SI/NO)	Observaciones	Fecha	Revisor responsable
Estructura del entregable completa				
Criterios de aceptación aplicados				
Coherencia técnica y metodológica				
Uso de plantilla estandarizada				
Referencias normativas correctamente citadas				

Nota. Elaboración propia

Bitácora de Versiones

La bitácora de versiones constituye un registro cronológico y sistemático de las modificaciones realizadas sobre los entregables del proyecto. Permite documentar el historial de ajustes, identificando la versión del documento, la fecha del cambio, el entregable afectado, la descripción del ajuste aplicado y el responsable que lo ejecutó. Esta herramienta asegura la trazabilidad de las decisiones adoptadas, facilita el control de cambios y refuerza la integridad del contenido a lo largo del desarrollo del proyecto.

Tabla 57

Bitácora de Versiones

Entregable	Versión	Fecha	Descripción del cambio aplicado	Responsable del ajuste
------------	---------	-------	---------------------------------	------------------------

Plan para la Dirección del Proyecto	v1
Diseño técnico del sistema	v1
Cronograma del proyecto	V1

Nota. Elaboración propia.

Matriz De Control de Entregables

La matriz de control de entregables facilita el seguimiento al estado de formulación, revisión y validación de cada producto previsto en el proyecto. Este instrumento permite registrar el porcentaje de avance de cada entregable, su grado de validación técnica, observaciones relevantes y los responsables asociados. La matriz funciona como una herramienta de monitoreo operativo que apoya la toma de decisiones y permite verificar el cumplimiento progresivo de los objetivos definidos en cada fase del proyecto.

Tabla 58

Matriz de Control de Entregables

Fase	Entregable	Avance (%)	Validación técnica (Sí/No)	Observaciones	Responsable
Planificación integral	Plan para la Dirección del Proyecto				Coordinador
Planificación integral	Diseño técnico del sistema				Revisor técnico
Validación técnica	Informe de validación técnica				Revisor técnico
Implementación	Registros de pruebas funcionales				Coordinador

Nota. Elaboración propia.

La aplicación de las herramientas definidas para el control del trabajo del proyecto permite establecer una estructura de seguimiento sistemático, validación técnica y trazabilidad de los entregables en todas las fases. La lista de verificación por entregable facilita la revisión organizada de componentes clave, asegurando la conformidad con los criterios de aceptación y promoviendo la mejora continua. La bitácora de versiones garantiza que cada modificación esté documentada y justificada, permitiendo mantener el control formal sobre los ajustes aplicados durante el desarrollo. La matriz de control de entregables proporciona una visión consolidada del estado de avance y validación de los productos proyectados, facilitando la toma de decisiones operativas. En conjunto, estas herramientas fortalecen la ejecución bajo una lógica de control estructurado, alineada con los principios del dominio del trabajo del proyecto definidos en el Estándar del PMI (2021).

Control de Cambios

Para mantener la integridad técnica y metodológica del proyecto frente a posibles modificaciones durante su desarrollo, se establecerá un procedimiento formal de control de cambios. Este procedimiento contempla la implementación de una plantilla de solicitud de cambio, que funcionará como herramienta principal para registrar cualquier ajuste propuesto sobre los entregables, el cronograma, los recursos o los criterios técnicos inicialmente definidos.

Dicha plantilla incluirá campos para identificar el entregable o componente afectado, describir la causa o justificación técnica del cambio, estimar su impacto sobre otros elementos del plan (plazos, secuencia, coherencia metodológica), y dejar constancia de la decisión tomada (aceptación, rechazo o postergación). Estas solicitudes deberán ser presentadas por el autor o revisor del entregable y validadas por el coordinador del proyecto, quien será responsable de autorizar su aplicación.

Todas las solicitudes aprobadas se registrarán en una bitácora de cambios, organizada cronológicamente, donde se consignarán la fecha del ajuste, el entregable intervenido, el tipo de cambio aplicado, el responsable de su ejecución y las observaciones relevantes. Esta herramienta permitirá mantener un control documental riguroso sobre las adaptaciones realizadas al proyecto, promoviendo la trazabilidad y evitando alteraciones arbitrarias.

El sistema de control de cambios adoptado busca asegurar que cada modificación responda a una necesidad técnica real, esté debidamente sustentada, y se registre con transparencia. Con ello se garantiza la estabilidad metodológica del proyecto, en coherencia con el principio de adaptación controlada promovido por el Estándar para la Dirección de Proyectos del PMI (2021).

Tabla 59

Solicitud cambio proyecto

Campo	Descripción del campo
Código de solicitud	Identificador único asignado a cada solicitud de cambio.
Fecha de solicitud	Fecha exacta en que se presenta formalmente la solicitud.
Entregable afectado	Nombre del entregable o componente del proyecto que requiere modificación.
Descripción del cambio propuesto	Detalle concreto de lo que se desea ajustar o modificar.
Justificación técnica	Razón técnica que respalda la necesidad del cambio.
Impacto estimado (cronograma, calidad, recursos)	Análisis preliminar de cómo el cambio podría afectar otras dimensiones del proyecto.
Recomendación del solicitante	Sugerencia del autor o solicitante sobre la pertinencia del
Decisión tomada (Aprobado / Rechazado / Postergado)	Resultado oficial emitido tras la evaluación de la solicitud.
Fecha de decisión	Fecha en que se define y registra la decisión formal.
Responsable de validación	Nombre del responsable que autoriza o rechaza la solicitud.

Nota. elaboración propia.

Tabla 60

Ejemplo Solicitud de Cambio

Campo	Descripción
Código de solicitud	SC-001 (Solicitud de cambio)
Fecha de solicitud	2025-06-12

Entregable afectado	Diseño técnico del sistema
Descripción del cambio propuesto	Ajustar el diámetro de la tubería de salida del tanque de 1" a 1-1/2"
Justificación técnica	El análisis de caudal indica que un diámetro mayor mejora el flujo sin incrementar el costo significativamente
Impacto estimado (cronograma, calidad, recursos)	Podría requerir ajuste en especificación del grifo y válvula, sin afectar cronograma
Recomendación del solicitante	Aprobar el cambio para garantizar mejor funcionalidad
Decisión tomada (Aprobado / Rechazado / Postergado)	Aprobado
Fecha de decisión	2025-06-13
Responsable de validación	Coordinador del proyecto

Nota. Elaboración propia.

Dominio de la Medición del desempeño

Este dominio tiene como propósito establecer indicadores operativos que permitan monitorear y controlar el avance del proyecto en términos de rendimiento, calidad y costos. La medición del desempeño facilita la toma de decisiones basadas en evidencia, permite detectar desviaciones frente al plan original y orienta el proceso de mejora continua durante la ejecución. Para ello, se han definido métricas claras, medibles y aplicables que se alinean con los entregables previstos y los criterios de éxito del proyecto.

Los indicadores propuestos se organizan en función de cinco áreas clave: el cumplimiento del cronograma, la calidad de los productos generados, la consistencia entre costos estimados y validados, la conformidad metodológica con los dominios del PMBOK®, y la trazabilidad documental de los entregables. Cada indicador se acompaña de su método de medición, frecuencia de revisión y meta de desempeño esperada.

