



**Análisis para la optimización del suministro de agua potable del acueducto veredal del
centro poblado El Cruce de Puerto Parra, Santander**

Diego Andrés Chacón León

Adriana Janeth Ferreira Betancourt

Corporación Universitaria Minuto De Dios

Rectoría Oriente / Centro Regional Bucaramanga

Especialización en Gerencia de Proyectos

Enero de 2025

**Análisis para la optimización del suministro de agua potable del acueducto veredal del
Cruce de Puerto Parra Santander**

Diego Andrés Chacón León

Adriana Janeth Ferreira Betancourt

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en
Gerencia de Proyectos**

Asesor

Cesar Augusto Silva Giraldo

Doctorando en Ciencias Económicas y Administrativas

Corporación Universitaria Minuto De Dios

Rectoría Oriente / Centro Regional Bucaramanga

Especialización en Gerencia de Proyectos

Enero de 2025

Tabla de Contenido

Resumen	7
Abstract.....	8
Introducción.....	9
1. Justificación.....	10
2. Descripción del Problema	12
2.1 Planteamiento del Problema	12
2.2 Formulación de Investigación.....	15
3. Objetivos	15
3.1 Objetivo General	15
3.2 Objetivos Específicos	15
4. Marco Referencial	15
4.1 Estado del Arte.....	15
4.2 Marco Teórico.....	21
4.3 Marco Conceptual.....	33
4.4 Marco Legal	35
5. Metodología	38
5.1 Tipo de Investigación.....	38
5.2 El Enfoque de la Investigación	39
5.3 Población y Muestra Poblacional	39
5.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información.....	40
6. Desarrollo de los Objetivos	41
6.1 Identificar las condiciones de la situación actual del suministro de agua potable. 41	
Análisis de la Micro localización según la Metodología de Baca Urbina.....	45
Matriz de Evaluación de Factores Internos (MEFI)	49
Evaluación de Alternativas mediante Matriz POAM.....	51
Evaluación de las Alternativas Mediante la Matriz DOFA	53

6.2	Determinar cuál es la alternativa óptima para mejorar el suministro de agua potable.....	55
	Análisis y Desarrollo Profundo de la Alternativa Seleccionada.....	56
	Evaluación Técnica y Económica.....	59
6.3	Proponer la implementación de una alternativa que optimice el suministro agua potable.....	63
	Descripción de la planta de tratamiento propuesta.....	64
	Sostenibilidad y Mantenimiento del sistema.....	69
	Gestión Comunitaria y Participación Ciudadana	69
	Capacitación del Personal.....	69
	Mantenimiento Preventivo y Correctivo	69
	Financiamiento Sostenible.....	70
7.	Conclusiones	70
8.	Recomendaciones.....	72
	Referencias bibliográficas	74

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Módulos de consumo</i>	47
Tabla 2 <i>Caudal requerido según módulos de consumo</i>	47
Tabla 3 <i>Matriz MEFI para evaluar la implementación de una (PTAP)</i>	49
Tabla 4 <i>Matriz MEFI para evaluar la instalación de Paneles Solares</i>	50
Tabla 5 <i>Matriz POAM para evaluar la implementación de una (PTAP)</i>	51
Tabla 6 <i>Matriz POAM para evaluar la instalación de Paneles Solares</i>	52
Tabla 7 <i>Matriz DOFA para evaluar la Implementación de una (PTAP).</i>	53
Tabla 8 <i>Matriz DOFA para evaluar la instalación de Paneles Solares.</i>	54
Tabla 9 <i>Paquetes de trabajo del proyecto</i>	61
Tabla 10 <i>Presupuesto PTAP</i>	67

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Ubicación bocatoma y cuarto de control acueducto El Cruce</i>	42
Figura 2 <i>Diagrama general de funcionamiento del acueducto</i>	59
Figura 3 <i>Diagrama de flujo para la ingeniería del proyecto.</i>	60
Figura 4 <i>Esquema de planta de tratamiento propuesta</i>	66

Resumen

El proyecto tiene como objetivo optimizar el suministro de agua potable para el acueducto veredal del centro poblado El Cruce de Puerto Parra, Santander. Se enfoca en mejorar la infraestructura existente, asegurar la calidad del agua y aplicar la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) para garantizar un suministro eficiente y sostenible. La intervención abordará problemas de infraestructura, reducirá costos operativos, y mejorará la salud pública al proporcionar agua de alta calidad. Además, se promoverá la educación ambiental y la participación comunitaria. La optimización del acueducto permitirá una mayor resiliencia del sistema y una gestión más eficaz de los recursos hídricos, beneficiando a los residentes y fortaleciendo la capacidad de adaptación del sistema.

Palabras clave: Acueducto, calidad del agua, educación ambiental, sostenibilidad, gestión de recursos hídricos, infraestructura, abastecimiento de agua.

Abstract

The project aims to optimize the potable water supply for the rural aqueduct of the El Cruce settlement in Puerto Parra, Santander. It focuses on improving the existing infrastructure, ensuring water quality, and applying Integrated Water Resources Management (IWRM) principles to ensure an efficient and sustainable supply. The intervention will address infrastructure issues, reduce operational costs, and enhance public health by providing high-quality water. Additionally, environmental education and community involvement will be promoted. The optimization of the aqueduct will enhance the system's resilience and improve water resource management, benefiting residents and strengthening the system's adaptability.

Keywords: Aqueduct, water quality, environmental education, sustainability, water resource management, infrastructure, water supply.

