

**Estudios y diseños a nivel de prefactibilidad de un acueducto en el sector rural de
Bucaramanga a través Marco Lógico**

Julio César Jaimes Paredes

Trabajo de grado para optar el título de Magister en Dirección y Gestión de Proyectos

Director

Luis Carlos Tiria Sandoval

Mg. Gestión y Evaluación de Proyectos de Inversión

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Maestría en Dirección y Gestión de Proyectos

2025

Dedicatoria

Primeramente, a Dios, quien ha sido apoyo, refugio y esperanza en estos meses, sin su amor y compasión todo hubiera sido diferente, ***que todo el honor y toda la gloria sean para Dios por siempre y para siempre.***

A mis abuelos Carmen y Benedicto, que siempre estuvieron pendientes del desarrollo de mi maestría y la realización de este trabajo, gracias por su amor durante tantos años.

A mi madrina, Carmen Rosa, quien ha sido como mi segunda madre y un pilar importante en mi vida, por tus consejos, escucha, paciencia y amor, gracias infinitas.

A mis padres, Wilson y Martha, que con su amor, apoyo y paciencia me han formado como una gran persona y profesional; por tantos años de dedicación y formación, infinitas gracias, los amo con el alma, ¡que Dios me los permita tener por muchos años más! Esta alegría es de ustedes también.

A mi pareja y compañera de vida, Daniela, quien ha sido un gran apoyo en mi vida y principal artífice para el inicio y fin de esta maestría, sin ti esto no hubiera sido posible. Este es un logro para celebrar juntos; que sea uno de tantos que nos esperan por celebrar a lo largo de nuestro camino. Te amo y te amaré, hoy y siempre.

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Santo Tomás y los profesores de esta maestría por ayudarme a ampliar mi conocimiento, y contar con herramientas para aplicarlos a mi carrera profesional y a mi vida.

A mi director de tesis Luis Carlos Tiria por su compromiso, dedicación, consejos y recomendaciones en la elaboración de este proyecto, ha sido un logro alcanzado en conjunto.

A las demás personas y compañeros que contribuyeron de una u otra manera a la elaboración de este trabajo, gracias por su apoyo.

Contenido

Introducción	13
1. Aspectos contextuales	15
1.1. Planteamiento del problema.....	15
2. Objetivos	18
2.1. Objetivo general.....	18
2.2. Objetivos específicos	18
3. Marco referencial	18
3.1. Marco conceptual.....	18
3.2. Estado del arte	22
3.3. Marco teórico	31
3.4. Marco legal	46
4. Análisis de interesados – involucrados	48
5. Análisis del problema.....	50
5.1. Modelo árbol de problemas.....	50
6. Análisis de objetivos	50
7. Análisis de alternativas	51
7.1. Identificación de alternativas	51
7.2. Evaluación de alternativas	52
7.3. Selección de la alternativa de solución	53
8. Construcción del modelo analítico del proyecto.....	56
8.1. Estructura analítica.....	56
8.2. Matriz de marco lógico	57

8.3. Resumen narrativo	59
8.4. Indicadores	61
8.5. Medios de verificación.....	62
8.6. Supuestos	63
9. Recursos humanos, materiales y económicos	65
10. Cronograma.....	67
11. Difusión y comunicación	68
12. Método mediante el cual se realizará la evaluación de los resultados de la implementación	68
13. Resultados	70
14. Discusión.....	76
15. Conclusiones	77
16. Recomendaciones	79
Referencias.....	83

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Componentes del derecho humano al agua.</i>	32
Tabla 2. <i>Estructura de la Matriz de Marco Lógico.</i>	42
Tabla 3. <i>Análisis de interesados para el proyecto de construcción de acueducto en zona rural de Bucaramanga.</i>	48
Tabla 4. <i>Evaluación preliminar de alternativas identificadas teniendo en cuenta criterios relevantes</i>	52
Tabla 5. <i>Matriz de evaluación de alternativas de solución</i>	55
Tabla 6. <i>Matriz de Marco Lógico para el proyecto de construcción de acueducto en zona rural de Bucaramanga.</i>	57
Tabla 7. <i>Resumen de dimensiones finales de bocatoma.</i>	73
Tabla 8. <i>Resumen de dimensiones finales de desarenador.</i>	74
Tabla 9. <i>Matriz de riesgos para el proyecto.</i>	81

Lista de figuras

Figura 1. <i>Ubicación Quebrada Lajas - cercanía a zona rural Bucaramanga.</i>	39
Figura 2. <i>Esquema del proceso de potabilización y partes de un acueducto hasta su distribución.</i>	44
Figura 3. <i>Modelo de árbol de problemas de acuerdo con el proyecto de construcción de acueducto en zona rural de Bucaramanga.</i>	50
Figura 4. <i>Árbol de objetivos.</i>	50
Figura 5. <i>Estructura analítica del proyecto.</i>	56
Figura 6. <i>Cronograma del proyecto.</i>	67
Figura 7. <i>Zonificación geotécnica - zonas de enfoque 4A y 4B de la ciudad de Bucaramanga.</i> ..	72
Figura 8. <i>Esquema de dimensiones bocatoma lateral (planta).</i>	74
Figura 9. <i>Esquema de dimensiones desarenador de unidades paralelas (planta).</i>	75

Lista de apéndices

Apéndice A. *Estudio hidrológico*

Apéndice B. *Estudio geotécnico*

Apéndice C. *Predimensionamiento bocatoma – desarenador*

Apéndice D. *Presupuestos*

Nota: véase archivos en fuente externa

Resumen

Este trabajo de grado aborda el **problema** del acceso deficiente al agua potable en la zona rural de Bucaramanga, donde existe una brecha de cobertura afectando al 61,3% de la población, obligándola a consumir agua de fuentes no seguras teniendo impactos en la salud pública. En ese sentido, se planteó como **objetivo** general elaborar los estudios y diseños a nivel de prefactibilidad de un acueducto en dicho sector, utilizando la Metodología de Marco Lógico (MML) para asegurar la viabilidad del proyecto de inversión pública. Como **método** se aplicó un enfoque mixto que combinó la planificación estructurada de la MML con la ejecución de estudios técnicos por área tales como un análisis hidrológico (Apéndice 1), un estudio geotécnico (Apéndice 2) y el predimensionamiento de la infraestructura hidráulica (Apéndice 3). Los principales **resultados** determinaron que, si bien la cuenca del Alto Lebrija presenta estrés hídrico, la microcuenca Quebrada Lajas es una fuente viable con un sobrante teórico de 2,17 m³/s, aunque su calidad de agua exige una PTAP. Geotécnicamente se seleccionó la zona 4ª como apta para la construcción, sin embargo, se recomendó el uso de cimentaciones profundas dada su alta sismicidad y heterogeneidad en el suelo. En las **discusiones** se establece que la viabilidad del proyecto se encuentra condicionada a la integración de los hallazgos tales como el uso exclusivo de la fuente viable, la construcción de una PTAP completa, y el cumplimiento de las recomendaciones geotécnicas, justificando la selección de la construcción de un nuevo acueducto como la única alternativa integral y sostenible a largo plazo.

Palabras clave: acueducto rural, marco lógico, prefactibilidad, calidad del agua, gestión del agua

Abstract

This graduate thesis addresses the **problem** of deficient access to potable water in the rural area of Bucaramanga, where a coverage gap affects 61.3% of the population, forcing them to consume water from unsafe sources with a subsequent impact on public health. In this regard, the general **objective** was to develop the pre-feasibility studies and designs for an aqueduct in said sector, using the Logical Framework Approach to ensure the viability of the public investment project. As a **method**, a mixed approach was applied, combining the structured planning of the LFA with the execution of specialized technical studies: a hydrological analysis, a geotechnical study, and the preliminary design of the hydraulic infrastructure. The main **results** determined that while the Alto Lebrija basin is under water stress, the Quebrada Lajas micro-basin is a viable source with a theoretical surplus of $2.17 \text{ m}^3/\text{s}$, although its quality requires a full Water Treatment Plant (WTP). Geotechnically, Zone 4A was identified as suitable for construction, but the use of deep foundations was recommended due to high seismicity and soil heterogeneity. In the **discussions**, it is established that the project's viability is conditional upon the integration of these findings: the exclusive use of the viable source, the mandatory construction of a complete WTP, and strict adherence to geotechnical recommendations, thereby justifying the selection of constructing a new aqueduct as the only comprehensive and sustainable long-term alternative.

Keywords: rural aqueduct, logical framework, pre-feasibility, water quality, water management.

Glosario

Asentamiento diferencial: riesgo geotécnico que ocurre cuando una parte de la cimentación se asienta más que otra por la heterogeneidad del subsuelo.

Balance hídrico: cálculo resultante de la resta de la Oferta Hídrica Disponible y la Demanda Hídrica Actual en una cuenca. Un resultado positivo indica un sobrante teórico de agua, mientras que uno negativo indica un déficit.

Bocatoma lateral: estructura de captación de agua, recomendada para fuentes caudalosas en comparación con la demanda. Este tipo de obra no requiere la construcción de un dique que ocupe todo el ancho del río.

Caudal máximo diario (QMD): corresponde al caudal del día de mayor consumo del año.

Cimentaciones profundas: solución de cimentación para estructuras pesadas, cuya función es atravesar los depósitos del suelo heterogéneos y anclarse en un estrato de roca competente para evadir los asentamientos diferenciales.

Desarenador: estructura de pretratamiento cuya función es remover, por medio de la sedimentación, las partículas de arena y sedimentos finos del agua cruda captada.

Índice de uso de agua (IUA): indicador que mide el nivel de estrés hídrico de una cuenca. Un porcentaje de más de 60% clasifica a la cuenca como en un estado crítico.

Junta administradora de acueducto rural (JAAR): organización comunitaria, reconocida por la Ley 142 de 1994, que asume la responsabilidad directa de la administración, operación y mantenimiento de los sistemas de acueducto en zonas rurales donde no operan las grandes empresas de servicios públicos.

Marco lógico: herramienta de gestión, planificación y evaluación que permite organizar, identificar y medir los objetivos, resultados, actividades y recursos de un proyecto de manera

coherente. Es la base conceptual de la MGA de uso obligatorio en Colombia para proyectos de inversión pública.

Planta de tratamiento de agua potable: instalación diseñada para someter al agua cruda a procesos para eliminar impurezas y patógenos, garantizando que el agua sea apta para el consumo humano.

Prefactibilidad: etapa del ciclo de un proyecto donde se realizan estudios iniciales para analizar y comparar diferentes alternativas de solución.

Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS): norma técnica de obligatorio cumplimiento en Colombia (Resolución 0330 de 2017) que establece los requisitos, parámetros y procedimientos técnicos mínimos que garanticen la calidad, seguridad y sostenibilidad de la infraestructura de acueducto y alcantarillado.

Introducción

A nivel global y nacional, el acceso al agua potable representa uno de los mayores desafíos para el desarrollo equitativo, observándose una marcada brecha entre zonas rurales y urbanas. En Colombia, mientras que la cobertura de acueducto en áreas urbanas alcanza el 97,4%, en el sector rural esta cifra baja hasta un preocupante 57,8%. Esta diferencia se ve reflejada en Bucaramanga, en donde el 61,3% de la población rural carece de acceso al servicio, viéndose forzada a depender de métodos de captación rudimentarios y fuentes hídricas que a menudo presentan contaminación, lo que vulnera el derecho fundamental del acceso al agua y genera graves consecuencias en materia de salud pública, como la aparición de enfermedades gastrointestinales.

Investigaciones previas realizadas en Colombia, han demostrado que la deficiente infraestructura de potabilización del agua y la falta de gestión en los acueductos rurales son causas de la mala calidad del agua y los riesgos asociados. Esto, sumado a los casos locales donde las comunidades deben ir hasta instancias judiciales para garantizar el acceso al servicio, manifiesta la urgencia de una intervención correspondiente sobre el tema.

El propósito de este trabajo es el de la elaboración de estudios y diseños a nivel de prefactibilidad para la construcción de un acueducto que ofrezca una solución sostenible y de alto impacto para dicho problema. La justificación trasciende lo técnico y traspasa en la necesidad de hacer cumplir el derecho humano al agua, reducir las desigualdades territoriales y mejorar la calidad de vida de las comunidades rurales, que permita generar un impacto positivo en la salud pública y el desarrollo socioeconómico de la zona. En aras de alcanzar este fin, se empleó como enfoque la Metodología de Marco Lógico (MML), herramienta que permite estructurar de manera sistémica la planificación del proyecto. Con base en esta guía, se desarrollaron los estudios técnicos indispensables.

La estructura de este documento refleja dicho proceso metodológico. Se inicia con el planteamiento del problema y la definición de objetivos, seguido de los marcos de referencia que dan contexto del proyecto. Posteriormente, se detalla el análisis de involucrados y el desarrollo completo de la MML, desde el árbol de problemas y objetivos hasta la evaluación y selección de alternativas. Por último, se presenta la Matriz de Marco Lógico como síntesis del plan de proyecto, la cual se sustenta en los resultados de los estudios técnicos presentados en los apéndices.

1. Aspectos contextuales

1.1. Planteamiento del problema

A nivel global, se estima que el agua accesible para el ser humano es menos del 1%, aproximadamente un 0.77% del total del agua del planeta es potable para el ser humano, disponible en lagos, ríos, humedad del suelo y depósitos subterráneos (FUNCAGUA, 2020). De acuerdo con la OMS, 663 millones de personas no presentan acceso al agua potable, existiendo lugares con agua, pero sin estar en condiciones para el consumo. Sobre esta problemática, también se suman 2.600 millones de personas que no disponen de una infraestructura adecuada para el saneamiento y depuración de las aguas residuales. En cuanto a la afectación que se puede presentar por el uso excesivo del agua en el planeta, el cuál ha generado modificaciones permanente en los ecosistemas y desastres ecológicos; tanto así, que se considera que el 50% de las zonas húmedas del mundo han desaparecido en el último siglo, además, hay 3.500 especies amenazadas, incluyendo el 30% de los peces y anfibios, igualmente el 25% de los ecosistemas fluviales se encuentra en riesgo de desaparecer y solo permanecen sin contaminación las partes altas de los ríos (Sostenibilidad, 2018).

Por otra parte, trasladándose al sector rural, el agua que llega a este sector se destina alrededor del 70% en la parte agroalimentaria, en donde en algunas zonas menos desarrolladas, se estima que llega a elevarse el gasto de agua por encima del 90% (Oficina Internacional del Trabajo, 2019). Asimismo, en otros sectores se usa gran cantidad de agua como lo es la ganadería y la transformación de alimentos.

En Colombia, el acceso al acueducto presenta una brecha entre las zonas urbanas y zonas rurales, las primeras con una cobertura del 97.4%, mientras que las zonas rurales foco de este

proyecto, presenta una baja cobertura de 57.8%, una diferencia de 40 puntos porcentuales. (MINVIVIENDA, 2023). Trasladándose al municipio de estudio, la cobertura del servicio de acueducto que constituye la zona rural es de 38,7% del total de la población, dejando un 61.3% sin acceso al servicio, teniendo que suplir la necesidad de este líquido por fuentes externas (Beltrán, 2024). En esta zona rural, en las veredas, se presentan distintos tipos de toma del líquido, de los 45 puntos que existen en las distintas veredas, un 8.8% no presenta carencias de agua (toma de agua directamente del nacimiento, familias sin cobertura, ubicación por encima de cota del tanque, etc.), y únicamente el 4.4% no presenta problemáticas (crecidas de quebrada, problemas de contaminación por toma directa del punto, escasez en temporada de verano, etc.) (Secretaría de Infraestructura, 2023). Así mismo, como se mencionaba anteriormente y, de acuerdo con lo planteado en el plan de desarrollo del municipio, se presenta un agravante en materia de alcantarillado, ya que, al no tener un sistema eficiente para la disposición de aguas residuales, la población descarga estas aguas directamente en las fuentes hídricas, generando contaminación en el agua de la cual las poblaciones que no poseen cobertura de acueducto recogen también este líquido aguas abajo.

Además, en un caso de estudio en los municipios de Albán, Nocaima y Nimaima del departamento de Cundinamarca, se realizó un análisis del estado actual de las PTAP; como conclusión de este estudio se determinó que en todos los casos se requiere de obras de optimización que abarcan impermeabilización, pintura, reparaciones de fisuras, etc. (Martínez, 2015). Esta falta de mantenimiento puede ser contraproducente en la calidad de agua que se encuentra despachando los acueductos a la población. En consecuencia, para el 2019, el INS reportó un total de 3.437.862 casos de Enfermedad Diarreica Aguda (EDA), un 5% más con respecto al año anterior, con 3.268.752 casos de EDA. Estos casos se relacionan justamente con los departamentos que tienen

menor cobertura de acueducto, como lo son Amazonas, Vaupés, Guaviare, Guainía, Vichada, Guajira, Chocó, Cauca y Putumayo, contando con una cobertura de acueducto menor al 70 %, siendo los 9 departamentos con más riesgo de que sus habitantes enfermen de EDA (Instituto Nacional de Salud, 2019).

La problemática se agudiza, al ver en la actualidad, que se presenten noticias sobre el acceso del agua potable a la vereda San Ignacio, gracias al fallo de un juez, ya que se encontraban bebiendo agua de una fuente contaminada (infobae, 2021). Unas 125 familias se vieron beneficiadas por este fallo, sin embargo, sorprende que sea un juez quien deba garantizar el acceso a un servicio que es un derecho fundamental. Al mismo tiempo, como el caso anterior, se presenta en la vereda Santa Rita, quienes al abrir su llave obtienen agua con presencia de larvas y suciedad, quienes llevan más de 4 años esperando el avance en la construcción de un acueducto veredal, eventos que pueden ser evitados con inversión y planeación en la construcción de sistemas de acueducto que garantice calidad de vida digna a la población (Corrillos, 2024).

Se requiere que la ciudad de Bucaramanga ejecute proyectos que permitan generar desarrollo en la población afectada, y que esta garantice las condiciones dignas de acuerdo con la Ley 142 de 1994.

¿Cómo el análisis de viabilidad permite generar un mayor acceso al agua potable de la población en la zona rural de la ciudad de Bucaramanga?