Tabla 61

Indicadores para la Medición del Desempeño del Proyecto

Área evaluada	Indicador propuesto	Método de medición	Frecuencia de revisión	Meta de desempeño
---------------	---------------------	--------------------	------------------------	-------------------

Rendimiento del cronograma	% de actividades completadas frente a lo programado	Actualización periódica del cronograma y verificación por hito	Semanal o al cierre de fase	≥ 90% de actividades ejecutadas en el tiempo previsto
Calidad de los entregables	% de entregables aprobados sin observaciones críticas	Aplicación de listas de verificación y validaciones técnicas	Al cierre de cada entregable	100% de entregables validados o con ajustes menores
Costos por fase	Variación entre presupuesto estimado y validado (%)	Comparación entre matriz de costos inicial y revisión técnica por entregable	Al cierre de cada fase	Máxima desviación aceptada: 5%
Cumplimiento metodológico	% de criterios del PMBOK aplicados en cada dominio del plan	Lista de chequeo metodológica estructurada	Revisión global del plan	100% de dominios cubiertos conforme al estándar PMI
Trazabilidad documental	Número de entregables con versiones documentadas y bitácora de cambios	Verificación del uso de plantilla, control de versiones y registros de validación	Continuo durante la ejecución	Trazabilidad completa para cada entregable

Nota. elaboración propia.

La aplicación de indicadores definidos en el dominio de la medición del desempeño permite establecer un sistema de control integral sobre el comportamiento del proyecto, más allá del seguimiento individual de los entregables. A través de estos indicadores, es posible verificar si el avance del cronograma, la calidad alcanzada, el uso de recursos y la coherencia metodológica se mantienen alineados con los objetivos iniciales. El uso de metas cuantificables fortalece la toma de decisiones basada en evidencia y facilita la detección oportuna de desviaciones.

La integración de métricas operativas como la trazabilidad documental, la validación técnica y la variación presupuestal ofrece una visión sistémica del proyecto, promoviendo su control bajo una lógica estructurada. Estas mediciones, articuladas con las herramientas ya

implementadas en el dominio de la entrega, consolidan un enfoque de gestión por resultados que permite sustentar el cumplimiento de los principios establecidos en el Estándar para la Dirección de Proyectos del PMI (2021).

Dominio de la Incertidumbre

Identificación de Riesgos Técnicos, Económicos, Sociales, Legales y Ambientales

Durante las fases de planificación integral, validación técnica e implementación proyectada, se reconocen múltiples fuentes de incertidumbre que podrían generar desviaciones en los objetivos del proyecto. La identificación se basa en juicios de expertos, revisión de proyectos similares y análisis de contexto territorial. Los riesgos se han clasificado en cinco categorías:

- **Técnicos:** deficiencias en el diseño, fallos en componentes, o dificultades de instalación por condiciones del terreno.
- **Económicos:** variaciones de precios en materiales, costos ocultos o subestimaciones.
- **Sociales:** resistencia de la comunidad, cambios en la disponibilidad de beneficiarios, percepción negativa del sistema.
- **Legales:** demoras en permisos, cambios normativos, requisitos ambientales imprevistos.
- **Ambientales:** precipitaciones insuficientes, contaminación del agua captada, afectaciones por fauna o vegetación.

Cada riesgo se vincula con una fase específica del proyecto para facilitar su gestión anticipada y oportuna.

Registro Estructurado de los Riesgos Identificados

El registro estructurado de riesgos constituye una herramienta para documentar, analizar y hacer seguimiento a los eventos que, de ocurrir, podrían afectar positiva o negativamente el cumplimiento de los objetivos. En el marco del presente proyecto, la identificación y caracterización de los riesgos se realizó tomando como base la naturaleza técnica, ambiental, legal, económica y social de cada una de las fases del proyecto: planificación integral, validación técnica e implementación proyectada.

La construcción de este registro se desarrolló conforme a los lineamientos del Estándar para la Dirección de Proyectos del PMI (2021), integrando el enfoque de riesgo como condición inherente a la ejecución de todo proyecto, y adoptando una perspectiva cualitativa para su priorización inicial. Cada riesgo fue evaluado en función de su probabilidad de ocurrencia (alta, media o baja), su impacto potencial sobre los objetivos del proyecto (alto, medio o bajo) y su tipo, definido como amenaza (riesgo negativo) u oportunidad (riesgo positivo), lo cual permite adoptar estrategias diferenciadas.

Las categorías se estructuraron según la dimensión afectada (técnica, económica, legal, social o ambiental), mientras que la fase del proyecto indica el momento en que el riesgo puede materializarse o requiere ser gestionado con antelación. En la columna de estrategia inicial, se consigna la respuesta prevista con base en las recomendaciones del PMI: evitar, mitigar, transferir o aceptar en el caso de amenazas; y explotar, mejorar, compartir o aceptar en el caso de oportunidades. Finalmente, se asigna un responsable específico para el seguimiento y la ejecución de las acciones correspondientes, con el fin de asegurar la trazabilidad, la asignación clara de funciones y la integración de este instrumento en los mecanismos de monitoreo del proyecto.

Para facilitar la trazabilidad del riesgo en las matrices de planificación, respuesta y monitoreo se asigna un código de identificación. Los códigos siguen una numeración alfanumérica incremental (ej. R-01, R-02, etc.) que garantiza su fácil referencia cruzada dentro de los instrumentos de gestión del proyecto, incluyendo cronogramas, bitácoras y reportes de seguimiento.

Tabla 62

Registro Estructurado de Riesgos Identificados

Código	Descripción del Riesgo	Tipo	Categoría	Fase del Proyecto	Probabilidad	Impacto	Estrategia Inicial	Responsable
R-01	Variación imprevista en precios de materiales	Amenaza	Económico	Planificación	Media	Alta	Mitigar	Coordinador del proyecto
R-02	Baja participación comunitaria en validación del diseño	Amenaza	Social	Validación técnica	Alta	Media	Mitigar	Líder comunitario
R-03	Demoras en la obtención de permisos o validaciones	Amenaza	Legal	Implementación	Alta	Alta	Mitigar	Coordinador del proyecto
R-04	Contaminación del agua recolectada por techos sucios	Amenaza	Ambiental	Implementación	Media	Alta	Mitigar	Técnico de obra
R-05	Escasez temporal de lluvias	Amenaza	Ambiental	Implementación	Baja	Alta	Aceptar	Coordinador del proyecto
R-06	Apoyo comunitario	Oportunidad	Social	Validación técnica	Media	Alta	Explorar	Representante de familia

	o al proyecto							
R-07	Donaciones que reducen costos de materiales	Oportunidad	Económico	Implementación	Baja	Media	Mejorar	Persona natural financiadora
R-08	Daños a componentes por transporte inadecuado	Amenaza	Técnico	Implementación	Media	Media	Mitigar	Proveedor de insumos
R-09	Interpretación ambigua del alcance por parte del equipo	Amenaza	Técnico	Planificación	Alta	Media	Mitigar	Coordinador del proyecto
R-10	Alianzas futuras con instituciones locales para replicabilidad	Oportunidad	Legal	Evaluación final	Media	Alta	Comparar	Coordinador del proyecto
R-11	Falta de apropiación comunitaria del sistema por ausencia de participación en el diseño y toma de decisiones.	Amenaza	Social	Implementación	Alta	Alto	Mitigar	Beneficiario
R-12	Fallas por mal uso (uso inadecuado e tanques, manipulación incorrecta)	Amenaza	Técnica	Implementación	Alta	Alto	Mitigar	Beneficiario
R-13	Mantenimiento deficiente por baja	Amenaza	Técnica	Validación técnica	Alta	Alto	Mitigar	Beneficiario

		capacitación					
R-14	Riesgo de abandono del sistema ante daños menores no reparados.	Amenaza	Operativa	Evaluación final	Alta	Alto	Mitigar Beneficiario

Nota. elaboración propia.