Introducción

El acceso al agua potable es una necesidad fundamental para la salud y el bienestar de la población, y una gestión adecuada es clave para garantizar su seguridad continua. En este contexto, el acueducto veredal del centro poblado El Cruce, ubicado en Puerto Parra, Santander, enfrenta una serie de desafíos que requieren una atención integral para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de su sistema de abastecimiento. Este proyecto se enfoca en analizar y optimizar el suministro de agua potable, abordando problemas críticos relacionados con la infraestructura, la calidad del agua, el abastecimiento y la gestión de recursos hídricos.

La importancia del proyecto radica en la necesidad de asegurar un suministro de agua de alta calidad y suficiente para la población local. Actualmente, la infraestructura existente —que incluye tuberías, estaciones de bombeo y un sistema de captación desde un pozo perforado— presenta deficiencias que afectan tanto la eficiencia del sistema como la seguridad del suministro. Estas deficiencias no solo comprometen la calidad del agua distribuida, sino que también incrementan los costos operativos y el riesgo de interrupciones en el servicio. Por ello, es crucial evaluar y mejorar la infraestructura del acueducto para garantizar un servicio continuo y confiable.

Otro aspecto fundamental del proyecto es la calidad del agua, dado que el agua potable debe cumplir con estándares específicos para proteger la salud pública. La presencia de contaminantes y la variabilidad en la calidad del agua son preocupaciones importantes que deben abordarse mediante un monitoreo constante y la implementación de tecnologías avanzadas de tratamiento. Además, es esencial optimizar la gestión de los

recursos hídricos para asegurar un suministro sostenible a largo plazo, considerando tanto la demanda actual como las proyecciones futuras.

La educación ambiental también juega un papel esencial en la sostenibilidad del sistema. Fomentar la conciencia sobre la conservación del agua y las prácticas sostenibles dentro de la comunidad es vital para lograr la participación activa de los residentes en la protección de los recursos hídricos. Programas educativos efectivos pueden impulsar un cambio de comportamiento positivo, apoyando así los esfuerzos de gestión del agua.

El objetivo de este proyecto es desarrollar soluciones basadas en un análisis exhaustivo del sistema actual y sus componentes, con el fin de optimizar el suministro de agua potable en el acueducto veredal de El Cruce. Esto incluye abordar tanto las deficiencias de infraestructura como los desafíos relacionados con la calidad del agua y la gestión de recursos.

1. Justificación

Este proyecto está dirigido a los habitantes del centro poblado El Cruce, en el municipio de Puerto Parra, Santander, donde residen aproximadamente 1,200 personas. Esta comunidad predominantemente rural enfrenta desafíos significativos en términos de infraestructura y gestión de recursos hídricos. El proyecto también involucrará la participación de autoridades locales, técnicos y expertos en gestión.

De acuerdo con el Plan de Desarrollo Municipal, Puerto Parra es uno de los 87 municipios del departamento de Santander, perteneciente a la provincia Yariguíes. Está ubicado al occidente de Santander, sobre el margen derecho del valle del río Magdalena, a una distancia de 162 km de Bucaramanga, la capital departamental. Su cabecera municipal

se sitúa a una altitud de 105 metros sobre el nivel del mar, en las coordenadas 06° 39' 06" de latitud norte y 74° 03' 39" de longitud oeste (Alcaldía de Puerto Parra, 2020).

Para llegar al municipio, se accede a través de la Troncal de la Paz por una vía nacional pavimentada de dos carriles hasta el centro poblado El Cruce, desde donde se continúa por una carretera secundaria, de las cuales 12,2 km están pavimentados y 4,8 km no lo están. En cuanto a su conectividad, Puerto Parra se encuentra a 95 km de Barrancabermeja, 71 km de Cimitarra, 110 km de Landázuri, 100 km de Puerto Berrío y a 162 km de Bucaramanga, facilitando así el comercio y desarrollo regional.

La optimización del suministro de agua potable en el acueducto veredal de El Cruce se presenta como una necesidad urgente, dada la importancia del acceso al agua para la salud, el desarrollo socioeconómico y la sostenibilidad ambiental de la comunidad. Este proyecto se motiva por varios factores críticos que justifican una intervención integral para mejorar la eficiencia y efectividad del sistema de abastecimiento.

El proyecto tiene el potencial de generar beneficios significativos tanto sociales como metodológicos. En el ámbito social, su principal impacto será la mejora de la salud y bienestar de la comunidad al garantizar un suministro de agua potable de calidad, lo que ayudará a prevenir enfermedades relacionadas con el agua y a mejorar la calidad de vida de los residentes. Además, se promoverá la participación comunitaria a través de programas educativos enfocados en la conservación del agua, fomentando un sentido de responsabilidad colectiva y fortaleciendo la cohesión social en torno a la gestión de los recursos hídricos (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2021).

Desde un enfoque metodológico, este proyecto representa una oportunidad para desarrollar e implementar estrategias innovadoras en la optimización de sistemas de abastecimiento de agua. La introducción de tecnologías avanzadas de tratamiento, la

evaluación de la infraestructura existente y la aplicación de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) ofrecerán un modelo replicable para otras comunidades que enfrentan desafíos similares (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022). Asimismo, la investigación metodológica derivada de este proyecto contribuirá al desarrollo de mejores prácticas y herramientas para la gestión eficiente del agua.

Si este problema no se aborda, la comunidad continuará enfrentando dificultades relacionadas con la calidad del agua y la eficiencia del suministro, lo que podría tener consecuencias negativas para la salud pública y la sostenibilidad del sistema. La falta de intervención podría llevar a un aumento de enfermedades transmitidas por el agua, mayores costos operativos debido a una infraestructura deficiente, y una presión adicional sobre los recursos hídricos. Sin mejoras en infraestructura y gestión, la capacidad del sistema para adaptarse a futuros desafíos ambientales será limitada, comprometiendo la resiliencia del suministro de agua a largo plazo.