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Elaborar los estudios y diseños a nivel de prefactibilidad de un acueducto en el sector rural de la ciudad de Bucaramanga por medio de la Metodología de Marco Lógico y el componente socioambiental para la viabilidad del proyecto de inversión pública.

2.2. Objetivos específicos

Realizar el estudio de viabilidad socioeconómica del sector, mediante el cálculo de factores de demanda y oportunidad para la determinación de la necesidad del acueducto.

Ejecutar los estudios de suelos e hidrología y diseño de la infraestructura del proyecto a través de la normatividad colombiana de agua potable para la determinación de las características técnicas de las obras civiles.

Estructurar la Matriz de Marco Lógico por medio de la aplicación de criterios técnicos, legales, financieros, ambientales, social y predial para el análisis de alternativas del acueducto rural.

3. Marco referencial

3.1. Marco conceptual

En este marco se incluyen conceptos y temas que se abordarán para la ejecución de este proyecto:

Acueductos veredales: son organizaciones cuyo objeto es el de entregar el agua a las comunidades rurales en donde el acueducto municipal no presta servicio.

Agua potable: recurso que cumple con estándares de calidad apta para el consumo humano, y uso en labores cotidianas domésticas.

Calidad del agua: resultado de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del agua que determinan, en este caso, su potabilidad para el consumo humano.

Captación: hace referencia a la recolección y almacenamiento de agua de una o varias fuentes para su uso.

CONPES 3810: este documento se centra en la necesidad de mejorar el acceso a agua potable y saneamiento básico en las áreas rurales de Colombia. Reconoce las disparidades existentes entre las zonas urbanas y rurales en términos de cobertura y calidad de estos servicios, y busca implementar soluciones que sean apropiadas para el contexto rural.

El documento destaca la importancia de considerar las características específicas de las zonas rurales, como la dispersión de la población, la baja capacidad institucional de algunos municipios y las dificultades en la estructuración y ejecución de proyectos. Para abordar estos desafíos, la política propone un enfoque diferenciado que incluye la promoción de alternativas, el fortalecimiento de la asistencia técnica y la participación de las comunidades en la planificación y gestión de los servicios.

Además, el documento enfatiza la necesidad de garantizar la sostenibilidad de las inversiones en agua potable y saneamiento básico en el área rural. Esto implica no solo la construcción de infraestructura, sino también el desarrollo de esquemas de gestión eficientes, la capacitación de las comunidades y la promoción de la educación sanitaria y ambiental.

Conservación de recursos hídricos: implican las actividades cuyo fin es el uso de manera consciente y sostenible del agua disponible.

Desinfección: es el proceso de eliminación o reducción de microorganismos patógenos que pueden causar enfermedades.

Distribución de agua: sistema o conjunto de redes que conforman el suministro del agua por parte del acueducto.

Fuentes de agua: hace referencia a los distintos tipos de agua de origen (lagos, ríos, embalses, etc.) que suministra agua al sistema de acueducto.

Gestión del agua: es la actividad que genera que el manejo de los recursos hídricos sea por medio de patrones sustentables y sostenibles en conjunto con la comunidad.

Informe Nacional de coberturas de los Servicios Públicos de Acueducto, Alcantarillado y Aseo: es un informe que presentan análisis de la cobertura de servicios públicos, enfocándose en acueducto, alcantarillado y aseo en Colombia. Este busca identificar las brechas existentes en el acceso a agua potable, saneamiento básico y recolección de residuos, especialmente en las zonas rurales, para proponer medidas que mejoren la calidad de vida de la población y generen desarrollo sostenible en el país.

Infraestructura hidráulica: se refiere al grupo de obras y estructuras (tuberías, represas, bombas, plantas de tratamiento) que se diseñan para captar, almacenar, transportar y distribuir el agua de manera eficiente.

Marco lógico: es una herramienta de gestión, planificación y evaluación que permite organizar, identificar y medir los objetivos, resultados, actividades y recursos necesarios para llevar a cabo un proyecto de manera eficiente.

Plan Nacional de Abastecimiento de Agua Potable Y Saneamiento Básico Rural: este plan busca, dentro de sus objetivos, el aseguramiento del acceso del agua potable y saneamiento básico en las zonas rurales de Colombia, enfocándose en la gestión sostenible de estos servicios, así mismo, busca cerrar las brechas existentes en la cobertura y calidad de estos servicios entre las zonas urbanas y rurales, mediante soluciones tecnológicas apropiadas y la participación de las comunidades.

Este hace parte de la estrategia para el cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6, que busca garantizar la disponibilidad de agua para todos en miras para el año 2030. De igual modo, se alinea con el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 y la política de agua potable y saneamiento básico para las zonas rurales de Colombia establecida en el CONPES 3810 de 2014.

El documento describe las estrategias, fases de implementación, componentes, costos y metas del plan, con un enfoque en la atención a las regiones priorizadas en el Programa de Desarrollo con Enfoque Territorial (PDET).

Salud pública: está constituida por políticas enfocadas en la prevención de enfermedades, promoción de la salud y control de factores de riesgo que afectan a la comunidad, incluida la gestión del agua y la prevención de enfermedades relacionadas con el agua.

Saneamiento básico: es el conjunto de acciones que se aplican sobre el ambiente, en este caso, el agua, para reducir riesgos sanitarios, con el fin de mejorar los niveles de salud.

Sostenibilidad: es el equilibrio de las acciones humanas junto con sus recursos, que permitan garantizar los mismos para las futuras generaciones.

Suministro de agua: Es el proceso que atraviesa el agua desde su captación hasta su distribución.

Tratamiento del agua: proceso mediante el cual el agua es sometida a una serie de técnicas para eliminar impurezas y contaminantes, potabilizándola para el consumo humano.

Uso eficiente del agua: se refiere a la gestión del consumo de esta, de una manera responsable.

3.2. Estado del arte

La investigación (Ramos Parra & Pinilla Roncancio, 2020) analizó la relación entre la infraestructura de los sistemas de abastecimiento de agua rurales en Boyacá, Colombia, y la calidad del agua para consumo humano. Se utilizaron los datos de 288 acueductos, y con ello, evaluaron variables como la presencia de sistemas de tratamiento, control de procesos de potabilización y equipos de monitoreo. Los resultados mostraron que el no contar con sistemas de tratamiento reduce la probabilidad de cumplir con los parámetros de calidad, mientras que el control de eficiencia en potabilización aumenta esta probabilidad. Además, más del 60% de los acueductos presentaron contaminación microbiológica y el 93% de estos dependían de fuentes superficiales, lo que aumenta el riesgo de contaminación.

Esta investigación concluye que el abastecimiento de agua sin las condiciones adecuadas de calidad en Boyacá se asocia con deficiente infraestructura de potabilización y con la falta de controles operacionales. Del mismo modo, se propone como oportunidad de mejorar la gestión de los sistemas de abastecimiento por medio de inversiones en infraestructura, la implementación de planes de seguridad del agua y capacitaciones al personal operativo, presentando lo anterior como acciones esenciales para garantizar el acceso a agua potable de calidad y reducir los riesgos sanitarios en las comunidades rurales.

La investigación que lleva por título “El agua y el sector rural en Colombia” (Ordoñez, 2020) aborda el problema que se presenta en la gestión, administración y distribución del agua del sector rural del país. Aunque Colombia presente abundancia de recursos hídricos, la infraestructura y la planificación para un aprovechamiento adecuado del mismo es deficiente, generando consigo desigualdades en el acceso del agua potable. Allí se identifican obstáculos políticos, administrativos y técnicos que limitan la implementación de estrategias que permitan mejorar la calidad del agua y una distribución equitativa a la población.

Se deja en evidencia que ha faltado atención al sector rural, lo que ha generado problemas de contaminación, conflictos por el uso del agua y dificultades al acceder a fuentes seguras de abastecimiento. Allí se analizan antecedentes de políticas públicas, tales como el programa “Agua a la Vereda” ejecutado en Cundinamarca, junto con la gestión comunitaria en varios acueductos rurales, que han demostrado ser estrategias viables para una mejora en la calidad del agua y el fortalecimiento de la sostenibilidad de los sistemas de abastecimiento.

Como conclusión de la investigación, se evidencia que la crisis del agua en el sector rural de Colombia no es principalmente por la disponibilidad del recurso, sino que va desde la planificación y gestión, hasta la voluntad política. Allí se presentan 3 claves para que exista una mejora en la situación actual, que abarca una descentralización en la administración del recurso, una mayor participación de las comunidades en la gestión de sus recursos hídricos, y una inversión importante en infraestructura. Del mismo modo, se hace énfasis en una integración de las autoridades gubernamentales, comunidades rurales y la academia, que permitan garantizar un acceso equitativo y sostenible al agua en el sector rural de Colombia.

La investigación que lleva por título “Uso de las plantas de tratamiento de agua potable en acueductos rurales” (Varón, 2014) analizó los factores que influyen en la decisión de las

comunidades rurales en el uso de las plantas de tratamiento de agua potable en los sistemas de abastecimiento. Allí, se plantea un estudio en El Retiro Antioquia, en donde se emplean metodologías como grupos focales y encuestas a usuarios que permitan evidenciar las barreras económicas, institucionales y sociales en la operación de dichas infraestructuras.

Los resultados indican que, aunque hubo inversión en infraestructura para mejorar el acceso al agua potable, muchas plantas de tratamiento en zonas rurales no se usan debido a la falta de apropiación comunitaria, problemas en las gestiones administrativas y ausencia de apoyo gubernamental en la etapa de postconstrucción. Del mismo modo, se observa que las comunidades con mayor grado de organización y apoyo institucional son más propensas a usar correctamente estas instalaciones.

Este estudio concluye que el éxito de las plantas de tratamiento de agua potable en los acueductos rurales no depende solo de la infraestructura instalada, sino también de la participación de la comunidad, la gestión institucional y el apoyo del gobierno. Capacitar a los operadores, fortalecer las juntas que administran los acueductos y el implementar políticas que garanticen la sostenibilidad financiera y técnica de estos sistemas, son esenciales para el aseguramiento del acceso continuo al agua potable en el sector rural de Colombia.

El documento titulado “Los retos del acceso a agua potable y saneamiento básico de las zonas rurales en Colombia” (Moreno Méndez, 2020) trata los desafíos para acceder al agua potable y el saneamiento básico en el sector rural de Colombia, enfatizando en la dificultad que presentan los municipios para garantizar este servicio a la población en su totalidad. Aunque han existido avances importantes en la última década, se indica que el país requiere un enfoque estructural y un trabajo conjunto entre los distintos niveles del estado, junto con la participación comunitaria. El

marco institucional y las normativas vigentes han sido de ayuda, pero no han sido suficientes para superar las dificultades asociadas a estos servicios en el sector rural.

La investigación subraya que, aunque existen políticas públicas y un aumento en la infraestructura, las diferencias que se presentan a nivel regional, los retos geográficos, y la falta de recursos, se siguen presentando como obstáculos importantes para lograr una cobertura total. Además, se resalta la importancia de la gestión de la comunidad como una estrategia clave que permita asegurar la sostenibilidad y la calidad del agua potable. Estas gestiones permiten que la comunidad se involucre en la toma de decisiones y en la operación de los sistemas, contribuyendo a la continuidad y eficiencia de los servicios.

Como conclusión, se destaca la necesidad de fortalecer la colaboración interinstitucional y el adoptar un enfoque más inclusivo que tenga en cuenta las realidades del sector y las necesidades específicas de cada región. A través de una visión integral que permita el involucramiento de los actores sociales y políticos, es que se podrá garantizar un acceso equitativo y sostenible al agua potable y al saneamiento básico en Colombia.

El estudio titulado “Vulnerabilidad de los sistemas de acueductos rurales: cómo identificarla” (Navarro et al., 2013) analiza la vulnerabilidad de los sistemas de acueductos rurales en la zona Huetar Norte de Costa Rica, cuyo enfoque es en las nacientes, los tanques de almacenamiento y las redes de distribución. Los resultados destacan que los sistemas enfrentan amenazas tanto de origen natural, como sismos, terremotos y deslizamientos, como humanas, tales como la expansión agrícola, ganadera y urbana. La infraestructura de estos sistemas muestra deficiencias importantes, como la falta de tratamiento del agua, la contaminación por coliformes fecales en el 21% de las muestras, y la carencia de programas de gestión ambiental y educativos en las Asociaciones Administradoras de Acueductos Rurales (ASADAS). El estudio revela que la

presión sobre estos recursos naturales y el mal manejo contribuyen de gran manera a su vulnerabilidad.

Como conclusiones del estudio, se evidencia que la falta de protección adecuada en las fuentes de agua, el deficiente mantenimiento de los sistemas y la ausencia de tratamiento básico del agua son factores claves que empeoran la situación. Además, la eliminación de aguas residuales sin tratamiento, el mal uso del agua y la falta de protección ante desastres naturales como lluvias intensas, inundaciones y deslizamientos de tierra son elementos críticos que contribuyen al deterioro de la calidad del agua. En general, la falta de programas de educación ambiental y de gestión sostenible de los recursos hídricos es una de las principales causas de la vulnerabilidad de estos sistemas.

Finalmente, se concluye que las ASADAS deben mejorar tanto la infraestructura de los acueductos como sus prácticas de gestión, implementando medidas que garanticen la sostenibilidad de los sistemas frente a las amenazas naturales y humanas. La educación y la gestión ambiental juegan un papel crucial para mitigar estos riesgos y asegurar el suministro adecuado de agua para las comunidades rurales.

La investigación titulada “Los acueductos como medio para potencializar el desarrollo en las comunidades rurales en Colombia” (Suaza Uriel et al., 2017) aborda el papel que cumplen los acueductos en el desarrollo dentro de las comunidades rurales en Colombia. Examina los factores históricos, sociales y políticos que influyen en la gestión comunitaria del agua, analizando desafíos y oportunidades relacionados con el suministro de acceso del agua potable en zonas rurales. También profundiza en el marco legal que rigen a los acueductos en Colombia, resaltando la importancia de la participación de la comunidad y el apoyo del gobierno que permita garantizar la sostenibilidad de estos sistemas.

En su investigación, los autores argumentan que el acceso al agua no es solo un derecho humano básico, sino que también es un factor importante para fomentar el crecimiento económico, mejorar la salud pública y mejorar la calidad de vida en general de las comunidades rurales. Allí, enfatizan en la necesidad de un enfoque multifacético que combine la experiencia técnica, asistencia financiera y la participación comunitaria que permita abordar los problemas que rodean la gestión del agua en la Colombia rural.

Como conclusiones, se presentan recomendaciones para fortalecer los sistemas de acueductos de la comunidad, donde se incluyen la mejora en la infraestructura, promoción de prácticas eficientes de uso del agua y el garantizar el acceso equitativo a este recurso. Así mismo, los autores piden una mayor colaboración entre agencias del gobierno, ONG y comunidades locales con los que logren superar desafíos y aprovechar el potencial de los acueductos para impulsar el desarrollo sostenible de la Colombia rural.

La investigación con título “Elaboración de una guía metodológica para los estudios de prefactibilidad para proyectos de construcción inmobiliaria tipo VIS en la ciudad de Bogotá” (Rojas Hernández & Guerrero Páez, 2023), se enfoca en crear una guía metodológica para los estudios de prefactibilidad en los proyectos de construcción inmobiliaria tipo VIS en Bogotá. Esta guía busca sistematizar el proceso de evaluación y planificación abarcando temas técnicos, legales, financieros y socioeconómicos que deben ser tenidos en cuenta para la viabilidad de estos proyectos. Así mismo, se resalta la importancia de ejecutar estudios de prefactibilidad previos a la construcción que permitan mitigar riesgos, asegurar la rentabilidad y cumplir con las normas vigentes. La metodología empleada allí se basa en el Marco Lógico, que organiza las fases del proyecto y permite tomar decisiones con información desde la identificación de los problemas hasta su evaluación final.

Como conclusiones de esta investigación, se obtiene que la falta de una guía estructurada en el ámbito de proyectos VIS ha generado incertidumbre en el sector, con un enfoque demasiado empírico. Este enfoque puede generar errores repetitivos y fallos en la ejecución, por lo que la rentabilidad y satisfacción de los interesados se ven afectados. De igual manera, la investigación resalta la necesidad de integrar la experiencia profesional con una formación académica fuerte para evitar problemas recurrentes en este tipo de proyectos. Además, se hace énfasis en la importancia de compartir las lecciones aprendidas a nivel organizacional, lo que contribuye a mejorar la efectividad de las construcciones futuras. Todo esto, lleva a concluir que la implementación de una guía metodológica sólida es vital para asegurar el éxito y la sostenibilidad de este tipo de proyectos a largo plazo, sobre todo en un contexto urbano como el de Bogotá, donde la demanda de una vivienda es alta.

El proyecto desarrollado de título “Estudio de factibilidad para la construcción de un acueducto en el sector Brisas del Darién, Corregimiento de Curbaradó, Municipio de Carmen del Darién (Chocó)” (Garrido, 2018) surge como una solución a la ausencia de agua potable que afectaba a los habitantes de la urbanización Brisas del Darién, comunidad de 167 viviendas construidas para familias del municipio Carmen del Darién. Estas familias dependen de un sistema rudimentario de recolección de agua lluvia sin ningún tipo de potabilización, lo que expone a la población a enfermedades gastrointestinales. El acueducto municipal, que se plantea como alternativa, no es una opción, ya que no es suficiente la cobertura que ofrece, y el agua que este capta del río Atrato presenta alta carga de sedimentos y contaminantes como el mercurio, resultante de la minería ilegal. De acuerdo con lo anterior, este estudio de factibilidad se centra en la construcción de un acueducto para el sector que garantice acceso al agua potable en condiciones y mejorar la calidad de la salud pública.

El método que se empleó para la estructuración de esta investigación fue la Metodología Marco Lógico, enfoque que permite planificar y analizar el proyecto de manera organizada. El inicio se marcó con la identificación de un problema central, el análisis de su causa y efecto, organizados en un árbol de problemas. Con base en este diagnóstico, se elaboró un árbol de objetivos que permitiera definir las soluciones y los fines esperados. Se procedió a plantear y evaluar tres alternativas de solución, seleccionando la construcción de un acueducto para el sector de aguas lluvias como la opción más pertinente y viable en materia técnica, financiera y social. Así mismo, incluyó una proyección de población a 20 años para realizar el dimensionamiento de la infraestructura, un análisis de Stakeholders, y el uso de herramientas como AutoCAD para planos y una matriz de riesgos que prevenga contratiempos.