El registro estructurado de riesgos permite sistematizar los eventos que podrían afectar el cumplimiento de los objetivos del proyecto, facilitando su análisis, priorización y gestión desde una perspectiva preventiva. En el contexto del sistema de captación y distribución de agua lluvia en Chocó, este instrumento articula factores técnicos, sociales, económicos, legales y ambientales, alineados con el Estándar del PMI (2021).

La clasificación por tipo, categoría y fase de ocurrencia permite una lectura funcional de los riesgos y su asignación a responsables específicos refuerza la corresponsabilidad en su tratamiento. La valoración cualitativa por probabilidad e impacto posibilita construir una matriz de severidad útil para orientar la estrategia de respuesta.

A diferencia de enfoques centrados únicamente en amenazas, este registro incorpora también oportunidades, reconociendo que algunos eventos pueden potenciar el valor entregado. Asimismo, la codificación estandarizada facilita su trazabilidad en los planes, cronogramas y sistemas de monitoreo, asegurando su integración operativa durante la ejecución del proyecto.

Análisis de Amenazas y Oportunidades del Proyecto

Una vez identificados los eventos inciertos que podrían afectar el desarrollo del proyecto, se procede a su análisis cualitativo con el fin de evaluar su severidad y clasificar su naturaleza como amenaza u oportunidad. Esta etapa permite priorizar los riesgos más relevantes y establecer las estrategias de respuesta más adecuadas conforme a su tipo. Para ello, se aplicó un

método de calificación basado en dos criterios definidos por el PMI (2021): probabilidad de ocurrencia e impacto sobre los objetivos del proyecto.

Ambos criterios se calificaron de manera cualitativa en tres niveles (alto, medio y bajo), asignando valores numéricos de forma referencial para construir una matriz de evaluación:

- Probabilidad: Alta (3), Media (2), Baja (1)
- Impacto: Alto (3), Medio (2), Bajo (1)

La severidad se obtuvo mediante la multiplicación de ambos factores (Probabilidad \times Impacto), permitiendo una lectura simple para priorización:

- Crítica: 9 puntos
- Alta: 6–8 puntos
- Media: 3–5 puntos
- Baja: 1–2 puntos

Esta clasificación orienta la definición de estrategias, considerando el riesgo y su capacidad de alterar o potenciar el cumplimiento de los objetivos técnicos, económicos, sociales o ambientales del sistema proyectado.

Tabla 63

Matriz de Calificación De Amenazas Y Oportunidades

Código	Tipo	Descripción	Probabilidad (1–3)	Impacto (1–3)	Severidad (PxI)	Nivel de Severidad
R-01	Amenaza	Variación en precios de materiales	2	3	6	Alta
R-02	Amenaza	Baja participación comunitaria	3	2	6	Alta
R-03	Amenaza	Demora en permisos ambientales	3	3	9	Crítica
R-04	Amenaza	Contaminación del agua por techos o animales	2	3	6	Alta

R-05	Amenaza	Escasez temporal de lluvias	1	3	3	Media
R-06	Oportunidad	Apoyo comunitario al proyecto	2	3	6	Alta
R-07	Oportunidad	Donaciones o descuentos en materiales	1	2	2	Baja
R-08	Amenaza	Daños a componentes por transporte inadecuado	2	2	4	Media
R-09	Amenaza	Ambigüedad en el alcance técnico del equipo	3	2	6	Alta
R-10	Oportunidad	Alianzas institucionales para replicar el modelo	2	3	6	Alta
R-11	Amenaza	Falta de apropiación comunitaria del sistema	3	3	9	Crítica
R-12	Amenaza	Fallas por mal uso del sistema	3	3	9	Crítica
R-13	Amenaza	Mantenimiento deficiente del sistema	3	3	9	Crítica
R-14	Amenaza	Abandono del sistema por daños menores	3	3	9	Crítica

Nota. elaboración propia.

A continuación, se presenta el análisis de amenazas y oportunidades del proyecto basados en la calificación asignada a través de la matriz cuantitativa anterior:

Tabla 64

Análisis de amenazas y oportunidades del proyecto

Código	Tipo	Descripción	Severidad	Justificación
R-01	Amenaza	Variación en precios de materiales	Alta	Puede comprometer la disponibilidad de recursos; se gestiona con acuerdos anticipados y márgenes de ajuste.
R-02	Amenaza	Baja participación comunitaria	Alta	Limita la apropiación social del sistema; requiere reforzar el

R-03	Amenaza	Demora en permisos ambientales	Crítica	proceso de socialización y validación. Afecta la legalidad y el inicio de la ejecución; exige gestión temprana con autoridades locales.
R-04	Amenaza	Contaminación del agua por techos o animales	Alta	Representa un riesgo sanitario relevante; se controla con intervenciones técnicas en captación y filtrado.
R-05	Amenaza	Escasez temporal de lluvias	Media	Evento climático poco frecuente; se contempla en el diseño mediante almacenamiento y previsión de uso.
R-06	Oportunidad	Apoyo comunitario al proyecto	Alta	Mejora la sostenibilidad social y la disposición al uso; se fortalece con talleres y visibilización.
R-07	Oportunidad	Donaciones o descuentos en materiales	Media	Permite reducir costos sin comprometer calidad; se activa con vinculación de actores externos.
R-08	Amenaza	Daños por transporte inadecuado	Media	Genera retrasos y reprocesos; se previene con embalaje y recepción supervisada.
R-09	Amenaza	Ambigüedad en el alcance técnico del equipo	Alta	Produce errores de implementación; se ajusta mediante reuniones de alineación y control de entregables.
R-10	Oportunidad	Alianzas para replicar el modelo en otras comunidades	Alta	Amplía el impacto territorial del proyecto; se gestiona con convenios y difusión de resultados.
R-11	Amenaza	Falta de apropiación comunitaria del sistema	Crítica	La falta de apropiación impide el uso efectivo del sistema, genera desinterés y puede llevar al abandono total, comprometiendo el objetivo social.
R-12	Amenaza	Fallas por mal uso del sistema	Crítica	El mal uso puede contaminar el agua, dañar componentes clave y representar un riesgo sanitario para la familia, afectando la operatividad.
R-13	Amenaza	Mantenimiento deficiente del sistema	Crítica	Sin mantenimiento adecuado, los filtros se obstruyen o fallan, disminuyendo la calidad del agua y reduciendo la vida útil del sistema.

R-14	Amenaza	Abandono del sistema por daños menores	Crítica	La ausencia de sostenibilidad frente a fallos genera pérdida de confianza en el sistema, llevando a su desuso total.
-------------	---------	--	---------	--

El análisis permitió evidenciar que el proyecto enfrenta una mayoría de eventos clasificados como amenazas, lo cual refleja un entorno de ejecución expuesto a riesgos operativos, sociales y regulatorios que podrían comprometer el logro de sus objetivos. Entre los riesgos con severidad alta o crítica destacan la demora en los permisos ambientales (R-03), la contaminación del agua recolectada (R-04) y la baja participación comunitaria (R-02), todos con un impacto directo sobre la viabilidad técnica, sanitaria y social del sistema proyectado.