2. Descripción del Problema

2.1 Planteamiento del Problema

La gestión del agua potable es un desafío a nivel global. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), aproximadamente 2.200 millones de personas en el mundo no tienen acceso a servicios de agua potable gestionados de manera adecuada (OMS, 2019). Esta problemática se intensifica en las regiones en desarrollo, donde la falta de infraestructura y una gestión eficiente del agua son problemas persistentes. En América Latina, a pesar de los avances en los últimos años, muchas áreas rurales siguen enfrentando dificultades para acceder a agua potable. El Banco Mundial estima que alrededor del 30% de la población rural en América Latina y el Caribe carece de acceso a estos servicios (Banco Mundial, 2021).

En Colombia, el acceso al agua potable es un derecho fundamental, consagrado en la Constitución de 1991, que en su artículo 366 prioriza el acceso a los servicios públicos, incluido el agua potable, como parte del bienestar general y la mejora de la calidad de vida de la población (Constitución Política de Colombia, 1991, art. 366). A pesar de ello, el Departamento Nacional de Planeación (DNP) informó que en 2020 solo el 74% de las zonas rurales del país tenía acceso a agua potable (DNP, 2020). Esta situación también se refleja en el departamento de Santander, donde muchas comunidades rurales, especialmente en municipios como Puerto Parra, enfrentan desafíos constantes debido a la escasez y baja calidad del agua disponible para el consumo humano.

El municipio de Puerto Parra, en Santander, presenta importantes problemas con su sistema de acueductos, afectando a varias comunidades, incluyendo el centro poblado El Cruce. La calidad de vida en esta zona se ha visto seriamente afectada por un suministro insuficiente y de baja calidad de agua potable. Históricamente, El Cruce se abastece de un sistema de acueducto construido hace décadas, el cual no ha recibido el mantenimiento adecuado ni mejoras significativas (Alcaldía de Puerto Parra, 2020). Esta falta de inversión y gestión deficiente ha dejado a la comunidad con un suministro de agua inconsistente y de mala calidad.

Actualmente, el sistema de acueducto de El Cruce está obsoleto y no cumple con los estándares de calidad necesarios. La falta de un plan de mantenimiento preventivo y correctivo ha causado deterioro en la red de distribución, resultando en fugas y pérdidas de agua significativas (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2021). Las condiciones de la infraestructura actual, que incluye la captación y conducción de agua, se encuentran en estado deficiente, lo que exige una intervención inmediata para optimizar el sistema y mejorar tanto la capacidad como la continuidad del suministro de agua para la comunidad.

Los problemas más frecuentes reportados por los residentes incluyen interrupciones en el suministro, baja presión, contaminación del agua y fallas recurrentes en la bomba eléctrica que extrae el recurso de las fuentes hídricas. Estas dificultades tienen un impacto social considerable en la comunidad. En términos de salud pública, el suministro inadecuado y de baja calidad puede provocar enfermedades transmitidas por el agua, como diarrea, cólera, fiebre tifoidea y hepatitis (Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2018). Además, la falta de acceso confiable a agua potable afecta la economía local, incrementando el ausentismo escolar y laboral debido a enfermedades, lo que a su vez reduce la productividad de la comunidad (Banco Mundial, 2021).

Para hacer frente a la escasez de agua del acueducto, los habitantes de El Cruce han recurrido a fuentes alternativas, como pozos, nacimientos de agua y la recolección de aguas lluvias. Asimismo, utilizan métodos de almacenamiento, como tanques, y racionan el agua para gestionarla de manera más eficiente (Alcaldía de Puerto Parra, 2020). Adicionalmente, la comunidad emplea filtros caseros y hierve el agua para mejorar su calidad antes de consumirla.

Otro impacto significativo de la gestión inadecuada del acueducto es el daño ambiental. Las fugas en el sistema no solo desperdician el recurso hídrico, sino que también contribuyen a la erosión del suelo y al desarrollo de áreas de estancamiento, que favorecen la proliferación de mosquitos y otros vectores de enfermedades (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022). Esto genera riesgos adicionales tanto para la salud pública como para el medio ambiente.

Este panorama subraya la urgencia de intervenir en el sistema de acueducto de El Cruce, con el objetivo de asegurar un suministro de agua potable seguro y constante que beneficie tanto a la comunidad como al entorno natural en el que habitan.

2.2 Formulación de Investigación

El suministro de agua potable es un aspecto crucial para el bienestar y desarrollo de las comunidades rurales. En el centro poblado El Cruce, del municipio de Puerto Parra, Santander, el acueducto veredal presenta desafíos en su capacidad para ofrecer un servicio continuo y de calidad, para lo cual se plantea la pregunta de formulación de investigación, ¿Cómo se podría optimizar el suministro de agua potable del acueducto veredal del centro poblado el Cruce de Puerto Parra Santander?

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Realizar el análisis para la optimización del suministro de agua potable del acueducto veredal del Cruce de Puerto Parra, Santander

3.2 Objetivos Específicos

- Identificar las condiciones de la situación actual del suministro de agua potable
- Determinar cuál es la alternativa más óptima para mejorar el suministro de agua potable
- Proponer la implementación de una alternativa que optimice el suministro agua potable.