Como conclusión, el estudio arroja que la construcción del acueducto del sector de aguas lluvias es una solución factible. Con la implementación de este, se proyecta que alcanzará una cobertura del 100% de agua potable para las viviendas de la urbanización, beneficiando a 501 personas. Del mismo modo, se tendría un impacto en la salud de la población, con un estimado de reducción de 40% de enfermedades gastrointestinales. También generaría un impacto económico positivo a nivel local al generar oportunidades de empleo para los habitantes, tanto en la fase de construcción como en la fase de operación y mantenimiento del sistema.

La investigación titulada “Gobernanza del agua una mirada a la gestión comunitaria para el acceso y uso en la ruralidad. Caso acueducto rural de San José de Gacal, municipio de Ventaquemada, Boyacá” (Viasus, 2022) analizó los procesos de gobernanza comunitaria del agua y la influencia de esta para el acceso, uso y calidad del agua en la Asociación del Acueducto Rural San José del Gacal, en Ventaquemada. Se usaron entrevistas y herramientas participativas con la comunidad, junto con revisión de políticas y programas como enfoque cualitativo explorativo.

Este estudio revela la importancia del liderazgo de la junta directiva, el trabajo de los fontaneros y el capital social de la comunidad para la sostenibilidad del acueducto. A pesar de las limitaciones, el apoyo de la alcaldía y Corpochivor ha sido importante. Sin embargo, persisten deficiencias en la implementación de leyes nacionales para el adecuado funcionamiento de acueductos rurales y una alta dependencia del liderazgo del presidente de la junta.

Esta investigación concluye que la gestión comunitaria del agua realizada por el acueducto San José del Galcal ha sido fundamental para garantizar el acceso, uso y calidad del agua en la región. De igual manera, destaca la importancia de la participación comunitaria, el capital social y el apoyo institucional para la sostenibilidad de estos sistemas.

La investigación con título “Evaluación del estado actual de los acueductos rurales del municipio de Guática” (Hoyos, 2017) evalúa la situación actual de los acueductos rurales en Guática, Risaralda, para entender su realidad y los desafíos que estos enfrentan. Este estudio se centra en 36 acueductos rurales que abastecen a buena parte de la población del municipio. A pesar de la importancia para el consumo humano y el riego de cultivos, estos acueductos enfrentan problemas técnicos, administrativos, culturales y ambientales.

En este estudio revela que la mayoría de los acueductos son administrados por asociaciones de usuarios, pero la falta de organización, la inestabilidad en los cargos directivos y la baja capacidad de gestión limitan su eficiencia. Entre los problemas más comunes están el mal estado de la infraestructura, la contaminación de las fuentes de agua, la disminución del caudal, la falta de mantenimiento y la inestabilidad de los terrenos.

Como conclusión se tiene que es necesario fortalecer la gestión administrativa, realizar mejoras en la infraestructura, proteger las fuentes de agua y promover pedagogía ambiental que garantice la sostenibilidad de los acueductos rurales del municipio. Este estudio también destaca

la importancia de la participación de la comunidad y el apoyo de las instituciones para el desarrollo rural.

3.3. Marco teórico

3.3.1. *El derecho humano al agua como fundamento de la intervención*

La principal justificación para la construcción de un acueducto rural no se encuentra únicamente en intereses de desarrollo económico o de ingeniería, sino de un derecho fundamental ineludible, como lo es el derecho humano al agua. La intervención para la construcción de este es la materialización de un derecho fundamental cuya vulneración tiene consecuencias directas y medibles en salud pública y la dignidad de las comunidades rurales.

3.3.1.1 El contenido y alcance del derecho al agua en la doctrina internacional. El derecho humano al agua ha sido reconocido por la comunidad internacional como un punto clave para una vida digna. Este derecho, faculta a toda persona a disponer de agua suficiente, salubre, aceptable, físicamente accesible y asequible para su uso personal y doméstico.(COMITÉ DE DERECHOS ECONÓMICOS, 2003). Estos componentes son elementos normativos que deben ser satisfechos.

3.3.1.1.1. *Suficiencia.* El abastecimiento de agua para cada persona debe ser continuo y suficiente para cubrir usos personales y domésticos, que van desde la bebida, hasta la higiene personal (Pérez, 2009). La OMS estima que se necesitan entre 50 y 100 litros de agua por persona

al día para satisfacer dichas necesidades básicas sin que signifique un riesgo a la salud (Naciones Unidas, 2023).

3.3.1.1.2. Calidad. El agua debe ser segura para el consumo humano y sus otros usos domésticos, lo que significa que no debe tener microorganismos, sustancias químicas, y peligros radiológicos que constituyan una posible amenaza para la salud humana. Así mismo, debe tener un color, olor y sabor aceptables para los usuarios.

3.3.1.1.3. Accesibilidad. Este componente abarca cuatro aspectos cruciales:

- **Accesibilidad Física.** Las instalaciones y servicios de agua deben estar al alcance físico de todos los sectores de la población. Esto implica que la fuente de abastecimiento debe estar a una distancia razonable del hogar, el colegio y el lugar de trabajo.
- **Accesibilidad Económica.** El agua y sus servicios asociados se deben ofrecer bajo costos y cargos directos e indirectos que no comprometan la capacidad de las personas para adquirir otros bienes y servicios esenciales (RETACO et al., 2017).
- **No discriminación.** El acceso al agua se debe garantizar a todos, sin discriminación por motivos de raza, color, sexo, idioma, religión, opinión política, origen nacional o social, posición económica, nacimientos o cualquier otra condición.
- **Acceso a la información.** La accesibilidad incluye el derecho a solicitar, recibir y difundir información sobre las cuestiones del agua, lo que es importante para la participación y rendición de cuentas.

Tabla 1. Componentes del derecho humano al agua.

Componente	Definición normativa	Implicación para el proyecto rural
Disponibilidad	Suministro de agua continuo y suficiente para usos personales y domésticos (bebida, higiene, cocina). La OMS sugiere 50-100 litros/persona/día.	El diseño del acueducto debe garantizar un caudal que satisfaga la demanda actual y proyectada de la comunidad, asegurando la continuidad del servicio.

<i>Componente</i>	<i>Definición normativa</i>	<i>Implicación para el proyecto rural</i>
Calidad	El agua debe ser salubre, libre de contaminantes microbiológicos, químicos y radiológicos que amenacen la salud. Debe ser de color, olor y sabor aceptables.	El proyecto debe incluir una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) que asegure el cumplimiento de la normativa de calidad colombiana (Resolución 2115 de 2007).
Accesibilidad física	La fuente de agua y las instalaciones deben estar a una distancia y tiempo de recorrido razonables y seguros desde el hogar.	La alternativa seleccionada (acueducto veredal) debe proveer conexiones domiciliarias para eliminar la carga del acarreo de agua.
Accesibilidad económica	Los costos y tarifas del servicio no deben impedir el acceso a otros derechos (alimentación, vivienda). Deben ser asequibles para todos.	El modelo de gestión (JAAR) debe diseñar una estructura tarifaria que cubra los costos de AOM pero que sea asequible, considerando subsidios si es necesario.
No discriminación	El acceso debe ser garantizado a todos, especialmente a los grupos más vulnerables, sin distinción alguna.	El diseño de la red y las políticas de conexión deben asegurar que todos los hogares de la zona de influencia, sin excepción, puedan acceder al servicio.
Acceso a la información	Derecho a solicitar, recibir y difundir información sobre la gestión del agua, calidad y tarifas.	La gestión del proyecto y de la futura JAAR debe ser transparente, con asambleas periódicas y canales de comunicación abiertos con la comunidad.

Adaptado de (COMITÉ DE DERECHOS ECONÓMICOS, 2003)

3.3.1.2. Implicaciones en la salud pública, calidad del agua como determinante de bienestar. La vulneración del derecho al agua tiene una consecuencia directa, el deterioro de la salud pública. La falta de acceso a agua segura y saneamiento básico adecuado es una de las principales causas de enfermedad a nivel mundial (COMITÉ DE DERECHOS ECONÓMICOS, 2003). En Colombia y el mundo en general, las Enfermedades Transmitidas por el Agua (ETA), y, sobre todo, la Enfermedad Diarreica Aguda (EDA), son un problema de salud pública. Afectan de manera desproporcionada a las poblaciones más vulnerables, que son niños menores de cinco años, adultos mayores y personas con sistemas inmunes débiles (Julio et al., 2016).

Para cuantificar el riesgo asociado a la calidad del agua, Colombia usa el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA). Dicho índice, reglamentado por el Ministerio de Salud y Protección Social, consolida los resultados de análisis físicos, químicos y microbiológicos en un puntaje porcentual que se clasifica en cinco niveles, Sin Riesgo (0-5%), Bajo (5.1-14%), Medio (14.1-35%), Alto (35.1-80%) e Inviabile Sanitariamente (80.1-100%). Un agua que posea un IRCA

superior al 5% no es apta para consumo humano (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2020).

Los informes de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios revelan una importante brecha en la calidad del agua entre las zonas urbanas y rurales. Mientras el IRCA promedio en zonas urbanas entra en la categoría de “Riesgo Bajo”, el IRCA promedio en áreas rurales se ubica constantemente en la categoría de “Riesgo Alto”.

3.3.2. Contexto estratégico del abastecimiento de agua rural en Colombia

Este tipo de proyectos no se puede concebir de la nada, su pertinencia, viabilidad y potencial de impacto social dependen de la alineación con las estrategias de desarrollo y políticas públicas del país. La intervención no es un hecho aislado, sino la ejecución a nivel local de una política nacional para cerrar la brecha de desarrollo entre las zonas urbanas y rurales, cumplir con compromisos internacionales como los Objetivos de Desarrollo Sostenible, y utilizar el acceso al agua como un potenciador de desarrollo rural.

3.3.2.1. La brecha urbano – rural, un desafío persistente para el desarrollo equitativo.

Una de las características más persistentes de Colombia es la profunda desigualdad en las condiciones de vida y el acceso a oportunidades en comparación entre sus zonas urbanas y rurales. Esta brecha se manifiesta de forma dramática en la cobertura y calidad de los servicios públicos básicos, siendo el sector del agua potable y saneamiento básico uno de los ejemplos más notables (Muñoz Hernández, 2021).

Esta disparidad no es solo una estadística, es un factor determinante que perpetúa la pobreza y la inequidad en el país. La falta de acceso a agua segura y saneamiento limita las oportunidades

económicas, ya que se ve afectada la productividad agrícola y la salud de la fuerza laboral. Impone una carga desproporcionada a las mujeres y niñas, quienes tradicionalmente dedican tiempo a la recolección de agua, tiempo que se podría invertir en educación o actividades que promuevan la generación de ingresos (Organización Mundial de la Salud, 2023). Esta carencia de servicios básicos disminuye la calidad de vida y actúa como un factor de expulsión, incentivando la migración del campo a la ciudad. Al reconocer esta problemática, las inversiones en agua y saneamiento básico son consideradas de alto retorno económico y social, capaces de generar empleo y fortalecer economías locales (Plataforma Colombiana de Derechos Humanos Democracia y Desarrollo, 2022).

3.3.2.2. El agua como eje del desarrollo rural integral. Desde una perspectiva teórica más amplia, el acceso al agua debe entenderse no como un fin, sino como un eje transversal y potenciador para el desarrollo rural. El proveer agua potable genera consecuencias positivas que impactan múltiples dimensiones del bienestar y la productividad en el campo.

Un suministro de agua fiable y de calidad es un insumo fundamental para la agricultura, ganadería y el surgimiento de pequeñas agroindustrias. Al liberar la población de la carga de la enfermedad y de la recolección del agua en sitios lejanos, se aumenta la productividad laboral, por lo que, el proyecto contribuye al ODS 1 (fin de pobreza) y al ODS 2 (hambre cero).

Como lo mencionaba anteriormente la OMS, la carga de la recolección recae sobre las mujeres y niñas. El proveer un acueducto domiciliario libera a esta población de esa tarea, otorgándoles una mayor participación en la educación, vida comunitaria y actividades económicas. Además, los modelos de gestión comunitaria del agua se pueden convertir en escuelas de

democracia local y espacios que permitan el fortalecimiento del tejido social y cohesión comunitaria, contribuyendo al ODS 5 (igualdad de género).

3.3.3. Fundamentos técnicos y regulatorios para proyectos de acueductos rurales

Una vez establecidos los fundamentos normativos y estratégicos que justifican la inversión, es necesario abordar los aspectos prácticos que rigen el diseño y construcción del proyecto. La materialización del derecho al agua y de las políticas públicas depende de la creación de una infraestructura segura, funcional y duradera en el tiempo. En Colombia, esta dimensión está regulada por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS).

3.3.3.1. El RAS como norma práctica de ingeniería. Adoptado mediante la Resolución 0330 de 2017 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio es la norma técnica de obligatorio cumplimiento para planificación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de todos los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo en Colombia. Este reglamento reemplazó y actualizó la norma anterior (RAS 2000).

El objetivo principal del RAS es establecer requisitos, parámetros y procedimientos técnicos mínimos requeridos para garantizar la calidad, seguridad, durabilidad, eficiencia, sostenibilidad de la infraestructura.

Para la etapa de prefactibilidad, el RAS es relevante ya que define el procedimiento que debe seguirse para la formulación de proyectos. El Artículo 8 de la Resolución 330 establece una secuencia lógica de pasos a seguir que un estudio de esta naturaleza debe tener, entre los que se destacan:

- Diagnóstico detallado de la situación existente.
- Determinación de la población afectada y sus características socioculturales.

- Cuantificación de la demanda del agua.
- Análisis de la infraestructura existente.
- Definición clara del alcance y objetivos de intervención.
- Realización de estudios básicos para formulación de alternativas.
- Análisis y comparación de alternativas.
- Selección de alternativa viable.

Este procedimiento garantiza un enfoque sistemático y basado en evidencias, evitando así que los proyectos se diseñen basados en improvisación o sin información base relevante.

3.3.4. Gobernanza, sostenibilidad y gestión comunitaria del agua

La construcción de la infraestructura de un acueducto es solo uno de los varios pasos que hay que dar. La evidencia de proyectos de desarrollo en Colombia y otras partes del mundo demuestra que, el éxito de estas intervenciones no depende de lo técnico, sino de la fortaleza de las estructuras sociales y la gestión de la población beneficiaria.

3.3.4.1. El modelo de las juntas administradoras de acueductos rurales. En el contexto rural en Colombia, la prestación del servicio de agua potable en zona rural opera diferente a las zonas urbanas. La mayoría de los sistemas no son gestionados por grandes empresas de servicios públicos, sino por organizaciones comunitarias, conocidas como Juntas Administradoras de Acueductos Rurales (JAARs) (Guauque Torre, 2022).

Estas organizaciones, surge como respuesta autogestionada de las comunidades ante la ausencia del Estado, y han sido reconocidas y formalizadas por el marco legal colombiano. La Ley 142 de 1994 las contempla como organizaciones autorizadas para la prestación de servicios públicos domiciliarios en municipios menores y zonas rurales.

El modelo de las JAARs encarna la gestión comunitaria del agua (GCA), un enfoque donde la comunidad asume la responsabilidad directa de la administración, operación y mantenimiento (AOM) de su sistema de acueducto (RETACO et al., 2017). Este modelo de gobernanza ha demostrado ser un mecanismo eficaz para garantizar el acceso al agua, promover la equidad y construir tejido social en varias comunidades en todo el país (ASIR - SABA, 2018). Por lo tanto, cualquier proyecto de acueducto rural debe diseñarse no para la comunidad, sino con y por medio de ella, reconociendo a la JAAR como actor principal de la sostenibilidad de este tipo de proyectos a largo plazo.

3.3.4.2. Los pilares de la sostenibilidad para los acueductos comunitarios. La base de todo el sistema es la sostenibilidad social. Depende de la existencia de un fuerte capital social, junto con un sentido de propiedad colectiva sobre el acueducto y una participación comunitaria activa y democrática. La falta de apropiación comunitaria es una de las principales causas de fracaso de los proyectos. Este punto se materializa en la existencia de una JAAR con junta directiva legítima, estatutos claros, asambleas periódicas donde se ejecuten rendiciones de cuentas y se tomen decisiones de manera transparente y participativa (ASIR - SABA, 2018).

De igual manera, la comunidad debe poseer la capacidad técnica para operar y mantener la infraestructura. Este punto depende de dos factores: la selección de tecnologías apropiadas, y la implementación de un programa de capacitación y fortalecimiento de capacidades que van dirigidos tanto a operadores locales como a miembros de la junta directiva en temas técnicos, administrativos, contables y legales (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2021).

El estado cumple con sus obligaciones tales como financiar las grandes inversiones de capital, establecer el marco normativo y de políticas públicas, proveer asistencia técnica de alto nivel y ejercer su autoridad en la protección de cuencas hidrográficas.

La comunidad por medio de su JAAR asume el liderazgo de gestión del servicio, operación y mantenimiento preventivo, administración, fijación y recaudo de tarifas, atención a los usuarios y la toma de decisiones a nivel local. Con este modelo se aprovechan los recursos, escala y poder legal del Estado, junto con el conocimiento local, capital social y compromiso de la comunidad (RETACO et al., 2017).

3.3.5. La Metodología de Marco Lógico (MML) para la formulación de proyectos de inversión pública

Esta metodología es la que ofrece el cómo planificar, gestionar y evaluar el proyecto de manera coherente y enfocada a resultados. Se argumenta que la MML no es un solo requisito burocrático, sino una herramienta que transforma un problema complejo en una estrategia de intervención lógica, medible y gestionable, integrando los puntos teóricos en un plan coherente.

3.3.5.1. Fundamentos y racionalidad de la MML en la planificación para el desarrollo.

La Metodología de Marco Lógico es un enfoque sistemático y analítico usado en el mundo para la planificación, seguimiento y evaluación de proyectos y programas (Agencia Presidencial de Cooperación Internacional, 2021). Fue desarrollada para superar deficiencias comunes en la formulación de proyectos, tales como objetivos poco claros, lógica de intervención débil y una falta de indicadores para medir el éxito.