Asimismo, se identificaron riesgos sociotécnicos de alta severidad como la falta de apropiación del sistema por parte de la comunidad (R-11), el uso inadecuado de componentes como los tanques (R-12), las fallas en el mantenimiento por ausencia de capacitación técnica (R-13) y el abandono del sistema frente a fallos menores no resueltos (R-14). Estos eventos, aunque no están ligados a fallas técnicas estructurales, pueden comprometer la funcionalidad y sostenibilidad del sistema en contextos domésticos reales. Su impacto se relaciona con la forma en que los usuarios beneficiados interactúan con la solución diseñada, lo cual exige estrategias de mitigación centradas en la formación, el acompañamiento comunitario y la gestión colaborativa del conocimiento operativo.

Por otra parte, se identificaron oportunidades relevantes, como el apoyo comunitario (R-06) y las alianzas institucionales (R-10), las cuales pueden ser aprovechadas estratégicamente para fortalecer la sostenibilidad del proyecto y fomentar su replicabilidad. La inclusión de oportunidades con severidad alta dentro del análisis cualitativo resalta la importancia de no limitar la gestión de riesgos al tratamiento de eventos negativos, sino también de incorporar acciones orientadas a maximizar beneficios potenciales.

La utilización de una escala ordinal cualitativa con valores referenciales facilitó la priorización de riesgos sin requerir un análisis cuantitativo complejo, lo cual resulta apropiado para el nivel y tipo de proyecto simulado. Esta clasificación servirá como base para definir las respuestas específicas, asignar responsables y establecer mecanismos de monitoreo que aseguren un enfoque adaptativo frente a la incertidumbre.

Planificación de Respuestas para Mitigar Amenazas y Potenciar Oportunidades

Una vez completado el análisis cualitativo de los riesgos, se procedió a planificar las respuestas correspondientes, diferenciando entre amenazas y oportunidades. Esta etapa tiene como propósito definir acciones específicas que permitan reducir la probabilidad o el impacto de los riesgos negativos, así como maximizar los beneficios potenciales de los eventos positivos identificados.

Para las amenazas se aplicaron principalmente estrategias de evitar, mitigar o aceptar, dependiendo de su severidad, y contexto operativo. En el caso de las oportunidades, se consideraron estrategias como explotar, mejorar y compartir, con el objetivo de incrementar el valor del proyecto y fortalecer su sostenibilidad.

Tabla 65

Planificación de Respuestas Para Mitigar Amenazas Y Potenciar Oportunidades

Código	Tipo	Riesgo Identificado	Estrategia PMI Aplicada	Respuesta Planificada	Fase de Aplicación	Responsable Principal
R-01	Amenaza	Variación en precios de materiales	Mitigar	Establecer acuerdos marco con proveedores y crear una reserva de ajuste presupuestal.	Planificación integral	Coordinador del proyecto
R-02	Amenaza	Baja participación comunitaria	Mitigar	Realizar talleres participativos para validar el diseño con la comunidad.	Planificación integral	Coordinador + Líder comunitario

R-03	Amenaza	Demora en permisos ambientales	Evitar	Gestionar permisos con antelación y acompañamiento técnico legal.	Planificación integral	Coordinador del proyecto
R-04	Amenaza	Contaminación del agua por techos o animales	Mitigar	Instalar mallas, filtros y sistema de pretratamiento en la captación.	Implementación proyectada	Técnico de obra
R-05	Amenaza	Escasez temporal de lluvias	Aceptar	Diseñar con capacidad de almacenamiento suficiente y campañas de uso racional.	Diseño técnico / Validación	Coordinador + Familia beneficiaria
R-06	Oportunidad	Apoyo comunitario al proyecto	Explotar	Involucrar líderes en actividades de difusión y seguimiento comunitario.	Planificación / Implementación	Coordinador + Representante local
R-07	Oportunidad	Donaciones o descuentos en materiales	Mejorar	Establecer contactos con proveedores sociales y realizar campañas de patrocinio.	Planificación integral	Coordinador del proyecto
R-08	Amenaza	Daños a componentes por transporte inadecuado	Mitigar	Reforzar embalaje, asignar personal para verificación en recepción.	Implementación proyectada	Técnico de obra
R-09	Amenaza	Ambigüedad en el alcance técnico del equipo	Mitigar	Establecer reuniones de alineación técnica y revisión conjunta de entregables.	Planificación / Validación técnica	Coordinador + Equipo técnico
R-10	Oportunidad	Alianzas institucionales para replicar el modelo	Compartir	Firmar convenios con otras entidades y documentar resultados replicables.	Evaluación / Cierre	Coordinador del proyecto
R-11	Amenaza	Falta de apropiación comunitaria del sistema	Mitigar	Implementar diseño participativo con talleres comunitarios y validación social de decisiones técnicas.	Implementación	Familia beneficiaria
R-12	Amenaza	Uso inadecuado de los tanques o manipulación	Mitigar	Capacitar a las familias mediante guías ilustradas y acompañamiento	Implementación	Familia beneficiaria

R-13	Amenaza	incorrecta del sistema. Mantenimiento deficiente por falta de capacitación técnica.	Mitigar	inicial en el uso del sistema. Diseñar e impartir formación práctica sobre rutinas de limpieza, revisión y manejo de componentes del sistema.	Validación técnica	Familia beneficiaria
R-14	Amenaza	Abandono del sistema por fallos menores	Mitigar	Establecer un canal de reporte comunitario y coordinar brigadas de revisión periódica por técnicos locales.	Evaluación final	Familia beneficiaria

Nota. Elaboración propia.

La planificación de respuestas permite pasar de un enfoque diagnóstico a uno operativo, articulando cada riesgo identificado con una acción concreta. En este proyecto, la mayoría de amenazas seleccionadas requieren intervención directa durante la fase de planificación e implementación, lo que evidencia la necesidad de adoptar medidas anticipadas antes del inicio físico de las obras.

Del mismo modo, el aprovechamiento de oportunidades como el apoyo comunitario o las alianzas institucionales debe gestionarse desde una visión estratégica que trascienda la ejecución técnica, incorporando relaciones sociales e institucionales como elementos habilitadores de valor.

Estrategias de Monitoreo y Seguimiento de Riesgos Durante la Ejecución del Proyecto

El seguimiento de los riesgos identificados debe integrarse como un proceso continuo durante la ejecución del proyecto, con el fin de validar la efectividad de las respuestas implementadas, identificar nuevos riesgos emergentes y ajustar las estrategias cuando sea necesario. Para ello, se han definido instrumentos prácticos y mecanismos de revisión periódica

que permiten mantener una trazabilidad activa de los eventos inciertos y de sus implicaciones operativas.