4. Marco Referencial

4.1 Estado del Arte

El suministro de agua potable es un desafío crucial para muchas comunidades rurales y veredales. En particular, el acueducto veredal del Cruce de Puerto Parra, Santander, enfrenta problemas específicos que requieren soluciones optimizadas para garantizar un acceso confiable y sostenible al agua potable. Este estado del arte presenta un

análisis detallado de estudios internacionales, nacionales, regionales y locales que abordan objetivos similares, proporcionando una base sólida para el desarrollo de estrategias efectivas en Puerto Parra.

A nivel internacional Hossain y Islam (2018) examinaron las prácticas de gestión del agua basadas en la comunidad en áreas rurales de Bangladesh, enfocándose en sus implicaciones para el desarrollo sostenible. Utilizando métodos cualitativos, incluyendo entrevistas y análisis de políticas, los autores encontraron que la participación comunitaria es fundamental para la sostenibilidad y eficiencia del suministro de agua. La gestión descentralizada, respaldada por políticas favorables, resultó en una mayor aceptación y efectividad del sistema. Este enfoque destaca la importancia de involucrar a la comunidad local en la gestión del agua en el Cruce de Puerto Parra, asegurando que las soluciones sean sostenibles y bien recibidas por los residentes.

Kalulu y Banda (2019) evaluaron cómo la participación comunitaria y la integración tecnológica pueden mejorar los sistemas de suministro de agua en África subsahariana. A través de estudios de casos en varias comunidades rurales, el estudio demostró que la combinación de tecnología adecuada y participación comunitaria incrementa significativamente la calidad y accesibilidad del agua. Los autores subrayaron que las tecnologías deben ser adaptadas a las necesidades locales y acompañadas de programas educativos para maximizar su impacto. Esta investigación sugiere que, en Puerto Parra, la adopción de tecnologías apropiadas junto con la educación comunitaria podría mejorar significativamente el sistema de suministro de agua.

Sharma y Singh (2020) analizaron prácticas sostenibles de gestión del agua en áreas rurales de India, enfocándose en la participación comunitaria y la innovación tecnológica.

A través de un análisis comparativo de diferentes comunidades rurales, los autores descubrieron que las innovaciones tecnológicas, cuando son aceptadas y gestionadas por la comunidad, conducen a una gestión del agua más eficiente y sostenible. Este estudio resalta la necesidad de que las tecnologías implementadas en Puerto Parra sean alineadas con las capacidades y necesidades de la comunidad local, asegurando así su aceptación y éxito a largo plazo.

Brown y Jackson (2017) investigaron la gestión de recursos hídricos en áreas rurales de Australia, abordando los desafíos y soluciones implementadas. A través de estudios de caso y revisión de políticas, los autores identificaron que las soluciones exitosas incluyen la colaboración entre el gobierno y las comunidades, así como el uso de tecnologías avanzadas para la conservación del agua. Esta investigación destaca la importancia de las políticas gubernamentales favorables y la tecnología adecuada para la gestión eficaz del agua, proporcionando un modelo que podría ser adaptado al contexto de Puerto Parra para mejorar la sostenibilidad del suministro de agua.

Por otra parte, en el entorno nacional Pérez y Sánchez (2018) llevaron a cabo un estudio sobre la mejora del sistema de abastecimiento de agua en comunidades rurales de Colombia mediante la integración de nuevas tecnologías y educación comunitaria. Utilizando una combinación de implementación tecnológica y programas educativos, los autores lograron una mejora significativa en la calidad y cantidad de agua disponible. Este estudio demuestra que la combinación de tecnología y participación comunitaria es esencial para el éxito, sugiriendo que estrategias similares podrían ser efectivas en el Cruce de Puerto Parra para optimizar su sistema de abastecimiento de agua.

Ramírez y González (2019) implementaron tecnologías sostenibles para el abastecimiento de agua potable en el Chocó, Colombia, enfocándose en el uso de tecnologías de bajo costo y la formación comunitaria. A través de la implementación de tecnologías accesibles y programas de capacitación, el estudio logró mejoras en la disponibilidad y calidad del agua, así como un mayor involucramiento comunitario. Este enfoque destaca la importancia de utilizar tecnologías que sean manejables por la comunidad local y de proporcionar la formación necesaria para su mantenimiento, lecciones relevantes para el contexto de Puerto Parra.

López y Torres (2020) evaluaron el sistema de suministro de agua potable en un acueducto rural en Antioquia, identificando problemas críticos y proponiendo mejoras técnicas. Utilizando un análisis técnico detallado y encuestas a los usuarios, los autores pudieron identificar deficiencias clave en el sistema y proponer soluciones efectivas. Este estudio resalta la importancia de un diagnóstico preciso para identificar y solucionar problemas específicos, una estrategia que podría ser aplicada en el acueducto veredal de Puerto Parra para mejorar su eficiencia y sostenibilidad.

Martínez y Rodríguez (2021) desarrollaron estrategias sostenibles para la gestión del agua en comunidades indígenas de la Amazonía colombiana, combinando participación comunitaria y tecnologías tradicionales y modernas. El estudio encontró que las soluciones deben ser culturalmente apropiadas y sostenibles a largo plazo para ser efectivas. Este enfoque subraya la importancia de considerar las características culturales y las necesidades específicas de la comunidad en la implementación de estrategias de gestión del agua, una lección valiosa para el proyecto en Puerto Parra.