En el contexto colombiano, la MML es de gran importancia, ya que es la base conceptual de la Metodología General Ajustada (MGA), herramienta oficial y de uso obligatorio designada

por el Departamento Nacional de Planeación para formulación, registro y seguimiento de todos los proyectos de inversión pública que aspiran a recibir financiación del Estado (Dirección de Proyectos e Información para la Inversión Pública, 2023). Por consiguiente, el dominio de la MML/MGA es una competencia indispensable para cualquier gestor de proyectos públicos en el país.

3.3.5.2. El proceso analítico, de la identificación del problema a la selección de alternativa. La MML es un proceso analítico riguroso. La matriz final es el producto de una serie de pasos que se deben documentar en el estudio de prefactibilidad. Estos son:

3.3.5.1.1. Análisis de involucrados. El primer paso es identificar a los actores que tienen un interés en el proyecto o que pueden ser afectados por él. Esto incluye a los beneficiarios directos, posibles opositores, entidades gubernamentales, autoridades ambientales y el sector privado, entre otros. Este análisis es fundamental para anticipar y gestionar posibles riesgos sociales, generar alianzas y asegurar legitimidad y apropiación del proyecto (Lógico et al., 2011).

3.3.5.1.2. Análisis de problemas y el árbol de problemas. El proceso comienza con la definición de un único y bien delimitado problema central, que representa la situación negativa principal que el proyecto busca resolver. A partir de allí, se identifican de manera jerárquica sus causas directas e indirectas y sus efectos. El resultado es el árbol de problemas, donde se visualiza la red de relaciones que explican la situación problemática. Este ejercicio previene el error de diseñar proyectos que atacan los síntomas en vez de las causas raíz (Agencia Presidencial de Cooperación Internacional, 2021).

3.3.5.1.3. Análisis de objetivos y árbol de objetivos. Una vez diagnosticado el problema, el árbol de problemas se transforma en el árbol de objetivos. Esto se realiza convirtiendo cada enunciado negativo del árbol de problemas en un estado positivo que se alcanzaría si el problema fuera resuelto. El problema central se convierte en el propósito u objetivo general del proyecto. Las causas se transforman en medios. Los efectos se convierten en fines. Este árbol representa la situación futura deseada y la lógica de medios – fines para alcanzarla (Dirección de Proyectos e Información para la Inversión Pública, 2023).

3.3.5.1.4. Análisis de alternativas. El árbol de objetivos suele presentar varias ramas de medios que pueden conducir al propósito. Sin embargo, no siempre es posible abordarlas todas. En esta fase se agrupan conjuntos de medios coherentes en estrategias o alternativas de proyecto. Estas alternativas se evalúan y comparan utilizando criterios técnicos, financieros, sociales, ambientales y de riesgo para seleccionar la estrategia más eficiente y eficaz para la intervención.

3.3.5.3. La matriz de marco lógico (MML) como herramienta de síntesis y gestión. Los resultados de todo el proceso analítico anterior, se resume en la matriz de marco lógico, un cuadro que presenta de manera concisa el plan de proyecto y sirve como principal herramienta de gestión, monitoreo y evaluación.

Tabla 2. Estructura de la Matriz de Marco Lógico.

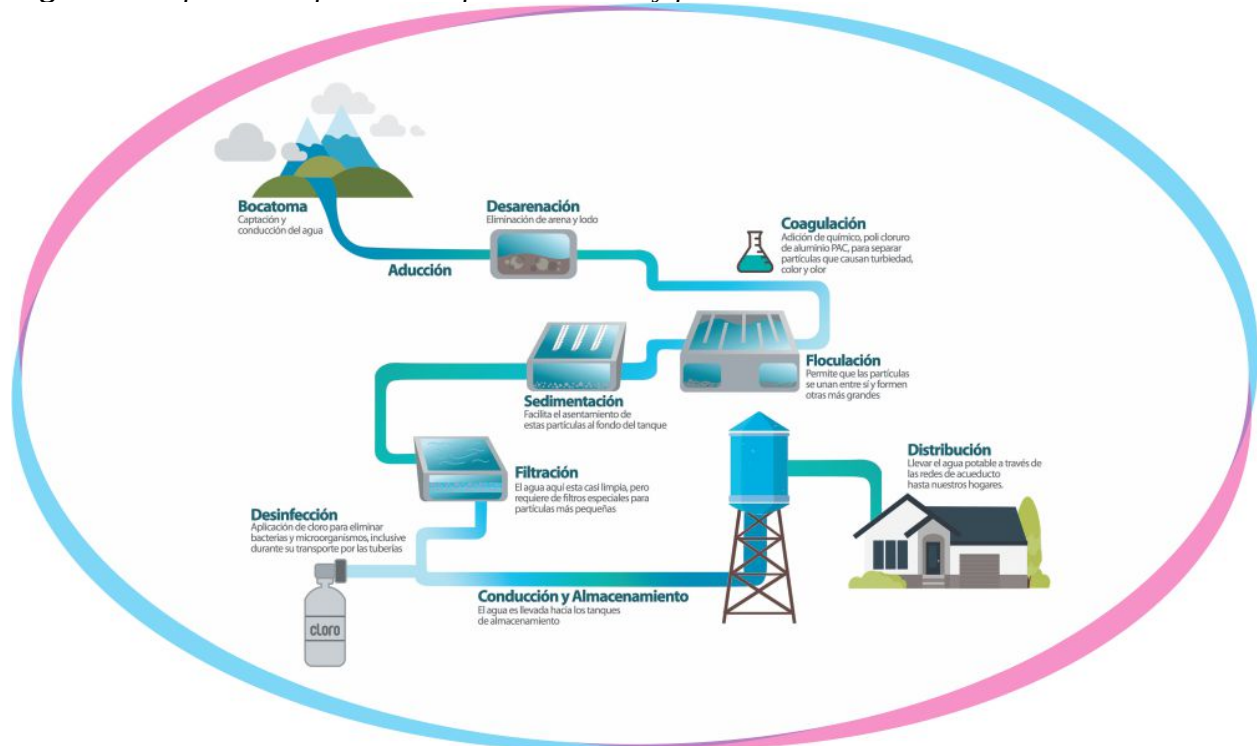
<i>Resumen narrativo de objetivos</i>	<i>Indicadores objetivamente verificables</i>	<i>Medios de verificación</i>	<i>Supuestos (riesgos)</i>
Fin	Indicadores de impacto que miden la contribución al objetivo superior.	Fuentes de información para los indicadores de Fin (ej.: estadísticas nacionales de salud, censos).	Condiciones externas necesarias para que el Propósito se traduzca en el Fin.
Propósito	Indicadores de resultado que miden el cambio en la	Fuentes de información para los indicadores de	Condiciones externas necesarias para que los

<i>Resumen narrativo de objetivos</i>	<i>Indicadores objetivamente verificables</i>	<i>Medios de verificación</i>	<i>Supuestos (riesgos)</i>
Componentes	población objetivo (ej.: % de hogares con acceso). Indicadores de producto que miden la cantidad y calidad de los entregables (ej.: km de tubería instalada, capacidad de la PTAP).	Propósito (ej.: encuestas, registros del prestador). Fuentes de información para los indicadores de Componentes (ej.: informes de interventoría, actas de entrega).	Componentes logren el Propósito. Condiciones externas necesarias para que las Actividades produzcan los Componentes.
Actividades	Presupuesto por actividad. Cronograma de ejecución.	Informes de avance, facturas, registros contables.	Condiciones externas necesarias para iniciar y ejecutar las Actividades.

La MML se convierte en el sistema central del proyecto. Conecta el por qué, que se traduce en el fin y el propósito, con el qué, que son los componentes diseñados según el RAS, y el cómo, que serían las actividades. Este instrumento integra todos los puntos teóricos en un plan de acción coherente, transparente, gestionable y medible.

3.3.6. Componentes y funcionamiento de un sistema de acueducto rural

Es necesario entender la secuencia técnica que transforma el agua de un recurso natural a un servicio seguro y confiable hasta la residencia del usuario, para comprender la materialización de los marcos normativos, estratégicos y de sostenibilidad. En un sistema de acueducto cada componente cumple una función específica y esencial, los cuales garantizan que el agua llegue a su destino en condiciones óptimas de calidad y continuidad.

Figura 2. Esquema del proceso de potabilización y partes de un acueducto hasta su distribución.

Tomado de Centro Aguas (2024)

3.3.6.1. Fuente y captación. Los sistemas de acueducto comienzan con una fuente de agua. La selección es un paso que requiere estudios de disponibilidad y calidad de agua para asegurar un suministro sostenible. Una vez identificada, se construye la estructura de captación o bocatoma diseñada para transferir el agua de la fuente e introducirla al sistema. Esta estructura debe diseñarse para operar en diferentes condiciones de caudal y para minimizar la entrada de sedimentos gruesos, hojas y otros materiales.

3.3.6.2. Pretratamiento y aducción. El agua cruda generalmente, por sus condiciones al momento de captación, debe pasar por una unidad de pretratamiento. El desarenador es una estructura diseñada para remover por gravedad las partículas más pesadas como arena y grava que lograron pasar la captación. Su función es proteger las tuberías y equipos posteriores de abrasión

y sedimentación. Luego, el agua es transportada por una línea de aducción, que es una tubería que conduce el agua desde la captación y el desarenador hasta la planta de tratamiento.

3.3.6.3. Planta de tratamiento de agua potable (PTAP). La PTAP es el corazón del sistema, donde el agua cruda se transforma en agua apta para el consumo humano. El objetivo de la PTAP es eliminar los contaminantes físicos, químicos y microbiológicos para cumplir con los estándares de calidad exigidos por la normativa colombiana, lo que se traduce en un Índice de Riesgo de Calidad del Agua (IRCA) clasificado como “Sin Riesgo”. Una PTAP puede incluir varios procesos unitarios:

3.3.6.1.1. Coagulación y floculación. Se añaden productos químicos (coagulantes) con el fin de desestabilizar las partículas coloidales (arcillas, materia orgánica) y agruparlas en flóculos más grandes y pesados.

3.3.6.1.2. Sedimentación. Los flóculos formados se asientan por gravedad en tanques de sedimentación, clarificando el agua.

3.3.6.1.3. Filtración. El agua pasa a través de lechos de material granular que retienen las partículas más finas que no se sedimentaron.

3.3.6.1.4. Desinfección. Es el paso final, donde se añade un desinfectante, usualmente cloro, que elimina los microorganismos patógenos.

La complejidad de la PTAP y las tecnologías utilizadas deben ser apropiadas para el contexto rural, considerando la capacidad técnica y financiera de la comunidad para su operación y mantenimiento.

3.3.6.4. Almacenamiento y medición. Una vez tratada, el agua potable pasa por un sistema de macro medición, que es un contador que registra el volumen total de agua que ingresa al sistema de distribución, siendo una herramienta importante para el control de la producción y la gestión de pérdidas de agua en la red.

Posteriormente, el recurso se almacena en un tanque de almacenamiento. Este tanque cumple tres funciones, tales como compensar las variaciones entre el caudal de producción de la PTAP y la demanda de la comunidad, garantizar la continuidad del servicio durante emergencia o mantenimientos, y proporcionar la presión necesaria para que el agua llegue a los hogares.

3.3.6.5. Red de distribución y conexión domiciliaria. Desde el tanque de almacenamiento, el agua se distribuye por medio de las redes, que son sistemas de tuberías de diferentes diámetros que recorren la comunidad. Finalmente se realiza la conexión a cada vivienda, en donde se instala un medidor individual, que registra el consumo específico de cada hogar. Esta medición es esencial para una facturación basada en el consumo real e incentivar el uso racional y eficiente del agua por parte de los usuarios.

3.4. Marco legal

CONPES 3810: política para el suministro de agua potable y saneamiento básico en la zona rural

Ley 142 de 1994: establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios, así como de actividades que realicen las personas que los presten.

Ley 286 de 1996: por la cual se modifican parcialmente las Leyes 142 y 143 de 1994.

Ley 373 de 1997: por la cual se establece el Programa del uso eficiente y ahorro del agua.

Decreto 1873 de 2012: por el cual se reglamenta el artículo 250 de la Ley 1450 de 2011, se crea el Mecanismo Departamental de Evaluación, Viabilización y Aprobación de Proyectos del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico priorizados en el marco de los Planes Departamentales de Agua y de los programas regionales y/o departamentales que implemente el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, se establecen sus requisitos y se dictan otras disposiciones.

Decreto 3050 de 2013: por el cual se establecen las condiciones para el trámite de las solicitudes de viabilidad y disponibilidad de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado.

Resolución 2115 de 2007: política que señala características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

Resolución 0494 de 2012: por el cual se establecen los lineamientos para la implementación del programa de conexiones intradomiciliarias de los servicios de acueducto y alcantarillado.

Resolución 0693 de 2012: por la cual se Adopta la Guía de que trata el artículo 14 del Decreto 1873 de 2012 (mecanismo departamental de evaluación y viabilización de proyectos del sector de agua potable y saneamiento básico en el marco de los Planes Departamentales de Agua y los demás Programas regionales para el manejo de agua potable y saneamiento básico).

Resolución 0330 del 2017 (RAS): reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico.

4. Análisis de interesados – involucrados

Tabla 3. Análisis de interesados para el proyecto de construcción de acueducto en zona rural de Bucaramanga.

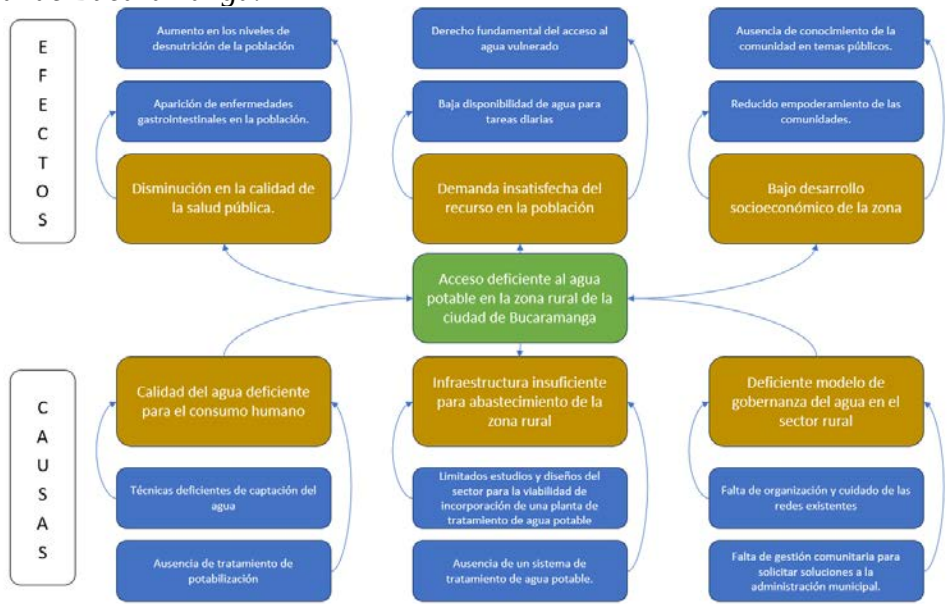
Interesado	Descripción	Expectativas	Influencia	Interés	Posición frente al proyecto	Estrategia de gestión
Comunidad rural	Habitantes de las veredas beneficiadas por el proyecto.	Acceso a agua potable de calidad, mejora en la salud y calidad de vida, participación en la toma de decisiones.	Alta	Alto	Beneficiario, gestor	Comunicación constante, participación ciudadana, transparencia en la gestión del proyecto.
Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (AMB)	Es la entidad encargada de la prestación del servicio de acueducto en la ciudad.	Suministro de agua potable de calidad, sostenibilidad del proyecto, viabilidad técnica y financiera.	Alta	Alto	Ejecutor	Coordinación interinstitucional, asistencia técnica, participación en la planificación y ejecución del proyecto.
Alcaldía de Bucaramanga	Gobierno local responsable del desarrollo del proyecto.	Cumplimiento de los objetivos del Plan de Desarrollo Municipal, mejora en la calidad de vida de la población rural, viabilidad del proyecto.	Alta	Alto	Ejecutor	Liderazgo en la gestión del proyecto, asignación de recursos, coordinación interinstitucional.
Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	Entidad gubernamental responsable de la política de agua potable y saneamiento básico.	Cumplimiento de la normativa vigente, sostenibilidad del proyecto, impacto social y ambiental.	Media	Media	Asesor técnico	Asesoría técnica, supervisión del proyecto, aprobación de recursos.
Organizaciones no gubernamentales (ONG)	Entidades que trabajan en temas de desarrollo rural y agua potable.	Impacto social y ambiental positivo, participación comunitaria, sostenibilidad del proyecto.	Media	Media	Veeduría	Alianzas estratégicas, participación en la ejecución del proyecto, monitoreo y evaluación.
Sector privado	Empresas que pueden participar en la construcción y operación del acueducto.	Rentabilidad del proyecto, cumplimiento de los contratos, estabilidad jurídica.	Media	Media	Ejecutor	Contratos transparentes, participación en licitaciones, diálogo público-privado.

Academia	Universidades y centros de investigación que pueden aportar conocimiento técnico.	Generación de conocimiento, investigación aplicada, formación de talento humano.	Baja	Media	Asesor técnico	Convenios de cooperación, participación en estudios técnicos, difusión de resultados.
Medios de comunicación	Prensa, radio y televisión que pueden difundir información sobre el proyecto.	Acceso a información, objetividad en la información, transparencia en la gestión del proyecto.	Media	Baja	Difusor, veeduría	Ruedas de prensa, comunicados de prensa, participación en eventos públicos.