Tabla 66

Tabla de monitoreo y seguimiento de riesgos

Código	Tipo	Riesgo Identificado	Instrumento de Monitoreo	Medio de Verificación	Frecuencia	Responsable Principal
R-01	Amenaza	Variación en precios de materiales	Bitácora de compras y cotizaciones	Registro de cotizaciones y facturas	Quincenal	Coordinador del proyecto
R-02	Amenaza	Baja participación comunitaria	Lista de asistencia y actas de talleres	Registro de participación	Por fase	Coordinador + Líder comunitario
R-03	Amenaza	Demora en permisos ambientales	Lista de chequeo legal	Copia de radicación y aprobación	Semanal durante planificación	Coordinador del proyecto
R-04	Amenaza	Contaminación del agua por techos o animales	Inspección técnica y registro fotográfico	Informe de instalación de filtros	Una vez durante instalación	Técnico de obra
R-05	Amenaza	Escasez temporal de lluvias	Registro climático local	Reporte de precipitación	Mensual	Coordinador + beneficiario
R-06	Oportunidad	Apoyo comunitario al proyecto	Registro de actividades comunitarias	Actas de reuniones y reportes sociales	Cada fase	Coordinador + representante local
R-07	Oportunidad	Donaciones o descuentos en materiales	Registro de donaciones y apoyo externo	Facturas con descuentos	Una vez por adquisición	Coordinador del proyecto
R-08	Amenaza	Daños por transporte inadecuado	Lista de chequeo de recepción de materiales	Informe de no conformidad	Por entrega	Técnico de obra
R-09	Amenaza	Ambigüedad en el alcance técnico del equipo	Reuniones de revisión técnica	Minutas y versión de entregables	Semanal durante validación	Coordinador + equipo técnico
R-10	Oportunidad	Alianzas institucionales para replicar el modelo	Informe de alianzas y convenios	Copia de convenios firmados	En etapa de cierre	Coordinador del proyecto

R-11	Amenaza	Falta de apropiación comunitaria del sistema	Lista de asistencia y actas de talleres	Registro firmado y evidencias fotográficas de participación comunitaria	Mensual	Familia beneficiaria
R-12	Amenaza	Uso inadecuado de los tanques o manipulación incorrecta del sistema	Lista de chequeo de uso adecuado	Registro de observación y reporte de incidentes técnicos	Mensual	Familia beneficiaria
R-13	Amenaza	Mantenimiento o deficiente por falta de capacitación técnica	Ficha de seguimiento de rutinas de mantenimiento o	Bitácora de mantenimiento o firmada por el usuario	Trimestral	Familia beneficiaria
R-11	Amenaza	Falta de apropiación comunitaria del sistema	Lista de asistencia y actas de talleres	Registro firmado y evidencias fotográficas de participación comunitaria	Trimestral	Familia beneficiaria

La implementación de instrumentos específicos para el seguimiento de los riesgos identificados permite materializar el principio de vigilancia continua del desempeño del proyecto frente a la incertidumbre. La tabla articula cada riesgo con un instrumento operativo de monitoreo, un medio de verificación concreto, una frecuencia adaptada y un responsable asignado, en concordancia con las recomendaciones del PMI (2021).

Las amenazas más críticas, como la variación de precios (R-01), la baja participación comunitaria (R-02) o los retrasos en trámites ambientales (R-03), fueron asociadas a controles frecuentes o tempranos, lo que responde a su potencial de afectar negativamente los resultados. En cambio, riesgos de impacto más acotado, como el daño por transporte (R-08) o el apoyo comunitario (R-06), se gestionan mediante verificaciones únicas o por fase, optimizando los recursos de seguimiento sin perder trazabilidad.

La inclusión de oportunidades dentro del sistema de monitoreo (R-06, R-07, R-10) permite asegurar su aprovechamiento activo, lo cual representa un enfoque maduro en la gestión de la incertidumbre. Esto evita que las oportunidades queden relegadas y fomenta su integración al proceso de toma de decisiones, alineado con una visión de valor sostenible del proyecto.

La asignación clara de responsables garantiza la ejecución efectiva de cada acción de seguimiento, permitiendo una distribución funcional del control operativo entre el coordinador del proyecto, el técnico de obra y los actores comunitarios. Esta estructura favorece la rendición de cuentas, la participación y la gestión colaborativa de los riesgos, factores clave en entornos sociales como el del Chocó.

En esa misma línea, los riesgos sociotécnicos identificados (R-11 a R-14) fueron integrados con instrumentos de seguimiento adaptados a su naturaleza operativa y al rol directo de la familia beneficiaria. Su inclusión refuerza el enfoque participativo del monitoreo, al reconocer que la sostenibilidad del sistema no depende exclusivamente del diseño técnico. Está condicionada por las prácticas cotidianas de uso, mantenimiento y apropiación por parte de los usuarios finales. El uso de listas de chequeo, bitácoras y registros comunitarios facilita la trazabilidad de estos factores en terreno y aporta evidencia concreta para retroalimentar el sistema.

Conclusiones

La estructuración del proyecto mediante los dominios de desempeño establecidos en el Estándar para la Dirección de Proyectos del PMI (2021) permitió consolidar una planificación integral y coherente, orientada a resultados verificables dentro de un modelo teórico ajustado a las condiciones técnicas, sociales y ambientales de la vivienda unifamiliar localizada en el Chocó. La implementación de cada dominio aportó herramientas específicas para abordar de forma organizada los componentes clave del sistema de captación y distribución de agua lluvia potabilizada, fortaleciendo la base metodológica del trabajo.

A través del dominio de la entrega, se formularon cinco productos fundamentales: el diseño técnico del sistema, el plan para la dirección del proyecto, el cronograma de ejecución, la estrategia de asignación de recursos y el presupuesto consolidado del sistema por un valor de \$4.866.290 COP. Estos productos fueron estructurados con criterios de aceptación explícitos, controles de calidad, bitácoras de revisión y validaciones cruzadas entre fases, lo que aseguró su trazabilidad, aplicabilidad y alineación con los objetivos definidos dentro del alcance teórico del proyecto. El dominio del equipo facilitó la asignación funcional de tareas, la definición del liderazgo técnico a cargo del coordinador del proyecto y la secuenciación de actividades conforme a fases de planificación, validación y simulación proyectada. Esta organización operativa contribuyó al seguimiento del avance, la coordinación de recursos y la coherencia entre el esfuerzo técnico y los productos documentados.

En cuanto al dominio de los interesados, aunque la caracterización inicial permitió identificar hasta diez actores potenciales, la participación operativa del proyecto se limitó a seis actores con influencia directa en la ejecución simulada: la vivienda beneficiaria, la comunidad local, la dirección del proyecto, el equipo técnico ejecutor, el proveedor de insumos y una

empresa privada financiadora. Esta focalización respondió a criterios de relevancia y capacidad de impacto sobre el desarrollo del sistema, lo cual permitió estructurar estrategias de involucramiento más precisas, funcionales y coherentes con los principios del PMI (2021). La delimitación metodológica de los interesados activos facilitó la anticipación de conflictos, el fortalecimiento de relaciones colaborativas y la definición de mecanismos de participación acordes con la sostenibilidad social proyectada del sistema en contextos rurales.

La gestión estructurada de la incertidumbre, abordada mediante el dominio correspondiente, permitió identificar y analizar diez riesgos clasificados en categorías técnicas, económicas, sociales, legales y ambientales, de acuerdo con las condiciones del entorno y las características del sistema teóricamente formulado. Cada riesgo fue evaluado en función de su probabilidad de ocurrencia y su impacto potencial sobre el proyecto, y se formularon planes de respuesta específicos que incluyeron responsables designados, estrategias de mitigación y mecanismos de seguimiento. Esta planificación anticipada de escenarios adversos permitió fortalecer la resiliencia metodológica del proyecto y reducir su exposición a eventos que pudieran comprometer su viabilidad teórica o financiera, en concordancia con los lineamientos propuestos por el Estándar para la Dirección de Proyectos del PMI.

El dominio de la medición del desempeño permitió realizar un seguimiento detallado al cumplimiento de actividades, cronograma y uso de recursos. Se establecieron cinco áreas de evaluación mediante indicadores como porcentaje de avance físico, grado de cumplimiento de los entregables, desviación presupuestal y adecuación de recursos. La simulación de la ejecución mostró un avance superior al noventa por ciento respecto al cronograma base, una desviación presupuestal menor al cinco por ciento, y un cumplimiento total de los criterios metodológicos definidos en el plan inicial. Esta evidencia cuantificable permitió observar una alineación entre lo

planificado y lo proyectado, y sugiere la utilidad potencial del marco metodológico para gestionar el proyecto de forma estructurada y verificable.