En cuanto al entorno regional del municipio de Puerto Parra, Gómez y Vallejo (2019) mejoraron el suministro de agua potable en zonas rurales de Santander mediante un análisis exhaustivo de las necesidades locales y la aplicación de soluciones tecnológicas adecuadas. Utilizando una metodología basada en la evaluación de la infraestructura existente y las demandas de la comunidad, los autores lograron aumentar la eficiencia del sistema de suministro de agua. Este estudio demuestra que las soluciones deben estar basadas en un análisis detallado de las necesidades locales, una estrategia que podría ser aplicada en Puerto Parra para garantizar la efectividad de las mejoras implementadas.

Herrera y Castro (2020) evaluaron el sistema de abastecimiento de agua potable en el sur de Bolívar, identificando deficiencias y proponiendo mejoras basadas en un enfoque integral que combina tecnología y participación comunitaria. A través de inspecciones técnicas y encuestas a los residentes, los autores pudieron identificar problemas críticos y proponer soluciones prácticas. Este estudio resalta la importancia de combinar tecnología adecuada y participación comunitaria para asegurar la sostenibilidad del sistema de agua, una lección aplicable a proyectos similares en Puerto Parra.

Según Salazar y Díaz (2018), quienes implementaron soluciones sostenibles para el suministro de agua en comunidades rurales de Cundinamarca, quienes utilizando tecnologías ecológicas y programas de educación ambiental mostraron resultados basados en mejoras en la disponibilidad de agua potable y en la conciencia ambiental de la comunidad, subrayando la importancia de la educación ambiental para la sostenibilidad del proyecto. Este enfoque destaca la necesidad de incluir componentes educativos en las estrategias de gestión del agua, una lección relevante para el contexto de Puerto Parra.

García y Méndez (2021) optimizaron los sistemas de agua potable en zonas rurales de Boyacá mediante la evaluación técnica y la formación comunitaria. Utilizando una combinación de análisis técnico y programas de capacitación, los autores lograron aumentar la eficiencia y sostenibilidad del suministro de agua. Este estudio resalta la importancia de la formación comunitaria para el manejo adecuado del sistema de agua, una estrategia que podría ser implementada en el acueducto veredal de Puerto Parra para mejorar su gestión.

Rodríguez y Moreno (2020) diagnosticaron y propusieron mejoras para el sistema de agua potable en el Cruce de Puerto Parra, identificando problemas clave y proponiendo soluciones prácticas. Utilizando un enfoque basado en el análisis técnico y la consulta con la comunidad, los autores lograron identificar deficiencias críticas y desarrollar propuestas de mejora efectivas. Este estudio enfatiza la necesidad de un diagnóstico detallado para proponer soluciones que sean realmente efectivas en el contexto local, una estrategia esencial para el éxito del proyecto en Puerto Parra.

Álvarez y Ortiz (2021) desarrollaron estrategias para mejorar el abastecimiento de agua potable en acueductos veredales de Santander, evaluando la infraestructura existente y aplicando nuevas tecnologías. Los autores subrayaron que las tecnologías deben ser adaptadas a las condiciones locales y ser sostenibles a largo plazo para garantizar su efectividad. Este estudio demuestra que las soluciones tecnológicas deben considerar las particularidades del entorno local, una lección importante para la implementación de mejoras en el acueducto de Puerto Parra.

Ruiz y Cardona (2019) implementaron tecnologías innovadoras para el suministro de agua potable en comunidades veredales de Santander, acompañadas de programas de capacitación comunitaria. Los resultados mostraron mejoras significativas en la

disponibilidad y calidad del agua, subrayando la importancia de la capacitación comunitaria para asegurar el éxito de las nuevas tecnologías. Este enfoque destaca la necesidad de formar a la comunidad local en el manejo y mantenimiento de las tecnologías implementadas, una estrategia relevante para el contexto de Puerto Parra.

Fernández y Medina (2022) analizaron y mejoraron el sistema de abastecimiento de agua potable en Puerto Parra, identificando deficiencias y proponiendo mejoras específicas. Utilizando una evaluación técnica detallada y entrevistas con los usuarios, los autores pudieron desarrollar soluciones prácticas y efectivas. Este estudio resalta la importancia de una evaluación técnica exhaustiva para identificar y solucionar problemas específicos, una lección valiosa para mejorar el sistema de agua potable en el Cruce de Puerto Parra.

4.2 Marco Teórico

El acueducto es una infraestructura vital que desempeña un papel fundamental en la provisión de agua potable a las poblaciones. Tradicionalmente, los acueductos se han diseñado para captar, transportar, tratar y distribuir agua desde fuentes naturales hasta los usuarios finales (Mays, 2006). Este sistema debe garantizar no solo la cantidad adecuada de agua, sino también la calidad necesaria para el consumo humano.

El concepto de acueducto, en su esencia, se refiere a un sistema integral para la captura, transporte, tratamiento y distribución de agua potable. Desde una perspectiva de teoría de sistemas, los acueductos son ejemplos de sistemas complejos donde múltiples componentes interactúan para cumplir una función crucial. La teoría de sistemas, como se describe en la obra de Ludwig von Bertalanffy (1968), destaca la importancia de entender los acueductos no solo como una colección de partes individuales, sino como un todo integrado cuya eficacia depende de la interconexión y el equilibrio entre sus componentes.

En la práctica, esto implica que cualquier fallo en una parte del sistema puede afectar al funcionamiento global, por lo que es esencial adoptar un enfoque holístico para su diseño y gestión.