5. Análisis del problema

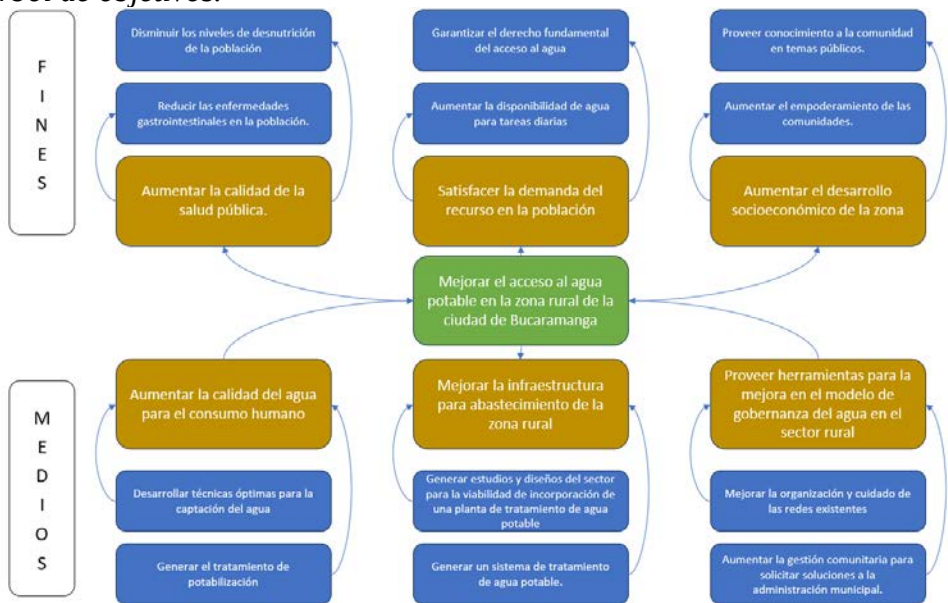
5.1. Modelo árbol de problemas

Figura 3. Modelo de árbol de problemas de acuerdo con el proyecto de construcción de acueducto en zona rural de Bucaramanga.



6. Análisis de objetivos

Figura 4. Árbol de objetivos.



7. Análisis de alternativas

7.1. Identificación de alternativas

Teniendo como base el problema central, que es de “Acceso deficiente al agua potable en la zona rural de la ciudad de Bucaramanga”, transformado en objetivo como “Mejorar el acceso del agua potable en la zona rural de la ciudad de Bucaramanga”, se plantean 3 alternativas identificadas que pueden servir como solución a la problemática anteriormente presentada, para ser desarrolladas en este proyecto:

La primera alternativa es la de la construcción de un nuevo acueducto veredal con planta de tratamiento de agua potable. Esta alternativa incluye en su desarrollo la selección de una fuente hídrica que tenga caudal suficiente, construcción de una bocatoma, planta de tratamiento que cumpla con los estándares de calidad del agua, tanques de almacenamiento y redes de conducción y distribución para las viviendas de la zona de influencia.

La segunda alternativa consiste en instalar puntos comunitarios de abastecimiento de agua, también conocidos como pilas públicas, que serían surtidos regularmente mediante carrotanques o conectados a una fuente de agua mejorada cercana. El acceso sería comunal y no domiciliario, por lo que se vería incluido el transporte de este recurso a las viviendas de cada habitante del sector.

La tercera alternativa se enfoca en mejorar los componentes de los sistemas de acueducto que puedan existir en algunas de las veredas, aunque sean precarios o parciales. Incluiría la reparación de fugas, limpieza de tanques existentes, mejora de pequeñas captaciones, y la posible adición de sistemas de tratamiento básicos donde no existan, buscando maximizar la eficiencia de lo ya instalado, siendo esta una limitante.

7.2. Evaluación de alternativas

A continuación, se presenta una evaluación preliminar de las alternativas identificadas, considerando los criterios relevantes para un proyecto de infraestructura de suministro de agua potable.

Tabla 4. Evaluación preliminar de alternativas identificadas teniendo en cuenta criterios relevantes

Criterio	Alternativa 1: acueducto veredal con PTAP convencional	Alternativa 2: pilas públicas	Alternativa 3: mantenimiento y optimización de infraestructura existente
Técnico	Solución robusta y completa. Mayor complejidad en diseño, construcción (PTAP, redes extensas) y operación.	Solución de menor complejidad técnica para los puntos de suministro. Dependencia logística alta (carrotaques) o de fuente cercana. Calidad del agua depende de la fuente y tratamiento en punto/carrotaque.	Complejidad variable según el estado de la infraestructura. Puede no resolver problemas de fondo si las fuentes son inadecuadas o la cobertura es muy limitada. Potencial de mejora limitado por lo existente.
Localización	Condicionada por fuente superficial y topografía para distribución.	Ubicación de pilas en puntos estratégicos de fácil acceso comunitario.	Limitada a las zonas donde ya existe alguna infraestructura. Mejoras puntuales.
Mercado (demanda)	Satisface la demanda domiciliar de manera integral y continua. Permite expansiones futuras.	Satisface una demanda básica comunitaria. Implica acarreo de agua por parte de los usuarios. No cubre necesidades domiciliarias plenamente.	Mejora parcial del suministro existente. Puede no cubrir la totalidad de la demanda ni asegurar continuidad o calidad óptima en todas las zonas.
Financiero	Altos costos de inversión inicial (\$1.273.500.892,76 aprox. Según Apéndice D). Costos de operación y mantenimiento moderados a altos (PTAP, personal).	Menor costo de inversión para las pilas (\$513.414.836,50 según Apéndice D). Operación y mantenimiento pueden ser altos si depende de carrotaques (combustible, personal). Costo del agua puede ser elevado para la comunidad.	Costo de inversión variable (desde \$ 39.184.651,52 hasta \$ 2.818.541.218,00 según Apéndice D), potencialmente menor si las intervenciones son puntuales. Operación y mantenimiento puede reducirse si se corrigen ineficiencias, pero puede aumentar si se añaden tratamientos.
Análisis ambiental	Posible impacto en fuente superficial, generación de lodos en PTAP. Requiere licencia ambiental para captación y PTAP.	Menor impacto ambiental directo si el agua proviene de fuentes sostenibles y tratadas. Huella de carbono si se usan carrotaques frecuentemente.	Impacto ambiental generalmente bajo, enfocado en la optimización. Si se mejoran fuentes o se añaden tratamientos, pueden surgir pequeños impactos gestionables.
Análisis jurídico	Requiere concesión de aguas, servidumbres, licencias de construcción	Requiere permisos para ubicación de pilas, acuerdos comunitarios, compra de	Puede requerir actualización de permisos existentes o nuevos para intervenciones mayores

<i>Criterio</i>	<i>Alternativa 1: acueducto veredal con PTAP convencional</i>	<i>Alternativa 2: pilas públicas</i>	<i>Alternativa 3: mantenimiento y optimización de infraestructura existente</i>
	y ambientales, y compra de predios.	predios. Si se usa carrotanque, asegurar calidad del agua transportada según normativa.	(ej. nuevo punto de tratamiento).
Sostenibilidad social	Alto impacto en calidad de vida. Requiere organización comunitaria para administración, operación, mantenimiento y pago de tarifas. Equidad en acceso.	Mejora el acceso básico. Riesgo de conflictos por uso/mantenimiento de pilas. No elimina la carga del acarreo (usualmente mujeres/niños).	Aceptación comunitaria generalmente buena si ven mejoras. Requiere fortalecer la organización existente o crearla para la administración, operación, mantenimiento de las mejoras. Puede persistir inequidad si no todos se benefician.
Tiempo de implementación	Mayor tiempo debido a estudios, diseños complejos y construcción.	Tiempo de implementación relativamente corto para la instalación de las pilas.	Tiempo variable, generalmente corto a mediano para mantenimientos y optimizaciones puntuales.

7.3. Selección de la alternativa de solución

Posterior a la evaluación de las alternativas bajo los criterios establecidos, y considerando el objetivo del proyecto de lograr una solución sostenible y de alto impacto para el acceso deficiente al agua potable en la zona rural de la ciudad de Bucaramanga, se selecciona la alternativa 1, que consiste en la construcción de un nuevo acueducto veredal con planta de tratamiento de agua potable convencional.

Si bien la alternativa 2, relacionada con la construcción de las pilas públicas ofrece una solución rápida y de menor inversión inicial, no resuelve de manera integral y sostenible la necesidad de acceso domiciliario a agua potable de calidad, manteniendo la carga del acarreo de agua en las familias y presentando desafíos logísticos y de costo a largo plazo si depende de carrotanques. Su impacto en la salud y calidad de vida es limitado en comparación con el acceso del servicio dentro de las viviendas.

La alternativa 3 de realizar mantenimiento y optimización de la infraestructura existente, aunque importante y potencialmente complementaria, por sí sola es insuficiente para abordar la

magnitud del problema descrito en el diagnóstico. La infraestructura existente es limitada en cobertura para que su sola optimización garantice un acceso equitativo y de calidad a toda la población objetivo, teniendo como limitante lo mencionado, de que solo se puede intervenir en donde ya exista infraestructura.

La alternativa 1, a pesar de su mayor costo inicial y complejidad, es la única que ofrece una solución estructural y a largo plazo, garantizando el suministro de agua potable directamente en las viviendas, con control de calidad mediante una PTAP, y promoviendo el empoderamiento comunitario para una gestión sostenible. Esta alternativa tiene el mayor potencial para mejorar significativamente la salud pública, la calidad de vida y fomentar el desarrollo socioeconómico de la zona rural, alineándose de manera más completa con el fin y propósito del proyecto. Se considera que los beneficios a largo plazo en términos de salud, equidad y desarrollo justifican la inversión y el esfuerzo técnico y social requerido.

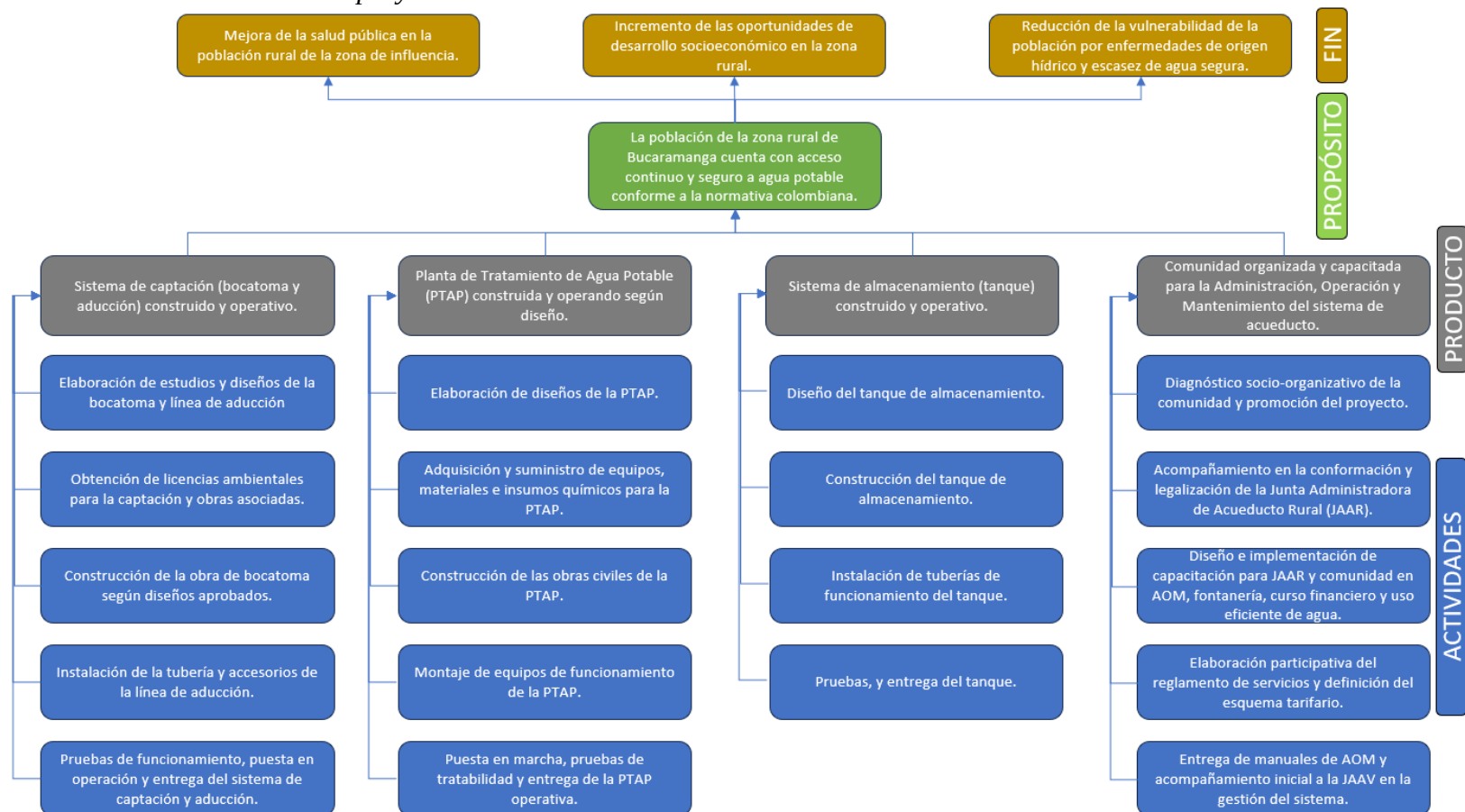
Tabla 5. *Matriz de evaluación de alternativas de solución*

<i>Factor de Análisis</i>	<i>Ponderación</i>	<i>Elementos de Análisis</i>	<i>Ponderación elemento</i>	<i>Alternativa 1: acueducto veredal</i>		<i>Alternativa 2: pilas públicas</i>		<i>Alternativa 3: mantenimiento</i>	
				<i>0-10</i>	<i>Calificación Ponderada</i>	<i>0-10</i>	<i>Calificación Ponderada</i>	<i>0-10</i>	<i>Calificación Ponderada</i>
Pertinencia	15%	Con el plan de desarrollo nacional/departamental/municipal	100%	10	1,5	7	1,1	6	0,9
Coherencia	15%	Relación entre problema y solución propuesta	50%	10	0,8	3	0,2	4	0,3
		Relación entre el fin y el propósito	50%	10	0,8	4	0,3	5	0,4
		Técnica	30%	7	0,4	9	0,5	8	0,5
Viabilidad	20%	Financiera	25%	6	0,3	7	0,4	8	0,4
		Social	20%	9	0,4	5	0,2	6	0,2
		Ambiental	15%	7	0,2	8	0,2	9	0,3
		Jurídica	10%	6	0,1	9	0,2	8	0,2
		Técnica	25%	9	0,5	4	0,2	5	0,3
Sostenibilidad	20%	Financiera	25%	8	0,4	2	0,1	4	0,2
		Social	30%	9	0,5	3	0,2	5	0,3
		Ambiental	10%	8	0,2	6	0,1	7	0,1
		Política	10%	8	0,2	5	0,1	6	0,1
		Contribuirá a mejorar la calidad de vida	50%	10	1,5	4	0,6	5	0,8
Impacto	30%	El impacto que generará es significativo	50%	10	1,5	3	0,5	4	0,6
		Total calificación ponderada			9,1		4,8		5,5

8. Construcción del modelo analítico del proyecto

8.1. Estructura analítica

Figura 5. Estructura analítica del proyecto.



8.2. Matriz de marco lógico

Tabla 6. Matriz de Marco Lógico para el proyecto de construcción de acueducto en zona rural de Bucaramanga.

Resumen	Indicadores	Medios de verificación	Supuestos
Fin. Contribuir a la mejora de la calidad de vida y reducción de enfermedades de origen hídrico en la población de la zona rural beneficiaria de Bucaramanga. Propósito. La población de las veredas El Pablón, La Sabana, San Ignacio, La Esmeralda y Vijagual de la zona rural de Bucaramanga cuenta con acceso continuo y seguro a agua potable conforme a la normativa colombiana. Componentes o productos. 1. Sistema de captación (bocatoma y aducción) construido y operativo. 2. Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) construida y operando según diseño. 3. Tanque de almacenamiento construido y operativo. 4. Componente social y de fortalecimiento comunitario para la AOM del sistema desarrollado.	-Tasa de Incidencia de Enfermedades Diarreicas Agudas (EDA) en la zona de influencia reducida en un 20% a los 5 años de finalizado el proyecto. -Encuestas de percepción sobre calidad de vida mejorada en un 30% a los 5 años. -Al finalizar el proyecto, el 80% de los hogares de las veredas El Pablón, La Sabana, San Ignacio, La Esmeralda y Vijagual tienen conexión intradomiciliaria funcional al nuevo acueducto. -El 99% del agua suministrada por el nuevo acueducto cumple con los parámetros de la Resolución 2115 de 2007. -1.1: Bocatoma con capacidad de 7,91 l/s construida. -2.1: PTAP con capacidad de tratamiento de 7,91 l/s operando y removiendo el 99% de turbiedad. -3.1: Tanque de capacidad suficiente construido y en operación. -4.1: Una Junta Administradora de Acueducto Rural (JAAR) conformada y capacitada. 100% de usuarios capacitados en uso eficiente.	-Registros del sistema de salud local (SIVIGILA). -Encuestas socioeconómicas y de percepción realizadas por entidad independiente. -Registros de la empresa de servicios públicos o Junta Administradora del Acueducto Rural (JAAR). -Informes de laboratorio sobre calidad del agua. -Actas de inspección de viviendas. -1.1, 2.1, 3.1: Actas de entrega y recepción de obras, informes de interventoría, pruebas de funcionamiento. -4.1: Actas de constitución de la JAAR, registros de asistencia a capacitaciones, estatutos de la JAAR.	-Prácticas adecuadas de higiene por parte de la población. -Uso responsable del agua de parte de la comunidad. -Condiciones socioeconómicas estables que permitan el mantenimiento y sostenibilidad del acueducto. -Disposición comunitaria para conexión al nuevo sistema. -Compromiso con los tiempos de pago. -Elaboración de tarifa sostenible y justa. -Ejecución de gestión predial y legal que no afecte la fase de implementación. -Fuente hídrica mantiene el caudal y calidad esperados a lo largo del tiempo. -Condiciones geotécnicas sin alteraciones por posibles eventos sísmicos. -Disponibilidad en el mercado de los insumos y equipos para la puesta en operación de los componentes del acueducto.