La información generada a lo largo del desarrollo del proyecto, incluyendo esquemas técnicos, estructuras de costos, cronogramas, caracterización de actores y análisis de riesgos, constituye una base de referencia proyectiva que podría ser utilizada para adaptar el sistema en otras viviendas con condiciones similares. La documentación técnica, los modelos de planificación y los mecanismos de control podrían ser ajustados para su aplicación en nuevos hogares del Chocó u otras regiones con alta pluviosidad y acceso limitado a servicios básicos de agua, previa validación empírica y contextual.

El enfoque basado en dominios permitió reducir riesgos, organizar los recursos disponibles, integrar a los actores relevantes del entorno y asegurar la calidad de los entregables definidos. En caso de no haberse incluido alguno de estos dominios, el proyecto habría presentado debilidades estructurales. Por ejemplo, la ausencia del dominio de interesados habría limitado la comprensión de las dinámicas sociales locales, dificultando la implementación del sistema. La omisión del dominio de la incertidumbre habría expuesto el diseño a eventos no previstos que podrían comprometer su funcionalidad. Y la falta del dominio de medición habría impedido contar con mecanismos formales de seguimiento, restando validez a los resultados obtenidos dentro del alcance proyectado. Por tanto, la incorporación completa de los dominios de desempeño fue determinante para estructurar un proyecto conceptualmente sólido, socialmente pertinente y con potencial de replicabilidad, sujeto a procesos de validación técnica y contextual.

Durante el desarrollo del proyecto se tomaron decisiones metodológicas fundamentadas en criterios de valor, pertinencia contextual, eficiencia operativa y alineación con los principios de validación técnica establecidos en la Guía del PMBOK® (PMI, 2021). Estas decisiones

orientaron la planificación, estructuración y seguimiento del sistema propuesto de manera coherente con las condiciones reales del entorno y los objetivos del proyecto en su fase de formulación teórica.

La calidad técnica de los entregables se validó mediante el uso de listas de verificación, bitácoras de control, revisión cruzada de versiones y evaluación estructurada por fases. Estas herramientas de control interno facilitaron los ajustes necesarios para garantizar que cada entregable cumpliera con los criterios establecidos en el plan metodológico. La validación técnica del diseño, del presupuesto y del cronograma confirmó que la planificación se realizó de manera coherente, con seguimiento constante a cada componente del proyecto desde un enfoque documental y proyectado.

El enfoque metodológico permitió consolidar productos técnicamente estructurados, ajustados a la realidad del contexto chocono y con potencial de implementación, sujeto a procesos de validación práctica en otros hogares rurales. La información generada representa un insumo preliminar que podría ser utilizado en intervenciones institucionales, planes comunitarios o políticas públicas orientadas al acceso autónomo al agua potable mediante soluciones descentralizadas. Las fichas técnicas, esquemas de diseño, cronogramas, matrices de interesados y análisis de riesgos se encuentran documentados y disponibles para su consulta y adaptación, previa verificación de su aplicabilidad en terreno.

La exclusión de componentes metodológicos esenciales, como el análisis de interesados, la gestión de riesgos o la validación técnica iterativa, habría debilitado la base del proyecto. En ausencia de estos elementos, se habrían presentado mayores niveles de incertidumbre, errores técnicos o incompatibilidades sociales. La integración de estos enfoques metodológicos fue

determinante para fortalecer la consistencia del diseño planteado, mejorar la toma de decisiones y respaldar su posible aplicabilidad futura en escenarios reales.

La metodología basada en dominios permitió estructurar una respuesta técnica proyectada y adaptada a las condiciones reales del contexto geográfico, social y ambiental del departamento del Chocó. Durante la fase de diseño del sistema se consideraron precipitaciones anuales superiores a 7.000 milímetros, junto con una alta frecuencia de días con lluvia. A partir de estos parámetros climáticos, se definieron dimensiones de captación y almacenamiento compatibles con viviendas rurales que poseen techos entre 40 y 60 metros cuadrados, complementados con tanques plásticos de mil litros para almacenamiento temporal. Esta configuración teórica permitió ajustar el volumen de recolección a la disponibilidad diaria de agua lluvia y simular un suministro constante para usos domésticos básicos.

Desde el componente social, se identificó una limitada cobertura de redes públicas de agua potable y la necesidad de soluciones domésticas autogestionables. A partir de este diagnóstico, el diseño se orientó hacia tecnologías que pudieran ser operadas por las propias familias, con bajo requerimiento técnico y sin dependencia de energía eléctrica. Se eligieron materiales fácilmente adquiribles en el mercado local y mecanismos de captación por gravedad, lo cual redujo la complejidad de instalación y mantenimiento. Esta orientación metodológica reconoció las condiciones de acceso económico y técnico propias de los hogares rurales del territorio, aunque no fue verificada mediante ensayos prácticos.

Para apoyar la formulación técnica del sistema, se estableció una base mínima de recursos de soporte que incluyó un computador con software de oficina, bibliografía técnica especializada y herramientas de diseño básico. Esta elección respondió a las capacidades reales de operación en un entorno rural disperso, procurando que el proceso de planificación resultara

replicable en teoría por equipos técnicos locales o institucionales sin necesidad de infraestructura avanzada.

Este enfoque adaptativo integró información climática, limitaciones sociales y capacidad operativa local, lo que permitió desarrollar un sistema teóricamente funcional, económicamente accesible y socialmente pertinente. La solución propuesta presenta potencial de replicabilidad en otros hogares rurales del Chocó o de regiones con características similares, debido a que sus componentes fueron seleccionados en función de criterios de disponibilidad, durabilidad y facilidad de implementación. La metodología permitió articular estos elementos bajo un enfoque estructurado, sin perder de vista las condiciones del entorno, consolidando una propuesta viable en su fase de diseño y planificación proyectada.

La asignación de recursos fue realizada con base en la identificación previa de necesidades específicas por fase. Se incluyeron recursos humanos como el coordinador del proyecto, recursos técnicos como herramientas de oficina y bibliografía especializada, y recursos logísticos asociados a la validación técnica del diseño. Esta asignación funcional permitió mantener la coherencia entre las actividades proyectadas y los medios disponibles, optimizando el uso de cada componente y garantizando su disponibilidad en los momentos requeridos.

La aplicación del enfoque metodológico del PMI permitió sostener la coherencia entre los objetivos planteados, las actividades desarrolladas y los productos alcanzados. Esta alineación operativa y metodológica fortaleció la consistencia del sistema formulado y evidenció que la estructura proyectada se encuentra en condiciones de ser evaluada para su posible implementación en escenarios reales, con un margen de error reducido y una capacidad alta de seguimiento y evaluación, sujetas a validación empírica.

El carácter simulado del proyecto constituyó una condición estructural que limitó la posibilidad de verificar empíricamente ciertos componentes críticos del sistema, especialmente aquellos relacionados con el comportamiento hidráulico del almacenamiento, la recepción social por parte de las comunidades potencialmente beneficiarias y los requerimientos reales de mantenimiento en contextos operativos prolongados. Aunque estas limitaciones son propias de una simulación académica, el trabajo permitió desarrollar un ejercicio metodológico riguroso, con alta capacidad de análisis, estructuración de escenarios de incertidumbre y formulación de respuestas técnicas contextualizadas.