Por otro lado, la teoría de la resiliencia de Holling (1973) proporciona una lente para evaluar la capacidad de los acueductos para resistir y recuperarse de perturbaciones, como desastres naturales o fallos técnicos. Según Holling, la resiliencia en sistemas ecológicos y sociales se define por su capacidad para absorber shocks sin perder su funcionalidad básica. En el contexto del acueducto veredal del Cruce de Puerto Parra, esto significa implementar estrategias que no solo optimicen el rendimiento bajo condiciones normales, sino que también preparen el sistema para adaptarse y recuperarse de eventos inesperados. Esto podría implicar la incorporación de redundancias en el sistema, la mejora de la infraestructura para resistir condiciones extremas y el desarrollo de planes de emergencia robustos.

Además, la teoría del ciclo del agua, como se presenta en los estudios de Gleick (2003), subraya la importancia de entender cómo las actividades humanas afectan el ciclo natural del agua. Esta teoría destaca la interconexión entre los diferentes componentes del ciclo hídrico—precipitación, evaporación, escorrentía, y almacenamiento en acuíferos—y cómo las alteraciones en uno de estos componentes pueden influir en otros. Para el acueducto veredal, esto implica gestionar las fuentes de agua de manera que se minimicen los impactos negativos en el ciclo del agua, asegurando un suministro sostenible y protegiendo los recursos hídricos disponibles.

En conjunto, estos enfoques teóricos ofrecen una base sólida para diseñar y gestionar el acueducto de manera efectiva, integrando la comprensión de su funcionamiento

como sistema, su capacidad para resistir perturbaciones y su relación con el ciclo del agua natural. Esto es crucial para garantizar que el sistema de acueducto pueda satisfacer las necesidades de la comunidad de manera sostenible y resiliente.

La infraestructura de acueductos constituye el soporte físico necesario para el transporte y suministro de agua potable, integrando componentes como tuberías, estaciones de bombeo, plantas de tratamiento y reservorios. Desde una perspectiva teórica de ingeniería de sistemas, la eficiencia y la eficacia de esta infraestructura dependen de la correcta integración y funcionamiento de sus partes. La teoría de sistemas de ingeniería enfatiza que el diseño y operación de infraestructura deben considerar la interacción entre diferentes componentes y la importancia de mantener un equilibrio entre capacidad, costo y sostenibilidad (O'Connor, 1995). Esta teoría sugiere que la infraestructura debe ser diseñada para adaptarse a cambios en la demanda y en las condiciones operativas, garantizando así una operación continua y eficiente.

La teoría de la resiliencia, tal como se aplica a la infraestructura, se enfoca en la capacidad de los sistemas para mantenerse operativos durante y después de eventos disruptivos. Según la teoría de resiliencia de Holling (1973), la infraestructura debe ser robusta y adaptable, con la capacidad de absorber impactos y recuperarse rápidamente de fallos o desastres. Esto puede incluir la implementación de medidas preventivas como el fortalecimiento de estructuras, la redundancia en sistemas críticos y el desarrollo de planes de contingencia para garantizar una respuesta eficaz ante emergencias.

La teoría del capital natural también ofrece una perspectiva relevante para la infraestructura de acueductos, al destacar la necesidad de preservar los ecosistemas naturales que suministran los recursos hídricos. Daily (1997) argumenta que la

infraestructura debe ser diseñada y gestionada de manera que minimice el impacto ambiental, protegiendo los servicios ecosistémicos que son fundamentales para el suministro de agua. Esto implica la consideración de prácticas de construcción sostenible, la protección de cuencas hidrográficas y la reducción de la contaminación asociada con el funcionamiento de la infraestructura.

Estos enfoques teóricos combinados aseguran que la infraestructura de acueductos sea efectiva en términos operativos y resiliente frente a desafíos, mientras que también minimiza el impacto ambiental y protege los recursos naturales.

La calidad del agua es un aspecto crucial para la salud pública y la sostenibilidad de los recursos hídricos. La teoría de la calidad del agua, que se basa en normas establecidas por organismos como la Organización Mundial de la Salud (OMS), se enfoca en garantizar que el agua cumpla con los estándares de potabilidad necesarios para proteger la salud humana (OMS, 2011). Esta teoría incluye parámetros como la presencia de contaminantes, niveles de nutrientes y otras propiedades fisicoquímicas que deben ser monitorizadas y mantenidas dentro de rangos seguros para evitar riesgos para la salud.

La teoría del ciclo del agua, como se detalla en los estudios de Gleick (2003), proporciona un marco para comprender cómo las actividades humanas, como la contaminación y el manejo de residuos, afectan la calidad del agua. Esta teoría destaca la importancia de gestionar las fuentes de agua y los sistemas de tratamiento de manera que se mantenga la calidad del agua en todas las etapas del ciclo hídrico. Por ejemplo, la implementación de tecnologías de tratamiento avanzadas y la protección de las fuentes de

agua son cruciales para prevenir la contaminación y garantizar la potabilidad del agua distribuida.

La teoría de la sostenibilidad también refuerza la necesidad de abordar la calidad del agua de manera holística, considerando tanto las dimensiones ambientales como sociales. Gleick (2003) señala que la gestión sostenible del agua debe integrar la protección del medio ambiente con la provisión de agua potable, asegurando que las prácticas de tratamiento y distribución no solo cumplan con los estándares de calidad, sino que también minimicen el impacto en los ecosistemas acuáticos. Esto implica una planificación y gestión cuidadosa que contemple tanto las necesidades actuales como las futuras.

El abastecimiento de agua es un proceso que involucra la gestión de fuentes, el tratamiento y la distribución del recurso. La teoría de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) proporciona un marco para coordinar estos aspectos de manera eficiente y sostenible. Según el Global Water Partnership (2000), la GIRH busca un equilibrio entre el desarrollo y la conservación, considerando tanto la demanda de agua como la capacidad de las fuentes para proporcionar el recurso. Esta teoría enfatiza la importancia de una gestión coordinada que involucre a diferentes actores y sectores para lograr un abastecimiento sostenible.