<i>Resumen</i>	<i>Indicadores</i>	<i>Medios de verificación</i>	<i>Supuestos</i>
Actividades			
1.1.1 Estudios y diseños detallados de bocatoma y aducción.			
1.1.2. Trámites de permisos y licencias para captación.			
1.1.3. Construcción de bocatoma.			
1.1.4. Instalación de tubería de aducción.			
2.1.1. Estudios y diseños detallados de la PTAP.			-Condiciones climáticas favorables durante la construcción.
2.1.2. Adquisición de equipos y materiales para la PTAP.	-% de avance de cada actividad según cronograma.		-Entrega de materiales y equipos por parte de proveedores a tiempo.
2.1.3. Construcción de obras civiles de la PTAP.	-Presupuesto ejecutado vs. presupuestado para cada actividad	-Informes mensuales de avance del proyecto.	-Gestión efectiva y cumplimiento de acuerdos con la comunidad que permitan la ejecución fluida del proyecto.
2.1.4. Montaje de equipos y puesta en marcha de la PTAP.	-Evaluaciones de desempeño del contratista de obra.	-Facturas y órdenes de compra.	-Flujo de recursos según lo programado.
3.1.1 Diseños detallados del tanque de almacenamiento	-Seguimiento a Indicadores de Cumplimiento de acuerdo con el Plan de Calidad.	-Planos aprobados.	
3.1.2 Construcción del tanque			
3.1.3 Instalación de tuberías de funcionamiento del tanque			
4.1.1 Diagnóstico de la comunidad			
4.1.2 Acompañamiento en conformación de JAAR			
4.1.3 Diseño e implementación de capacitación a la JAAR			
4.1.4 Elaboración participativa de reglamento y tarifa			
4.1.5 Entrega de manuales y acompañamiento en gestión inicial			

8.3. Resumen narrativo

8.3.1. *Fin*

El fin del proyecto es contribuir a la mejora de las condiciones de salud pública y la calidad de vida general de los habitantes de las veredas seleccionadas en la zona rural de Bucaramanga. Esto se logrará a través de la reducción de aparición de enfermedades gastrointestinales transmitidas por la baja calidad del agua y el bienestar general percibido que proporciona el acceso a un servicio básico esencial intradomiciliario.

8.3.2. *Propósito*

El proyecto logrará que las veredas objetivo en la zona rural de Bucaramanga disponga de un acceso constante a agua potable que cumpla con los estándares de calidad establecidos por la normativa colombiana. Este cambio se muestra como la solución directa al problema de acceso deficiente del recurso.

8.3.3. *Componentes o productos*

Para alcanzar el propósito de este proyecto, se entregarán los siguientes componentes o productos:

- Sistema de captación (bocatoma y aducción) construido y operativo: estructura cuya función principal es la de la toma del agua cruda de la fuente escogida y su transporte a la planta de tratamiento.
- Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) construida y operando: instalación con la capacidad de tratamiento del agua cruda, cuyo producto esté de acuerdo con la normativa colombiana (resolución 2115 del 2007), removiendo impurezas y patógenos, que garanticen su consumo del recurso potabilizado.

- Tanque de almacenamiento construido y operativo: estructura que almacena el agua previamente tratada, garantizando la continuidad del servicio ofreciendo disponibilidad del recurso
- Componente social y de empoderamiento comunitario para la Administración, Operación y Mantenimiento (AOM) del sistema desarrollado: una comunidad organizada, capacitada y empoderada, conformada usualmente a través de una Junta Administradora de Acueducto Rural (JAAR), capaz de realizar las gestiones necesarias para garantizar la sostenibilidad del acueducto.

8.3.3.1. Entregables.

- Sistema de captación: diseños finales de bocatoma y aducción, bocatoma construida, tubería de aducción, todo con pruebas ejecutadas.
- Planta de tratamiento de agua potable (PTAP): diseños finales de PTAP, PTAP construida, equipos instalados y probados, junto con el manual de operación de la PTAP.
- Tanque de almacenamiento: diseños finales del tanque, tanque construido con sus pruebas ejecutadas.
- Componente social y empoderamiento comunitario: diagnóstico socio-organizativo, JAAR legalmente constituida y con estatutos, plan de capacitación ejecutado, modelo tarifario justo definido y socializado a la comunidad.

8.3.3.2. Actividades.

- Sistema de captación: levantamientos topográficos, estudios de cuencas hidrológicas, diseño estructural de bocatoma, gestión de licenciamiento ambiental y de aguas, construcción de obras civiles de bocatoma, suministro e instalación de tuberías de aducción.
- Planta de tratamiento de agua potable (PTAP): estudios de tratabilidad del agua, flujograma de procesos de la PTAP, diseño estructural de la PTAP, adquisición e instalación de sistemas de potabilización del agua junto con pruebas de laboratorio.

- Tanque de almacenamiento: diseño estructural y acabados del tanque, construcción del tanque, instalación de accesorios de entrada, salida y control.
- Componente social y empoderamiento comunitario: talleres de sensibilización y socialización, asambleas comunitarias, asesoría legal para conformación de JAAR, capacitación en fontanería básica, administración y gestión de empresas, operación de PTAP, establecimiento de tarifas.

8.4. Indicadores

8.4.1. Indicadores de propósito

- Número y porcentaje de viviendas con acceso a agua potable de calidad en las veredas beneficiadas al finalizar el proyecto.
- Continuidad del servicio producto del promedio de horas diarias de suministro de agua potable por vivienda.
- Nivel de satisfacción de los usuarios con el nuevo servicio de acueducto (medido a través de encuestas).

8.4.2. Indicadores de componentes

- Sistema de captación: caudal de diseño de la bocatoma (L/s) logrado. Longitud de la línea de aducción (km) instalada.
- Planta de tratamiento de agua potable (PTAP): capacidad de tratamiento de la PTAP (L/s) instalada y porcentaje de remoción de turbiedad del agua cruda.
- Tanque de almacenamiento: volumen útil del tanque de almacenamiento (m³) construido.

- Componente social y empoderamiento comunitario: número de miembros de la JAAR capacitados en AOM. Porcentaje de recaudo de la tarifa establecida a los 6 meses de operación.

8.4.3. Indicadores de actividades

- Número de diseños técnicos elaborados y aprobados.
- Número de permisos y licencias obtenidos.
- Porcentaje de avance físico de las obras civiles (bocatoma, PTAP, tanque).
- Número de talleres de capacitación realizados y número de asistentes.
- Evaluaciones de desempeño
- Control de indicadores de calidad
- Presupuesto ejecutado por actividad.

8.5. Medios de verificación

8.5.1. Fin

Informes epidemiológicos de la Secretaría de Salud, encuestas de línea base y post-proyecto.

8.5.2. Propósito

Informes de interventoría, actas de conexión de usuarios, resultados de análisis de calidad del agua emitidos por laboratorio acreditado, encuestas de satisfacción.

8.5.3. Componentes

- Componentes 1, 2 y 3 (Bocatoma, PTAP y Tanque): Actas de inicio y finalización de obras, informes de supervisión técnica (diarios, semanales y mensuales), planos "as built",

certificados de calidad de materiales, hoja de vida de las estructuras (registros fotográficos del proceso constructivo), informes de pruebas de funcionamiento, dossier final de proyecto.

- Componente 4 (Componente social y empoderamiento comunitario): Actas de asamblea comunitaria, estatutos registrados de la JAAR, listados de asistencia a capacitaciones de la comunidad, manuales y guías entregadas, informes de socialización del esquema tarifario.

8.5.4. Actividades

Informes de avance del contratista y de la interventoría, facturas, comprobantes de pago, cronogramas actualizados, registros de asistencia, documentos de licencias y permisos.

8.6. Supuestos

8.6.1. A nivel de fin

- Las condiciones socioeconómicas de la región no se deterioran, permitiendo que el acceso al agua se traduzca en una mejor calidad de vida.
- Existencia de programas complementarios de saneamiento básico y promoción de la higiene y el uso responsable del agua en la zona.

8.6.2. A nivel de propósito.

- La comunidad valora el servicio y está dispuesta a realizar un uso racional del agua.
- La entidad prestadora del servicio (JAAR o municipal) realiza una gestión técnica y financiera adecuada para garantizar la continuidad y calidad.

- No ocurren eventos naturales extremos (terremotos, inundaciones severas) que destruyan la infraestructura recién construida.

8.6.3. *A nivel de componentes*

- La fuente de agua seleccionada no sufre una disminución drástica de su caudal ni un deterioro significativo de su calidad debido a factores externos (deforestación aguas arriba, contaminación industrial/agrícola no prevista).
- Se consigue la adquisición o los permisos de servidumbre para los terrenos donde se construirá la infraestructura.
- Hay disponibilidad de los materiales, equipos y personal calificado requerido.
- La comunidad participa activamente en los procesos de socialización, conformación de la JAAR y capacitación.

8.6.4. *A nivel de actividades*

- El flujo de recursos financieros del proyecto se mantiene según lo planificado.
- Las condiciones climáticas son favorables y no generan retrasos significativos en las obras.
- No surgen conflictos sociales o de orden público que impidan el acceso a las zonas de trabajo.
- Los procesos de contratación y adquisición de bienes y servicios se realizan de manera transparente y eficiente

9. Recursos humanos, materiales y económicos

Para la ejecución de este proyecto, se requiere un amplio recurso humano, ya que debe tenerse en cuenta la parte de planeación, construcción, seguimiento y control, y cierre y puesta en operación. Teniendo en cuenta lo anterior, como mínimo, es requerido tener el siguiente equipo:

- Equipo administrativo del proyecto: director, Ingeniero Residente, Profesional Social, Profesional Ambiental, Administrador de Obra.
- Equipo de diseño: ingenieros con especialidad en hidráulica, ingeniero estructural, ingeniero geotécnico, ingeniero sanitario, ingeniero de automatización.
- Personal de obra: maestros, oficiales, ayudantes, operarios de maquinaria pesada.
- Interventoría: profesionales que conforman el equipo que se encargará de supervisar y controlar la calidad del proyecto.

En cuanto a recursos materiales se refiere, es requerido incluir tanto los materiales a usar en obra como en oficina para la construcción y gestión del proyecto, siendo así:

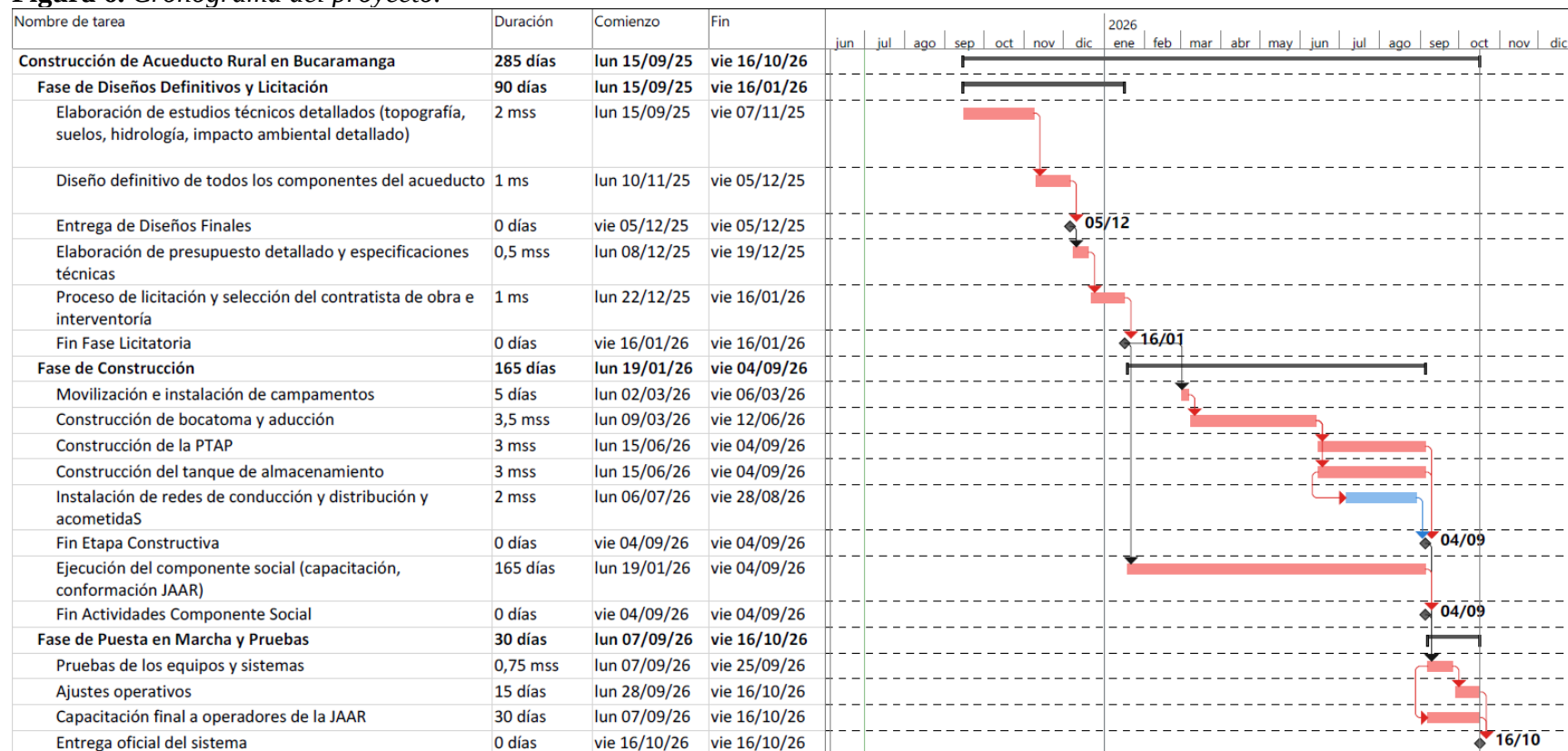
- Materiales de construcción: cemento, acero de refuerzo, agregado pétreo, arena, formaleta, tuberías, accesorios para redes, ladrillo, materiales de acabados.
- Maquinaria y equipos de construcción: Retroexcavadora, volquetas, vibrocompactadores, herramienta menor, estación topográfica, vehículos de transporte de personal de obra y materiales.
- Material de oficina: papelería general, computadores, escritorios, sillas, tableros.

Los recursos económicos para la ejecución de este proyecto, al tener como base el ser un proyecto de inversión pública, constará de un presupuesto detallado inicial, que se desglosará por componente y actividades, con el cálculo de los costos directos e indirectos, que permitan establecer una base de partida. Una vez obtenido este costo, los recursos que se solicitarán para la

ejecución de este proyecto vendrán de recursos públicos del municipio / departamento / estado, créditos, etc.

10. Cronograma

Figura 6. Cronograma del proyecto.



11. Difusión y comunicación

Se requiere establecer un plan de difusión y comunicación para mantener informados a los interesados previamente identificados, notificando acerca de avances, desafíos encontrados y las decisiones relacionadas con la ejecución del proyecto. Inicialmente se establece el público objetivo, seccionado anteriormente en el ítem 4. Análisis de Interesados.

Al tener esta información, los mensajes que se proporcionarán a estos van desde beneficios del proyecto a la comunidad interesada, cronograma de ejecución, avances del proyecto, modos de vinculación al proyecto, pedagogía acerca del agua y su uso responsable, entre otras.

Los canales de comunicación que se usarán serán los siguientes:

- Reuniones comunitarias periódicas.
- Carteleras informativas en puntos estratégicos de las veredas.
- Comunicados de prensa y difusión en radio.
- Buzón de PQR en cada vereda.
- Difusión por página web del municipio y redes sociales.

La frecuencia de la ejecución y uso de estos canales dependerá de la importancia del hito a informar o a los acuerdos que se establezcan con los interesados. Los encargados de realizar la gestión y ejecución de esta información serán del equipo de ejecución del proyecto, encabezado por el profesional social.

12. Método mediante el cual se realizará la evaluación de los resultados de la implementación

La evaluación de los resultados de la implementación del proyecto se realizará mediante un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo) y se considerarán tanto la eficiencia en la ejecución

como la eficacia en el logro de los objetivos y la percepción de impacto del proyecto. Se proponen los siguientes momentos y métodos:

Evaluación Ex-ante: realizada antes del inicio de las obras. Se recopilarán datos sobre:

- Cobertura actual de agua potable y saneamiento.
- Fuentes de agua utilizadas y su calidad percibida/real.
- Prevalencia de enfermedades diarreicas agudas (EDA).
- Prácticas de higiene y uso de agua.
- Organización comunitaria existente.
- Percepción de necesidades y expectativas frente al proyecto.
- Métodos: Encuestas socioeconómicas y sanitarias, análisis de agua de fuentes actuales, revisión de registros de salud, grupos focales.

Evaluación de proceso (durante la implementación): es un monitoreo continuo para verificar:

- Cumplimiento de cronograma y presupuesto.
- Calidad de las obras y cumplimiento de especificaciones técnicas.
- Efectividad de la estrategia de gestión social y participación comunitaria.
- Identificación temprana de riesgos y problemas.
- Informes de interventoría, revisión de actas, visitas de campo, reuniones de seguimiento con la comunidad y contratista.

Evaluación de resultados (al finalizar la implementación y puesta en marcha): tan pronto el sistema esté operativo, se medirá:

- Logro de los indicadores de componentes y el propósito.
- Nivel de satisfacción de los usuarios.
- Funcionamiento de la JAAR.
- Pruebas del sistema, análisis del laboratorio del agua tratada, encuestas a usuarios, entrevistas a los miembros de la JAAR.

Evaluación de impacto (ex-post, mediano plazo 1-2 años después apróx.): se busca valorar los cambios atribuibles al proyecto. Se tomarán datos de:

- Cambios en la cobertura efectiva de agua potable.
- Reducción en la incidencia de EDA.
- Mejoras en prácticas de higiene.
- Sostenibilidad técnica, financiera y social del sistema operado por la JAAR.
- Percepción de mejora en la calidad de vida.
- Encuestas de seguimiento, análisis de registros de salida, análisis de la gestión de la JAAR.

Se utilizarán los indicadores definidos en la MML como base para esta evaluación. Se buscará comparar el antes y después del proyecto, en la medida de lo posible con un grupo de control, siempre y cuando los recursos y el diseño de evaluación lo permiten para una atribución más robusta del impacto.