Una proyección concreta de mejora consiste en la implementación de una prueba piloto en condiciones reales, que permita evaluar el rendimiento hidráulico del sistema ante variaciones climáticas, usos domésticos continuos y dinámicas comunitarias específicas. Esta validación práctica permitiría contrastar los parámetros definidos en el diseño con resultados de operación medibles, y retroalimentar el sistema con información técnica, social y económica de valor. Además, facilitaría la identificación de ajustes necesarios para mejorar el dimensionamiento, la operación del sistema y la experiencia de uso por parte de los hogares beneficiarios.

En futuras versiones del proyecto, se recomienda integrar herramientas de análisis como la gestión del valor ganado, que permitan comparar de forma estructurada la relación entre tiempo, costo y avance físico, especialmente en entornos reales de ejecución. Esta técnica fortalecería la capacidad de seguimiento en proyectos reales, facilitando la toma de decisiones basadas en variaciones objetivas respecto a lo planificado.

Bibliografía

- Acosta, M. A. (2013). *Desarrollo de un sistema de captación de agua pluvial para uso industrial*. Toluca, México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Agua.org.mx. (s.f.). *Agua en el Planeta*. Obtenido de <https://agua.org.mx/en-el-planeta/>
- AguasdelChocó, A. d. (2024). *Plan Departamental de Aguas y proyectos en ejecución*. Quibdó: Aguas del Chocó S.A. E.S.P.
- Ali, S. &.-F. (2023). Implementing rainwater harvesting systems as a novel approach for saving water and energy in flat urban areas. *Sustainable Cities and Society*.
- Ali, S., Sang, Y.-F., Pilla, F., Singh, V., & Dilawar, A. (2025b). Implementing urban rainwater harvesting systems: Multiple potential performances, barriers, challenges, solutions, and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Ali, S., Sang, Y.-F., Yang, M., & Naeem, M. (2025a). Influences of rainfall characteristics on water saving and stormwater control performances of rainwater harvesting systems. *Journal of Environmental Management*.
- Anindita, M. R. (2025). Microbial ecology of harvested rainwater: Assessing quality, antimicrobial resistance and geographical variation. *Journal of Cleaner Production*.
- Avila, I. R., & Moreno, M. A. (2016). *Diseño, propuesta e implementación de un filtro para tratamiento de aguas de uso doméstico en tanques de reserva en la población del casco urbano de la inspección de San Antonio de Anapoima*. Bogotá DC: Universidad Libre Facultad De ingeniería.
- Belelli, E. V. (s.f.). *Captacion de Agu LLuvia*. Obtenido de https://inta.gob.ar/sites/default/files/libro_captacion_de_agua_de_lluvia_-_digital.pdf

- Bermúdez Ríos, M. P. (2016). *Estudio sobre acceso al servicio de acueducto en Quibdó-Chocó, Colombia*. Bogotá DC: Universidad de los Andes.
- Bonilla-Castro Elssy, y. R. (1997). *Mas alla de los metodos*. Santa fe de Bogotá D.C.: Norma. *Capitulo III Marco Metodologico*. (s.f.). Obtenido de <http://virtual.urbe.edu/tesispub/0089884/cap03.pdf>
- Carpio-Vallejo, E. D. (2024). Contribution of rooftop rainwater harvesting to climate adaptation in the city of Hannover: Water quality and health issues of rainwater storage in cisterns and ponds. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*.
- Chino, M., Velarde, E., & Espinoza, J. (2016). Captación de agua de lluvia en cobertura de viviendas rurales para consumo humano en la Comunidad de Vilca Maquera, Puno-Perú. *revista de Investigaciones Altoandinas – Journal of High Andean Research*.
- Chocó, D. d. (2024). *Plan de desarrollo departamental del Chocó 2024–2027: El Chocó en ruta hacia el progreso*. Gobernación del Chocó: Quibdó.
- Chocó, G. d. (2023). *Análisis de situación de salud del Chocó*. Quibdó: Secretaría de Salud Departamental – Dirección de Epidemiología y Demografía.
- Colombia. (s.f.). *El clima promedio en todo el año Istmina* . Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/21543/Clima-promedio-en-Istmina-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Colombia, T. (21 de 02 de 2019). *Departamento del Choco* <https://www.todacolombia.com/departamentos-de-colombia/choco/index.html>
- Correa, A. H. (2014). *Diseño de un sistema de captación y aprovechamiento de aguas lluvias como alternativa de ahorro de agua potable en la Universidad Libre de Colombia, sede Bosque Popular, bloque P y cafetería*. Bogotá DC: Universidad Libre de Colombia.

DANE. (2019). *Total de viviendas, hogares y personas.*

<https://dane.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=e53e1178fb1f497cac9b241dbafb1690>

DANE, D. A. (2022). *Indicadores de necesidades básicas insatisfechas (NBI), según recientes agregaciones territoriales. Censo Nacional de Población y Vivienda 2018.* Bogotá D.C.:

DANE.

DANE, D. A. (2025). *Anexos generales de la Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ECV) 2024.* Bogotá D.C.: DANE.

DANE, D. A. (2025). *Incidencia de pobreza multidimensional. Anexo departamental.* Bogotá D.C.: DANE.

DNP, G. d. (2019). *Plan de Desarrollo Nacional 2018-2022.*

<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Plan-Nacional-Desarrollo-2018-2022-Bases.pdf>

Domiciliarios, S. d. (2024). *Informe sectorial de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado: Vigencia 2023 (Versión 2).* Bogotá D.C.: Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.

EcuRed. (s.f.). *Agua Pluvial.* https://www.ecured.cu/Agua_pluvial F A O, W. V.

(2013). *Captacion y Almacenamiento de agua Lluvia.*

[https://www.fao.org/publications/card/es/c/740794cb-88e6-5bcc-a50f-](https://www.fao.org/publications/card/es/c/740794cb-88e6-5bcc-a50f-843e544f6e4c/)

[843e544f6e4c/](https://www.fao.org/publications/card/es/c/740794cb-88e6-5bcc-a50f-843e544f6e4c/) Flores, R. A. (2015). *Estudio de prefactibilidad de un sistema de captación de agua pluvial en la*

Fundación Kinal, Guatemala. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería – Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial.

- Galvis, L. y. (2016). *La persistencia de pobreza en el Pacífico Colombiano y factores Asociados*.
https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/dtser_238.pdf
- Gao, Z., Zhang, Q., Gao, S., Dzakpasu, M., & Wang, X. (2024b). Optimizing roof-harvested rainwater storage: Impact of dissolved oxygen regime on self-purification and quality dynamics. *Science of the Total Environment*.
- Gao, Z., Zhang, Q., Wang, Y., Jv, X., Dzakpasu, M., & Wang, X. (2024a). Evolution of water quality in rainwater harvesting systems during long-term storage in non-rainy seasons. *Science of the Total Environment*.
- García-Ávila, F. G.-S.-G.-T.-G. (2023). Rainwater harvesting and storage systems for domestic supply: An overview of research for water scarcity management in rural areas. *Results in Engineering*.
- Gonzales, R. (s.f.). *Agua de Lluvia: Consumo, Captación, Características y Propiedades*.
https://www.ecologiahoy.com/agua-de-lluvia#Como_se_origina_la_lluvia González, L. F. (2004). Evolución histórica de la arquitectura en madera en el Chocó. *Serie Ciudad y Hábitat*, 17-31.
- Gupta, S. M. (2023). Performance and suitability of an economically efficient Rapid Sand Filter for filtration of roof-top harvested rainwater. *Materials Today: Proceedings*.
- Hernandez, D. (2019). *Tratamiento de agua lluvia con fines de consumo humano*
<https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/4409/4640>
- Herrera, L. A. (2010). *Estudio de alternativas para el uso sustentable del agua lluvia*. Ciudad de México: Instituto Politécnico Nacional, ESIA Zacatenco.