La teoría de la capacidad de carga, propuesta por Carpenter et al. (1999), se centra en el concepto de que cada sistema tiene un límite en cuanto a la cantidad de presión que puede soportar sin sufrir daños. Aplicada al abastecimiento de agua, esta teoría implica que el sistema debe ser evaluado para garantizar que pueda soportar la demanda sin comprometer su funcionalidad o sostenibilidad. La planificación del abastecimiento debe

tener en cuenta no solo la capacidad actual del sistema, sino también las proyecciones futuras para evitar la sobreexplotación de los recursos.

La teoría de la planificación y gestión de recursos, como se discute en los trabajos de Kemper et al. (2004), subraya la necesidad de planificar el abastecimiento de agua a largo plazo. Esta teoría destaca la importancia de considerar factores como el crecimiento poblacional, el cambio climático y la variabilidad en la oferta de agua en la planificación del abastecimiento. Para el acueducto veredal del Cruce de Puerto Parra, esto significa desarrollar estrategias que no solo atiendan las necesidades actuales, sino que también preparen el sistema para cambios futuros en la demanda y la disponibilidad de agua.

El informe de GWP Towards Integrated Water Resources Management, se enfoca en la aplicación de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) para mejorar la administración del agua a nivel global donde se presenta casos de estudio de diferentes países, destacando cómo la implementación de GIRH ha permitido a comunidades rurales optimizar el uso y la distribución del agua, mejorar la calidad del suministro y reducir conflictos por el recurso. Estas lecciones pueden aplicarse en el proyecto del acueducto veredal de Puerto Parra para desarrollar un manejo integral y eficiente de los recursos hídricos locales. (GWP, 2012).

La Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) es un enfoque de gestión que busca coordinar el desarrollo y la gestión del agua, la tierra y los recursos relacionados para maximizar el bienestar económico y social sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas naturales (Global Water Partnership, 2000). La teoría de la gestión integrada, propuesta por el Global Water Partnership, sostiene que la gestión de los recursos hídricos debe ser integrada y participativa, considerando tanto las dimensiones humanas como

ambientales del agua (Molle & Berkoff, 2006). Esta teoría enfatiza la importancia de la colaboración entre diferentes sectores y actores para lograr una gestión eficaz y sostenible del recurso hídrico.

La teoría de la resiliencia también es relevante para la GIRH, ya que se enfoca en la capacidad de los sistemas naturales y humanos para adaptarse y recuperarse de perturbaciones (Holling, 1973). En el contexto del acueducto veredal del Cruce de Puerto Parra, la aplicación de la teoría de la resiliencia implica la implementación de prácticas que aumenten la capacidad del sistema para manejar variaciones en la oferta y demanda de agua, así como eventos extremos como sequías o inundaciones.

Por su parte la OMS por medio de sus guías, establece estándares globales para asegurar la calidad del agua potable, cubriendo todos los aspectos desde la fuente de agua hasta el punto de consumo, incluyendo parámetros microbiológicos, químicos y físicos que deben ser monitoreados y controlados para garantizar que el agua sea segura para el consumo humano. También proporcionan métodos de monitoreo y medidas de intervención para manejar situaciones de emergencia y prevenir enfermedades transmitidas por el agua. Aplicar estos estándares en el acueducto veredal de Puerto Parra garantizará que el agua distribuida cumpla con los criterios de seguridad y salud pública reconocidos internacionalmente. (OMS, 2017).

La Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios en el informe anual de Prestación de Servicios Públicos de Acueducto y Alcantarillado evalúa el desempeño de los servicios públicos de acueducto y alcantarillado en Colombia, identificando áreas de mejora y mejores prácticas, adicionalmente proporciona datos sobre la cobertura, eficiencia operativa y calidad del servicio en diferentes regiones, y destaca la importancia de la

inversión en infraestructura y la capacitación del personal. Las conclusiones y recomendaciones del informe pueden aplicarse al acueducto veredal de Puerto Parra para mejorar su eficiencia operativa y calidad del servicio, asegurando un suministro de agua confiable y de alta calidad. (Superintendencia de servicios públicos domiciliarios, 2019).

En cuanto a la calidad y conservación de los recursos naturales la Corporación autónoma regional de Santander, en el informe de gestión ambiental del agua en Santander, presenta un análisis detallado de la gestión del agua en el departamento de Santander. Se abordan los principales desafíos ambientales, como la contaminación de fuentes hídricas y la deforestación, y se proponen estrategias para mejorar la calidad y disponibilidad del agua. El informe destaca la necesidad de modernizar la infraestructura y fomentar la educación ambiental en la comunidad. Las recomendaciones y estrategias presentadas son directamente aplicables al proyecto del acueducto veredal de Puerto Parra, ayudando a abordar los desafíos locales y mejorar el suministro de agua. (Corporación Autónoma Regional de Santander CAS, 2018).

La calidad del agua es un aspecto crucial para garantizar que el agua potable sea segura para el consumo humano y proteger la salud pública. La calidad del agua se evalúa en función de diversos parámetros, incluidos contaminantes químicos, biológicos y físicos, así como la eficacia de los métodos de tratamiento (Chapman, 1996). La teoría de la calidad del agua, como la propuesta por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017), establece estándares rigurosos para garantizar que el agua cumpla con los requisitos de potabilidad y seguridad. Estos estándares incluyen la ausencia de patógenos, niveles seguros de metales pesados y la eliminación de sustancias tóxicas.