13. Resultados

De acuerdo con los objetivos planteados para el desarrollo de este proyecto de grado, se obtuvieron los siguientes resultados que fundamentan el estudio de prefactibilidad para la construcción de un acueducto en el sector rural de Bucaramanga, del siguiente modo:

En relación con el estudio de viabilidad socioeconómica, se identificó y se expuso una brecha significativa donde la cobertura del servicio de acueducto en el sector rural de Bucaramanga es del 38,7%, en donde la gente debe recurrir a fuentes externas y métodos de captación precarios, carentes de calidad del agua y comodidad en el transporte del líquido. La población objetivo se definió en 1500 habitantes, población de las veredas foco de este proyecto que, con la proyección de población para 25 años que es el tiempo de diseño del acueducto, alcanzarán 2021 habitantes, estableciendo una demanda clara y creciente a futuro que justifica la necesidad del proyecto.

En relación con los estudios de hidrología, suelos y diseño de infraestructura, comenzando por el estudio hidrológico, reveló que la cuenca Alto Lebrija presenta un estrés hídrico general clasificado como crítico, desglosado del siguiente modo:

$$IUA (\%) = \frac{DHA}{DHT} * 100 = \left(\frac{8.58m^3/s}{13.79m^3/s} \right) * 100 = 62.2\%$$

Obteniendo un Índice del Uso de Agua de 62,2%, lo cual es extremadamente alto, y se llega a clasificar como crítico, significando que más del 60% del agua producida por la cuenca ya se encuentra comprometida para uso humano, generando poca resiliencia ante eventos como sequías o un posible aumento de la demanda.

Por lo anterior, como estrategia para viabilizar la construcción de este acueducto, se procede a identificar una microcuenca que, demuestre tener un estrés hídrico bajo, por lo que se procede a hacer el anterior análisis con la microcuenca Quebrada Lajas, que es geográficamente viable por la cercanía a la zona objetivo y se caracteriza una fuente de abastecimiento factible, gracias a su bajo estrés hídrico, como se muestra a continuación:

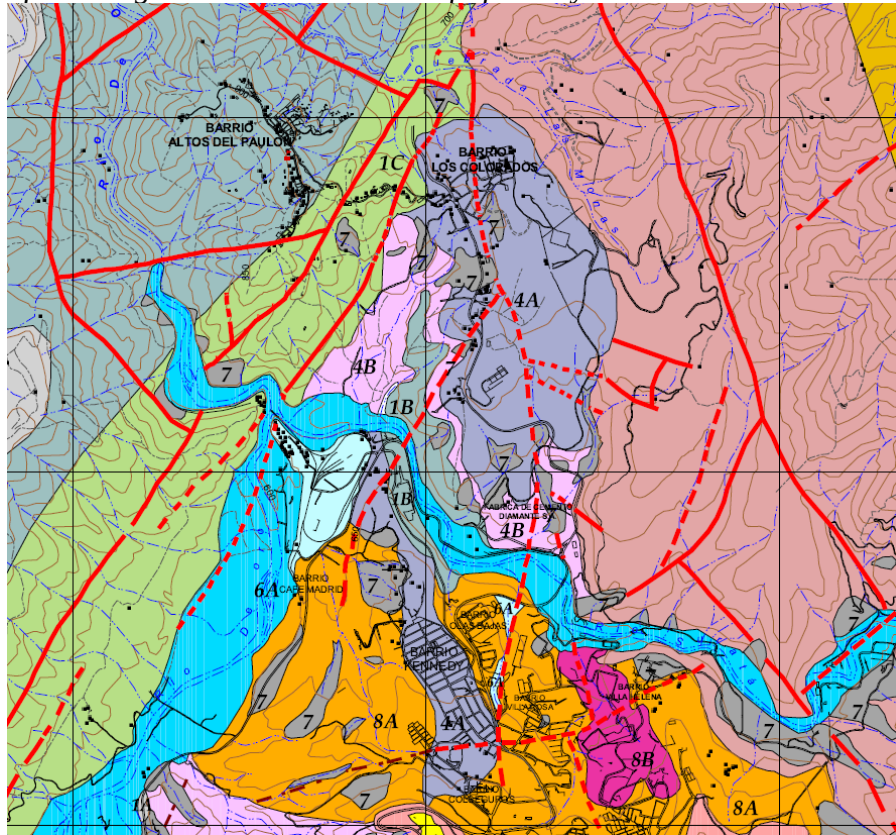
$$IUA (\%) = \frac{DHA}{DHT} * 100 = \left(\frac{0.0092m^3/s}{2.17m^3/s} \right) * 100 = 0.32\%$$

Este resultado es extremadamente favorable, teniendo en cuenta que la demanda actual de esta microcuenca representa menos del 1% de la oferta total del agua, indicando que la microcuenca Quebrada Lajas no presenta ningún tipo de estrés hídrico y es viable para la selección de fuente de abastecimiento para un nuevo acueducto, con un balance hídrico positivo con un sobrante teórico de 2,17 m³/s. No obstante, el estudio determinó que la calidad del agua de dicha fuente está comprometida por vertimientos y actividades agropecuarias, lo que hace obligatorio la inclusión (contemplada desde el inicio del proyecto) de una PTAP completa.

Continuando con el Apéndice 2, referente al estudio geotécnico, este análisis de la zona norte de Bucaramanga confirmó que el área a usar se encuentra en una zona de amenaza sísmica

alta sobre depósitos heterogéneos y débilmente consolidados de la Formación Bucaramanga. Se delimitó la zona geotécnica 4A como relativamente estable y apta para la construcción, mientras que la zona 4B (afectada por erosión) fue designada como una zona de exclusión para infraestructura crítica.

Figura 7. Zonificación geotécnica - zonas de enfoque 4A y 4B de la ciudad de Bucaramanga.



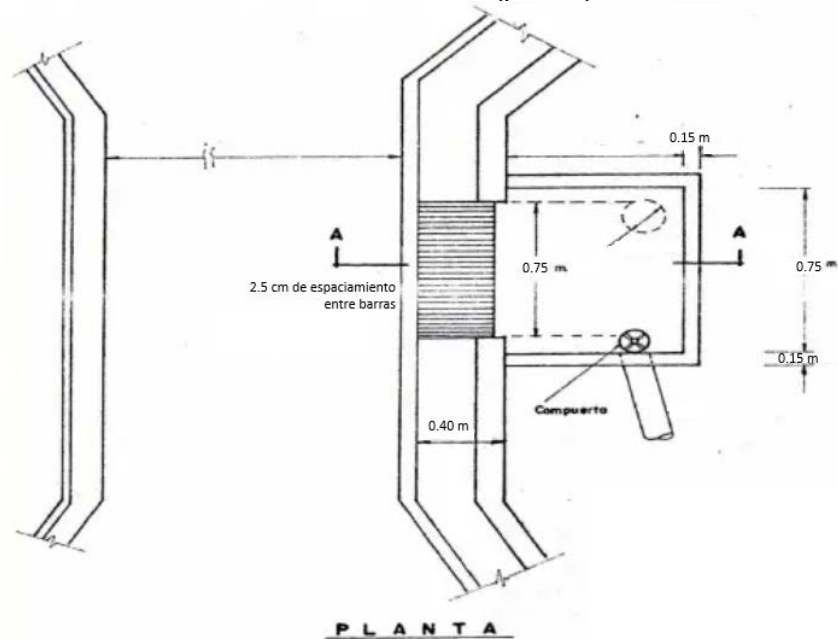
Tomado de mapa de zonificación geotécnica, INGEOMINAS (2001).

Este estudio concluye que para estructuras pesadas es obligatorio el uso de cimentaciones profundas, preferiblemente pilotes, en aras de mitigar el alto riesgo de asentamientos diferenciales y que permitan garantizar la estabilidad. De igual manera, se estableció la necesidad de usar un espectro sísmico de diseño específico para el sitio, con mayor rigurosidad que lo establecido en la NSR-10, y emplear tuberías y juntas dúctiles que permitan resistir la deformación del terreno.

Por último, referente a este objetivo, en el Apéndice 3 del predimensionamiento de la estructura, teniendo en cuenta la población objetivo y la normativa colombiana, se calcularon los caudales de diseño, estableciendo un Caudal Máximo Diario (Q_{MD}) de 5,27 l/s y un caudal de captación de 7,91 l/s. Con el diseño hidráulico se determinó el uso de una bocatoma lateral, con un vertedero de captación de 0,75m de longitud, y un sistema de desarenador de dos unidades en paralelo, con dimensiones por unidad de 3,0 m de largo, 0,6 de ancho y 0,5 m de profundidad, cumpliendo así con los parámetros de remoción de partículas de la Resolución 0330 de 2017, dimensiones que se presentan a continuación:

Tabla 7. *Resumen de dimensiones finales de bocatoma.*

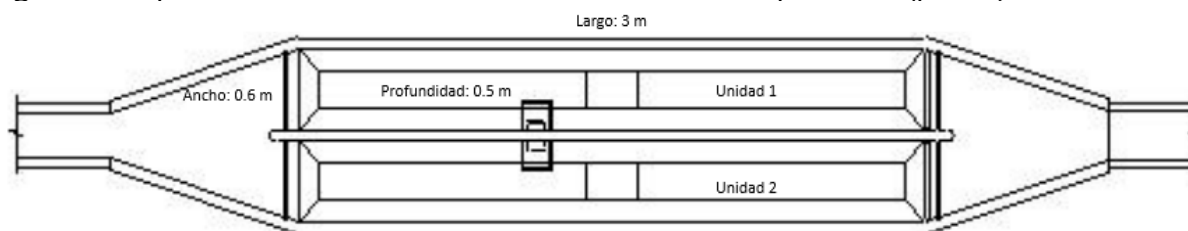
<i>Componente</i>	<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Vertedero de Captación	Longitud (L)	0.75	m
	Carga de Diseño (H)	0.15	m
	Dimensiones (Ancho x Alto)	0.75 x 0.40	m
Rejilla de Entrada	Espaciamiento libre entre barras	2.5	cm
	Velocidad de paso de diseño	< 0.4	m/s
	Pérdida de Carga estimada	2.7	mm
	Ancho de fondo (b)	0.40	m
Canal de Aducción	Altura total del canal	0.30	m
	Tirante de agua (y)	0,04	m
	Pendiente (S)	0.5	%

Figura 8. Esquema de dimensiones bocatoma lateral (planta).

Adaptado de diseño de bocatoma lateral, (Gómez, 2015).

Tabla 8. Resumen de dimensiones finales de desarenador.

Componente/Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
General (por unidad)	Número de Unidades	-	2
	Caudal de Diseño	Q _{unidad}	2.64
	Partícula de Diseño	d	0.1
	Velocidad de Sedimentación	V _s	7.9
	Velocidad Horizontal de Diseño	V _h	88
	Largo	L	3.0
Zona de Sedimentación	Ancho	B	0.6
	Profundidad de agua	H	0.5
	Área Superficial	A _s	1.8
	Tiempo de Retención Hidráulico	Tr	5.7
	Volumen de almacenamiento		0.3
Tolva de Lodos	Pendiente de paredes		> 60
	Diámetro Tubería de Purga		4
Estructuras Adicionales			Pantalla deflectora perforada a la entrada
			Vertedero de rebose a la salida

Figura 9. Esquema de dimensiones desarenador de unidades paralelas (planta).

Adaptado de Guía Para El Diseño De Desarenadores Y Sedimentadores (Organización Panamericana de la Salud, 2005).

En referencia al último objetivo, referente a la estructuración de la Matriz de Marco Lógico, se desarrolló el ciclo de análisis de la MML, que incluye la elaboración de los árboles de problemas y objetivos y el análisis de alternativas. Como resultados de la evaluación, se seleccionó la alternativa 1, que refiere la construcción de un nuevo acueducto veredal con planta de tratamiento convencional, por ser la única alternativa que ofrece una solución integral y de alto impacto a largo plazo. Toda la lógica del proyecto junto con sus objetivos, indicadores, medios de verificación y supuestos fueron consolidados en la Estructura Analítica de Marco Lógico.

El uso de esta metodología permitió identificar los problemas desde la raíz, estableciendo puntos clave que sirvieron como punto de partida para justificar la necesidad de una solución para la población de la zona rural de Bucaramanga, ante la problemática de ausencia de un sistema que permita hacerles llegar el recurso a sus viviendas, junto con las posibles consecuencias que la falta de atención de dicha problemática pueda causar. Con lo anterior, la Metodología Marco Lógico brinda herramientas para cuantificar las posibles alternativas, que permiten identificar la más adecuada en términos de viabilidad, sostenibilidad, e impacto, permitiendo ver desde distintos panoramas las diversas justificaciones que se presentan para la solución de la problemática.

Por último, en la elaboración de la Matriz de Marco Lógico, se puede observar el *¿para qué?*, el *¿por qué?* y el *¿cómo?* de la problemática a solucionar con un desglose a detalle de la alternativa seleccionada, en donde se observa también los pasos o entregables que deben cumplirse

para validar la aplicación de la alternativa escogida. Como metodología para formulación de proyectos, es una gran herramienta, permitiendo detallar de una manera sencilla y con un lenguaje claro para el observador la manera en que se aborda un problema desde su inicio hasta el desglose a detalle de la alternativa más viable, la cual se convierte en una solución para los diversos problemas que se presentan en las comunidades y que ven en esta metodología un procedimiento que permita formular proyectos que más adelante permitan ser financiados por el gobierno.

14. Discusión

Los resultados obtenidos en los estudios de prefactibilidad revelan una dualidad fundamental que define la viabilidad del proyecto. Por una parte, en el análisis hidrológico general de la cuenca del Alto Lebrija presentaba un panorama desalentador, dado el estrés hídrico al que estaba sometido, que a primera vista podría poner en duda la factibilidad del nuevo acueducto. Sin embargo, al ejecutar una investigación detallada a nivel de microcuencas, se permitió la identificación de la Quebrada Lajas como una fuente hídrica con un superávit considerable, que puede satisfacer la demanda proyectada sin generar conflictos por el uso del agua. Este hallazgo subraya la importancia de no descartar proyectos con base en datos regionales generales, sino de profundizar en análisis específicos que pueden revelar oportunidades no identificadas.

Del mismo modo, en el estudio geotécnico compilado en el Apéndice 2, explica la realidad del terreno, imponiendo restricciones de ingeniería que son críticas para la sostenibilidad a largo plazo. La viabilidad del proyecto no va a depender de donde se toma el agua, sino por donde se transporta y en donde se construyen las estructuras. La clara delimitación entre la zona 4A (apta con precauciones) y la zona 4B (preferiblemente a evitar) es una directriz de diseño ineludible. La recomendación de cimentaciones profundas para estructuras pesadas y el uso de un espectro de

diseño más severo, son consecuencias directas de este análisis. Estos hallazgos implican que, aunque se ve factibilidad en el proyecto, su diseño debe ser conservador y su costo debe reflejar estas medidas de mitigación de riesgo, que no son opcionales.

Por último, la integración de estos estudios por medio de la Metodología de Marco Lógico (MML) demuestra su valor como una gran herramienta de planificación. La MML no fue un requisito, sino el hilo conductor que permitió ponderar las alternativas. Las alternativas descartadas tuvieron dicho resultado ya que no podían responder de manera integral a los desafíos de calidad y cobertura que fueron identificados en los diagnósticos. La alternativa seleccionada se justifica ya que es la única que responde a la necesidad de cantidad, calidad y seguridad estructural, materializando el propósito del proyecto de forma completa y sostenible. Por tanto, este estudio concluye con una prefactibilidad con condiciones, en donde el qué (acueducto) es viable solo si se respeta el dónde (fuente de abastecimiento Quebrada Lajas, evitando la zona 4B) y el cómo (con una PTAP y cimentaciones profundas).

15. Conclusiones

En materia del estudio de viabilidad socioeconómica, se determinó su viabilidad al confirmar una necesidad crítica y una demanda clara. Se identificó un 61,3% de población rural con carencias de acceso de acueducto en la ciudad de Bucaramanga, lo que representa una brecha de casi 40 puntos porcentuales con respecto a la zona urbana, en donde se ven obligados a recurrir a fuentes externas de abastecimiento por medio de métodos de captación precarios, donde no se garantiza la calidad del líquido, afectando su calidad de vida por los tiempos de viaje para la búsqueda del líquido. La población objetivo inicial para el proyecto es de 1500 habitantes, con una

proyección de 25 años, llegando a 2021 habitantes, justifica la inversión y establece una oportunidad para mejorar significativamente la salud pública y la calidad de vida.

Con referencia a los estudios de suelos, hidrología y dimensionamiento de infraestructura, se tiene que, comenzando con el estudio hidrológico, se seleccionó la microcuenca Quebrada Lajas, con un sobrante teórico de 2,17 m³/s. Sin embargo, la calidad del agua cruda se ve comprometida por diversas fuentes de contaminación, lo que hace obligatorio la construcción de una Planta de Tratamiento de Agua Potable para cumplir con la normativa colombiana.

Continuando con el estudio geotécnico de la zona norte de Bucaramanga, donde se ubicará la infraestructura, se debe adherir a las recomendaciones, lo que implica que, se deba evitar en la medida de lo posible la zona geotécnica 4B, junto con el uso de cimentaciones profundas para estructuras pesadas, y el uso del espectro de diseño ($S_m=0,90$) en todos los cálculos estructurales para garantizar la estabilidad del sistema, junto con el uso de juntas y tuberías dúctiles para resistir la deformación del terreno.

Relacionando el predimensionamiento de la infraestructura, con base en la población objetivo, se realizaron los cálculos de la bocatoma y el desarenador conforme a los requisitos del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), estableciendo las características técnicas iniciales para los componentes de captación y pretratamiento del acueducto.

La Metodología de Marco Lógico (MML) demostró ser una herramienta eficaz para la estructuración del análisis, la identificación de los componentes críticos del proyecto y la selección de la alternativa más robusta y sostenible, garantizando la coherencia entre el problema identificado, los objetivos planteados y la estrategia de intervención propuesta en este proyecto. Así mismo, los estudios de prefactibilidad, que se encuentran como apéndices en este proyecto,

constituyen una base técnica para avanzar a la siguiente fase del ciclo del proyecto. Se confirma que existen las condiciones para proceder con la elaboración de estudios y diseños a nivel de factibilidad y detalle, los cuales deben incluir investigaciones de campo específicas recomendadas en dichos apéndices.

Por último, se determina que el proyecto de construcción de un acueducto para la zona rural de Bucaramanga es viable a nivel de prefactibilidad, siempre y cuando se cumplan de manera rigurosa las condiciones técnicas, ambientales y de ubicación identificadas en los apéndices de este proyecto.