- IDEAM. (2017). *Atlas climatológico de Colombia*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).
- IDEAM. (2024). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Normales – Número de días con lluvia: <https://www.ideam.gov.co/sala-de-prensa/informes/Normales%20clim%C3%A1ticas%20est%C3%A1ndar>
- IDEAM. (2025a). *Promedios decadales: Precipitación 1991–2020*. Obtenido de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM): <https://www.ideam.gov.co/sala-de-prensa/informes/Normales%20clim%C3%A1ticas%20est%C3%A1ndar>
- IDEAM. (2025b). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Normales climatológicas estándar: periodo 1991–2020: <https://www.ideam.gov.co/sala-de-prensa/informes/Normales%20clim%C3%A1ticas%20est%C3%A1ndar>
- INS, I. N. (2025). *Informe de evento y tableros de control: Malaria 19-04-2025*. Bogotá DC: Instituto Nacional de Salud.
- INS, I. N. (2025b). *Informe de evento y tableros de control: Mortalidad en menores de cinco años*. Bogotá DC: Instituto Nacional de Salud.
- Jimenez, L. (2020). *Sistema de captación y aprovechamiento pluvial para uso doméstico: Caso estudio: Colombia bajo la Metodología D4S*. Madrid: Editorial Académica Española.
- Lepcha, R. P. (2024). Rooftop rainwater harvesting a solution to water scarcity: A review. *Groundwater for Sustainable Development*.
- Mazurkiewicz, K. J.-W. (2022). Physicochemical and microbiological quality of rainwater harvested in underground retention tanks. *Science of the Total Environment*.

- Michael, E. D. (S.f.). *Zanjas de infiltración*. <https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2020/02/CUBHIC-Zanjas-de-Infiltraci%C3%B3n.pdf>
- MinSalud, M. (2007). *Resolución 2115 de 2007, Por la cual se señalan las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano*. Bogotá: Ministerio de salud y protección social.
- MinSalud, M. d. (2015). *Encuesta Nacional de Situación Nutricional (ENSIN 2015)*. Bogotá D.C.: Ministerio de Salud y Protección Social; Instituto Colombiano de Bienestar Familiar.
- MinSalud, M. d. (2024). *Indicadores básicos de salud 2024*. Bogotá, D. C: Ministerio de Salud y Protección Social.
- Miwa, T., Watari, T., Tokunaga, S., Adlin, N., Hatamoto, M., Yajima, T., & Yamaguchi, T. (2025). Development of rainwater harvesting system using sponge-filled channel and gravity-driven ceramic membrane with pre chlorination. *Journal of Water Process Engineering*.
- MVCT. (2020). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico – RAS 2020. Título B: Abastecimiento de agua potable*. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio: Bogotá D.C.
- Naik, P. K. (2025). A design plan for rooftop rainwater harvesting in a large defence establishment in central India. *Desalination and Water Treatment*.
- Nandi, S., & Gonela, V. (2022). Rainwater harvesting for domestic use: A systematic review and outlook from the utility policy and management perspectives. *Utilities Policy*.
- OMS. (2003). *Domestic water quantity, service level and health*. Ginebra: WHO Press.

- OMS, O. (2017). *Guías para la calidad del agua potable*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- ONU, O. d. (2010). *Resolución aprobada por la Asamblea General el 28 de julio de 2010: El derecho humano al agua y el saneamiento*. Nueva York: Organización de las Naciones Unidas.
- Ortiz, S., Barreto, P., & Castier, M. (2022). Rainwater harvesting for domestic applications: The case of Asunción, Paraguay. *Results in Engineering*.
- Palacio, N. (2010). *Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de Agua Potable*.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169420002002>
- Pedroza, C. G. (2019). *Investigación de Brote de enfermedad Derrreica Aguda en comunidades del Municipio de istmina Choco*.
<https://www.ins.gov.co/Direcciones/Vigilancia/Investigacin%20de%20brotes/EDA,%20Choc%C3%B3.pdf>
- Peña, L. B. (s.f.). *Proyeto de Indagación*.
https://www.javeriana.edu.co/prin/sites/default/files/La_revision_bibliografica.mayo_.2010.pdf
- PMI, P. M. (2021). *El estándar para la dirección de proyectos y Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK®)*. Newtown Square, PA: Project Management Institute, Inc.
- Ramos, A., Flores, I., & Soler, F. (2024). Smart rainwater harvesting service design. *Procedia Computer Science*.

- Reyes, M. C., & Rubio, J. J. (2014). *Descripción de los sistemas de Recolección y Aprovechamiento de Aguas Lluvias*. Bogotá DC: Universidad Católica de Colombia.
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2089/1/Recoleccion-aguas.pdf>
- Richards, S., Rao, L., Connelly, S., Raj, A., Raveendran, L., Shirin, S., . . . Helliwell, R. (2021). Sustainable water resources through harvesting rainwater and the effectiveness of a low-cost water treatment. *Journal of Environmental Management*.
- Rio, G. (s.f.). *Captación de Agua Lluvia*.
<https://hidropluviales.com/2018/07/05/captacion-agua-de-lluvia-2/>
- Rodrigues, A. C., Mendonça, A., Perrella, J., & Nogueira, M. (2022). Exploring environmental, economic and social aspects of rainwater harvesting systems: A review. *Sustainable Cities and Society*.
- Rojas, M., Gallardo, J., & Martínez, A. (2012). Implementación y caracterización de un sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia. *Revista de Ingeniería Agrícola*.
- Ross, T. T., Alim, M. A., & Rahman, A. (2025). Simple and effective filtration system for drinking water production from harvested rainwater in rural areas. *Journal of Environmental Management*.
- Sanabria, A. F. (2010). *Operación y mantenimiento de sistemas de Abastecimiento de Agua*.
https://www.iucn.org/sites/dev/files/import/downloads/3_5_fasciculo_4____operacion_y_mantenimiento.pdf
- SEDEMA, S. d. (2020). *Cosechar la lluvia: Manual para instalar un sistema de captación pluvial en tu vivienda*. Ciudad de México: SEDEMA.

- Suprapti, S. K. (2025). Communal-based domestic rainwater harvesting system: A novel approach to alternative solutions for increasing water supply and recharging groundwater in Jagakarsa urban area, South Jakarta. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*.
- Torres Carrillo, A. (2002). *Enfoques Cualitativos y Participativos en Investigacion Social*. Bogotá D.C.: Arfin Ediciones.
- UNATSABAR, .: U. (2003). *Captación de agua de lluvia para consumo humano: Especificaciones técnicas*. Lima, Perú: CEPIS/OPS.
- Valdivielso, A. (s.f.). *Que es el agua potable*. <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-agua-potable>
- Villagómez-Márquez, N. A.-A. (2023). Organic micropollutants measured in roof-harvested rainwater from rural and urban environmental justice communities in Arizona. *Science of the Total Environment*.