16. Recomendaciones

Con base en los estudios de prefactibilidad realizados, se emiten las siguientes recomendaciones para guiar las próximas fases del proyecto.

En cuanto a recomendaciones técnicas y de diseño, se recomienda la contratación de estudios de sitio y los levantamientos topográficos de detalle, dado que es prioritario estos estudios en las ubicaciones exactas para la bocatoma, PTAP y el tanque de almacenamiento. Este debe incluir sondeos con ensayos SPT para confirmar las condiciones del subsuelo y permitir el diseño final de las cimentaciones profundas, junto con el diseño detallado de perfiles hidráulicos y movimientos de tierras del terreno.

Así mismo, se requieren los diseños detallados de la planta de tratamiento, la cual debe incluir procesos de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, que permitan asegurar la remoción de los contaminantes identificados en el estudio hidrológico. Del mismo modo, se debe iniciar con los trámites para la obtención de la concesión de aguas ante la autoridad ambiental y las licencias de construcción correspondientes.

En materia social y de gestión, es necesario comenzar el proceso de acompañamiento social con la comunidad beneficiaria para la conformación y legalización de la Junta Administradora de Acueducto Rural (JAAR). En paralelo, diseñar e implementar un programa de capacitación para la futura JAAR y los operadores locales, que abarquen temas técnicos, administrativos, financieros y legales. En cuanto a la comunidad, se debe iniciar el plan de difusión y comunicación, que permita un diálogo constante y transparente con los interesados que permitan gestionar expectativas, resolver inquietudes y asegurar la apropiación social del proyecto.

Finalmente, en materia financiera y administrativa, se debe desarrollar el presupuesto detallado de inversión del proyecto, asegurando la inclusión de los sobrecostos asociados por las cimentaciones profundas, la construcción de una PTAP completa y las medidas de mitigación de riesgo sísmico y geotécnico. Así mismo, iniciar formalmente la gestión para asegurar los recursos económicos necesarios, presentando el proyecto por medio de la plataforma MGA Web. Para el tema de recursos del acueducto, se recomienda trabajar de manera conjunta con la comunidad y la futura JAAR en el diseño de una estructura tarifaria que sea asequible para los usuarios y garantice la suficiencia financiera para cubrir los costos de administración, operación y mantenimiento del sistema a largo plazo, que permita asegurar su sostenibilidad.

Teniendo en cuenta los riesgos a los que se encuentra expuesto el proyecto para su ejecución, se recomienda el seguimiento de los riesgos por los que puede verse afectado el mismo, generando retrasos, imposibilidad para seguir, o demás que esté identificado en esta matriz.

De igual modo, se establecen métodos de mitigación de estos riesgos para que, en caso de materializarse, afecten lo menos posible al proyecto.

Tabla 9. Matriz de riesgos para el proyecto.

Riesgo	Causas	Consecuencias	Probabilidad	Impacto	Valoración del riesgo	Respuesta al riesgo	Responsable
Financiero: retraso o insuficiencia en los desembolsos de recursos financieros.	-Recortes presupuestales de la entidad financiadora.	-Paralización de las obras.	Media	Alta	Importante	Mitigar: asegurar la asignación presupuestal completa (vigencias futuras) antes de iniciar. Gestionar un fondo de contingencia. Establecer un cronograma de desembolsos claro en el contrato.	Director de proyecto / entidad financiadora
	-Trámites administrativos complejos o demorados.	-Incumplimiento de pagos a contratistas.					
Técnico/ambiental: disminución crítica del caudal de la fuente hídrica por debajo del caudal de diseño.	-Inestabilidad económica o cambios de prioridades gubernamentales.	-Incremento de costos por reprogramación.	Baja	Alta	Importante		Profesional ambiental / corporación autónoma regional
	-Retraso general del cronograma del proyecto.	-Imposibilidad de abastecer a toda la población objetivo.					
Social/gobernanza: baja participación comunitaria y débil gestión de la JAAR postentrega del proyecto.	-Sequías extremas y prolongadas (variabilidad climática).	-Racionamiento del servicio, incumpliendo el objetivo de suministro continuo.	Alta	Alta	Crítico	Mitigar: realizar aforos en diferentes épocas del año durante la fase de diseño. Diseñar con un margen de seguridad. Implementar un plan de manejo y protección de la microcuenca como parte del proyecto.	Profesional social / director de proyecto
	-Deforestación o cambios en el uso del suelo en la cuenca alta, no previstos en los estudios.	-Necesidad de buscar y desarrollar una nueva fuente (altos sobrecostos).					
	-Captaciones ilegales aguas arriba.						
	-Falta de liderazgo en la comunidad.						
	-Desinterés por asumir responsabilidades de AOM.	-Deterioro prematuro de la infraestructura por falta de mantenimiento.				Mitigar: implementar un robusto componente de gestión social desde el inicio. Realizar talleres de sensibilización sobre la importancia de la AOM. Capacitar intensivamente a la JAAR en aspectos técnicos, financieros y administrativos. Definir un modelo tarifario participativamente.	
	-Conflictos internos en la vereda.	-Baja recaudación de tarifas, llevando a la insostenibilidad financiera del sistema.					
	-Percepción de que el acueducto es responsabilidad exclusiva del gobierno.	-Fracaso del proyecto a mediano/largo plazo.					

<i>Riesgo</i>	<i>Causas</i>	<i>Consecuencias</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Impacto</i>	<i>Valoración del riesgo</i>	<i>Respuesta al riesgo</i>	<i>Responsable</i>
Legal: imposibilidad de obtener permisos de paso (servidumbres) en terrenos privados para la instalación de redes.	-Negativa de los propietarios a ceder el paso. -Expectativas de compensación económica inviables para el proyecto. -Disputas sobre la propiedad de los terrenos.	-Necesidad de rediseñar el trazado de las redes, aumentando costos y longitud de tuberías. -Retrasos significativos en el cronograma. -Zonas de la comunidad podrían quedar sin conexión.	Media	Media	Moderado	Mitigar: realizar una concertación temprana con los propietarios durante la fase de diseño. Involucrar a la personería municipal en las negociaciones. Tener trazados alternativos preidentificados.	Profesional social / asesor legal / alcaldía
Operativo/logístico: retraso significativo en la entrega de equipos críticos importados (ej. bombas, sistemas de control para PTAP).	-Problemas en la cadena de suministro global. -Retrasos en trámites de aduana e importación. -Incumplimiento del proveedor seleccionado.	-Ruta crítica del cronograma se ve afectada, retrasando toda la construcción de la PTAP y la puesta en marcha del proyecto. -Posibles sobrecostos por almacenamiento o reprogramación de personal.	Media	Alta	Importante	Mitigar: realizar procesos de compra de equipos críticos con suficiente antelación. Seleccionar proveedores con experiencia comprobada en importaciones. Considerar alternativas de equipos de fabricación nacional si cumplen los requisitos técnicos. Aceptar/mitigar: realizar estudios de amenaza y vulnerabilidad en la fase de diseño para ubicar la infraestructura en las zonas de menor riesgo.	Director de proyecto / equipo de adquisiciones
Riesgo natural: daño a la infraestructura por evento natural extremo (deslizamiento, inundación).	-Ubicación del proyecto en zona de ladera o cerca de cauces con historial de crecidas. -Sismicidad de la zona.	-Destrucción parcial o total de componentes clave (bocatoma, tramos de red). -Suspensión del servicio por tiempo indefinido. -Altos costos de reconstrucción no previstos.	Baja	Alta	Importante	Diseñar estructuras sismorresistentes según la norma. Contratar pólizas de seguro todo riesgo para la construcción y la infraestructura.	Director de proyecto / diseñadores

Referencias

- Agencia Presidencial de Cooperación Internacional. (2021). *Herramientas para la formulación de proyectos de cooperación internacional*. Archivo histórico de la Agencia Presidencial de Cooperación Internacional, Bogotá D.C., Colombia.
- Alerta Santanderes. (2025, May 15). *Fuertes lluvias generan afectaciones en el área metropolitana de Bucaramanga*. <https://www.Alertasantanderes.Com/Santander/Bucaramanga/Fuertes-Lluvias-Generan-Afectaciones-En-El-Area-Metropolitana-de-Bucaramanga>.
- ASIR - SABA. (2018). *Modelo de gestión comunitaria del agua y el saneamiento en zonas rurales*. www.eda.admin.ch/bogota
- Beltrán, J. A. (2024). *Plan de desarrollo municipal de Bucaramanga 2024-2027*.
- Cárdenas Rey, J. C. (2020). *Plan de desarrollo municipal 2020 - 2023 “Bucaramanga, una ciudad de oportunidades”* (3rd ed.). Alcaldía de Bucaramanga.
- Cárdenas Rey, J. C. (2023). *Informe de gestión y balance de resultados 2020 - 2023* (Issue Alcaldía de Bucaramanga).
- Castro Martínez, X. (2019). *Informe del comportamiento de enfermedad diarreica aguda en Colombia*. Archivo histórico del Instituto Nacional de Salud, Bogotá D.C., Colombia.
- CDMB. (2015). *Mapa de áreas protegidas y ecosistemas estratégicas cuenca Río Lebrija Alto*. Archivo histórico de la Corporación Autónoma Regional Para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, Bucaramanga, Colombia.
- CDMB y ANLA. (2019). *Evaluación regional del agua era cuenca Alto Lebrija*. Archivo histórico de la Corporación Autónoma Regional Para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, Bucaramanga, Colombia.

- CDMB y UNGRD. (2015). *POMCA Río Alto Lebrija*. https://www.cdm.gov.co/era/era_alto_lebrija1
- Centro Aguas. (2024). *Proceso de potabilización*. https://www.centroaguas.com/index.php?option=com_content&view=article&id=322.
- COMITÉ DE DERECHOS ECONÓMICOS, S. Y. C. (2003). *Cuestiones sustantivas que se plantean en la aplicación del pacto internacional de derechos económicos, sociales y culturales. consejo económico y social*. Archivo histórico de Naciones Unidas, Ginebra, Suiza.
- Corrillos. (2024, July 23). *Alcaldía de Bucaramanga en pro de la construcción de acueducto veredal en Santa Rita*. <https://www.corrillos.com.co/Alcaldia-de-Bucaramanga-En-pro-de-La-Construccion-de-Acueducto-Veredal-En-Santa-Rita/>.
- Dirección de Proyectos e Información para la Inversión Pública. (2023). *Metodología General Ajustada para la formulación de proyectos de inversión pública en Colombia*. Archivo histórico de Dirección de Proyectos e Información para la Inversión Pública, Bogotá D.C., Colombia.
- Euroclima. (2024, Septiembre). *Gobernanza del agua y del territorio en la región hídrica del Valle de Atriz*. <https://www.euroclima.org/proyectos-agua-2/proyecto-colombia>.
- Fontecha, Y. (2025, March 7). *Declarada calamidad pública y alerta naranja en Bucaramanga tras emergencias por lluvias*. <https://www.bucaramanga.gov.co/noticias/Declarada-Calamidad-Publica-y-Alerta-Naranja-En-Bucaramanga-Tras-Emergencias-Por-Lluvias/>.
- FUNCAGUA. (2020, June 4). *Agua en el planeta*. <https://funcagua.org.gt/Agua-En-El-Planeta/>.

- Galvis, J., y Caballero, H. (2023). *Estudio geotécnico sobre el trazado de la variante las olas, parte del proyecto de conducción entre la planta de tratamiento de agua potable Rafael Ardila Duarte - Vereda Los Angelinos y el tanque ferrovías*. Suelos y Geotecnia S.A.S.
- Garrido, F. (2018). *Estudio de factibilidad para la construcción de un acueducto en el sector Brisas del Darién, Corregimiento de Curbaradó, Municipio de Carmen del Darién (Chocó)*. Escuela Superior de Administración Pública – ESAP.
- Geotecnología Ltda., y Suárez, J. (2005). *Estudios para la precisión cartográfica del mapa de Zonificación Geotécnica, de acuerdo con la resolución 838 de 2002 de la CDMB*. Archivo histórico de Geotecnología Ltda.
- Gómez, J. (2015, septiembre 20). *Diseño de bocatoma lateral*. <https://es.scribd.com/doc/282199724/Bocatoma-Lateral>.
- Guaque Torre, C. (2022). *La gestión comunitaria de los acueductos rurales en la provincia comunera: una aproximación a su estudio desde la perspectiva del pluralismo jurídico*. Derecho y Realidad, 125–141. <https://doi.org/10.19053/16923936.v18.n40.2022.15414>
- Hoyos, L. (2017). *Evaluación del estado actual de los acueductos rurales del municipio de Guática*. Archivo histórico de la Universidad Tecnológica de Pereira.
- infobae. (2021, Septiembre 1). *Por primera vez en su historia, una vereda de Bucaramanga tendrá acceso a agua potable*. <https://www.infobae.com/america/colombia/2021/09/02/por-primera-vez-en-su-historia-una-vereda-de-bucaramanga-tendra-acceso-a-agua-potable/>.
- Julio, N., Muñoz, M., Ruiz Gómez, F., Duran, M. B., Alexandra, M., y Romero, D. (2016). *Enfermedades Vehiculizadas Por Agua (EVA) E Índice De Riesgo De La Calidad Agua*

- (IRCA) *En Colombia 2015*. Archivo histórico del Instituto Nacional de Salud, Bogotá D.C., Colombia.
- Lógico, M., Aldunate, E., y Córdoba, J. (2011). Formulación de proyectos bajo la metodología Marco Lógico. *Serie Manuales*. <https://hdl.handle.net/11362/5507>.
- Martínez Pérez, A. S. (2015). *Análisis de la situación actual de la infraestructura existente para potabilización del agua (PTAP) en los municipios de Alban, Nimaima y Nocaima de la provincia del Gualiva del departamento de Cundinamarca teniendo en cuenta el aseguramiento de la prestación del servicio*. Universidad Católica de Colombia.
- Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2021). *Asistencia técnica y fortalecimiento comunitario*. Archivo histórico del Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio.
- Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2023). *Informe de Rendición de Cuentas*. Archivo histórico del Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio.
- Moreno Méndez, J. O. (2020). Los retos del acceso a agua potable y saneamiento básico de las zonas rurales en Colombia. *Revista de Ingeniería*, 49. (Universidad de los Andes), 28–37. www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/economics/es/.
- Muñoz Hernández, D. (2021). *El derecho del agua en las zonas rurales de los municipios: condiciones de calidad y sostenimiento fiscal*. Universidad Pontificia Bolivariana.
- Naciones Unidas. (2023, Septiembre 19). *Desafíos globales: agua*. <https://www.un.org/es/global-issues/water>.
- Navarro, A., Araya, F., Pérez, D., Moreira, C., y Estrada, M. (2013). Vulnerabilidad de los sistemas de acueductos rurales: cómo identificarla. *Tecnología En Marcha*, 26, 63–74.
- Oficina Internacional del Trabajo. (2019). *Agua para una mejor subsistencia en los medios de vida rurales*. OECD Publishing.

- Ordoñez, J. I. (2020). El agua y el sector rural en Colombia. *Revista de Ingeniería*, 49(Universidad de los Andes), 10–17.
- Organización Mundial de la Salud. (2023, July 6). *Las mujeres y las niñas cargan con la peor parte de la crisis del agua y el saneamiento – nuevo informe del UNICEF y la OMS*. <https://www.who.int/es/news/item/06-07-2023-women-and-girls-bear-brunt-of-water-and-sanitation-crisis---new-unicef-who-report>.
- Organización Panamericana de la Salud. (2005). *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores*. Archivo histórico de la Organización Panamericana de la Salud.
- Parra, M. (2025, May 20). *Bucaramanga en alerta: fuertes lluvias aumentan el riesgo de desbordamientos y deslizamientos*. <https://melodiaenlinea.com/bucaramanga-en-alerta-fuertes-lluvias-aumentan-el-riesgo-de-desbordamientos-y-deslizamientos/>.
- Pérez, V. (2009). *Resolución Defensorial N° 57- Cumplimiento del Derecho Humano al Agua en Colombia*. Archivo histórico de la Defensoría del Pueblo.
- Plataforma Colombiana de Derechos Humanos Democracia y Desarrollo. (2022). *Derecho al agua en Colombia - informe nacional*. Archivo histórico de la Plataforma Colombiana de Derechos Humanos Democracia y Desarrollo
- Ramos Parra, Y., & Pinilla Roncancio, M. (2020). Calidad de agua de consumo humano en sistemas de abastecimiento rurales en Boyacá, Colombia. Un análisis infraestructural. *Revista EIA*, 17(34), 1–15. <https://doi.org/10.24050/reia.v17i34.1378>
- RETACO, FECOSER, & ADACA. (2017). *El derecho a la autogestión comunitaria del agua*. Archivo histórico de Red Nacional de Acueductos Comunitarios.

- Rojas Hernández, G., & Guerrero Páez, L. (2023). *Elaboración de una guía metodológica para los estudios de prefactibilidad para proyectos de construcción inmobiliaria tipo VIS en la ciudad de Bogotá*. Escuela Colombiana De Ingeniería Julio Garavito.
- Sostenibilidad. (2018, Febrero 28). *La potabilización del agua y otros retos futuros*. <https://www.sostenibilidad.com/agua/potabilizacion-agua-otros-retos-futuros/>.
- Soto, H., y Tobaría, L. (2020). Diseño de un estudio de prefactibilidad para la construcción de humedales artificiales Soacha. In *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*.
- Suaza Uriel, Amaya, C., y García, J. (2017). *Los acueductos como medio para potencializar el desarrollo en las comunidades rurales en Colombia*. Corporación Universitaria Minuto de Dios
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2020). *Informe nacional de calidad del agua para consumo humano*. Archivo histórico de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.
- Varón, L. (2014). Uso de las plantas de tratamiento de agua potable en acueductos rurales. *Universidad Nacional de Colombia*. Universidad Nacional de Colombia.
- Viasus, G. (2022). *Gobernanza del agua: una mirada a la gestión comunitaria para el acceso y uso en la ruralidad. Caso acueducto rural de San José del Gacal, municipio de Ventaquemada, Boyacá*. Pontificia Universidad Javeriana.