La calidad del agua potable es un aspecto crítico que afecta directamente la salud y el bienestar de la población. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la calidad del agua debe cumplir con ciertos parámetros físicos, químicos y microbiológicos para ser considerada segura para el consumo humano (OMS, 2017). Estos parámetros incluyen niveles aceptables de sustancias como metales pesados, pesticidas, y contaminantes orgánicos, así como la ausencia de microorganismos patógenos que puedan causar enfermedades (Chapman, 1996). La calidad del agua también se ve influenciada por factores como la infraestructura de tratamiento y distribución, las actividades humanas, y las condiciones ambientales.

En el proyecto del acueducto veredal del Cruce de Puerto Parra, se pone un fuerte énfasis en la calidad del agua. Se implementan sistemas de tratamiento avanzados, como la filtración y la desinfección, para asegurar que el agua cumpla con los estándares de calidad establecidos. Además, se realizan pruebas regulares para monitorear los parámetros de calidad del agua y se establecen planes de contingencia para abordar cualquier problema que pueda surgir (Vásquez & Rodríguez, 2021).

La protección de las fuentes de agua también es una prioridad, y se toman medidas para prevenir la contaminación por actividades agrícolas, industriales y urbanas. Estas acciones no solo garantizan la seguridad del agua suministrada a la comunidad, sino que también contribuyen a la sostenibilidad y resiliencia del sistema de agua potable en la región.

Es importante tener en consideración el concepto de Educación ambiental, toda vez que se considera una pieza clave para fomentar una mayor conciencia y responsabilidad hacia la conservación del agua.

La educación ambiental es fundamental para promover la conciencia y la acción en relación con la conservación y el uso sostenible del agua. La teoría del aprendizaje significativo, desarrollada por Ausubel (1968), destaca la importancia de conectar nuevos conocimientos con la experiencia previa de los estudiantes para lograr un aprendizaje profundo y duradero. En el contexto de la educación ambiental, esto significa que los programas deben relacionar la información sobre el agua con situaciones y problemas reales que los estudiantes enfrentan, fomentando una comprensión más completa y relevante del impacto de sus acciones.

La teoría del cambio de comportamiento, como la propuesta por Prochaska y DiClemente (1983), proporciona un marco para entender cómo las personas cambian sus hábitos y actitudes hacia el medio ambiente. Esta teoría sugiere que el cambio de comportamiento es un proceso gradual que implica etapas como la conciencia, la preparación, la acción y el mantenimiento. Aplicada a la educación ambiental, esta teoría indica que los programas deben diseñarse para apoyar a los individuos en cada etapa del proceso de cambio, proporcionando información, motivación y habilidades necesarias para adoptar prácticas sostenibles.

La teoría de la sostenibilidad también apoya la educación ambiental al enfatizar la necesidad de preparar a las comunidades para enfrentar desafíos ambientales futuros. Según el informe del IPCC (2014), la educación ambiental debe incluir no solo la transmisión de conocimientos, sino también el desarrollo de habilidades prácticas y la promoción de actitudes que favorezcan la sostenibilidad. Esto implica integrar temas de sostenibilidad en el currículo educativo y fomentar la participación activa de la comunidad en iniciativas de conservación del agua.

La educación ambiental es un proceso educativo que busca aumentar la conciencia y el conocimiento sobre el medio ambiente y fomentar comportamientos responsables hacia la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales (UNESCO, 1977). La teoría del aprendizaje significativo, propuesta por David Ausubel, es fundamental en la educación ambiental, ya que sostiene que el aprendizaje es más efectivo cuando los nuevos conocimientos se conectan con las ideas previas del individuo (Ausubel, 1968). Esta teoría destaca la importancia de contextualizar la educación ambiental dentro de la experiencia cotidiana y los intereses de los participantes para lograr una comprensión más profunda y duradera.

La teoría del cambio de comportamiento, desarrollada por Kurt Lewin, también es relevante para la educación ambiental. Esta teoría postula que el cambio en los comportamientos ambientales requiere un proceso de descongelamiento, donde los individuos primero deben cuestionar sus comportamientos actuales, adoptar nuevas prácticas y consolidar estos cambios en su rutina diaria (Lewin, 1947). En el contexto del acueducto veredal del Cruce de Puerto Parra, la educación ambiental puede jugar un papel clave en la promoción de prácticas sostenibles y en la reducción del impacto ambiental de las actividades relacionadas con el agua.

Por su parte La sostenibilidad es un principio fundamental en la gestión de recursos naturales, incluido el agua. La teoría de la sostenibilidad, tal como se define en los informes del IPCC (2014), enfatiza la necesidad de equilibrar el desarrollo económico, la equidad social y la protección ambiental. Esta teoría sostiene que las prácticas de gestión deben ser diseñadas para satisfacer las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas. En el contexto del abastecimiento de agua,

esto implica implementar prácticas que no solo garanticen un suministro adecuado, sino que también protejan y regeneren los recursos hídricos y los ecosistemas asociados.

La teoría del capital natural, desarrollada por Daily (1997), proporciona un marco para valorar y proteger los recursos naturales esenciales para la sostenibilidad. Según esta teoría, los ecosistemas y sus servicios deben ser gestionados de manera que se mantenga su capacidad para proporcionar recursos y servicios en el futuro. Para la gestión del agua, esto significa considerar el valor de los ecosistemas acuáticos y terrestres que sustentan el ciclo del agua y asegurar que las actividades humanas no sobrecarguen estos sistemas.

En los sistemas socio ecológicos, como se describe en el trabajo de Folke (2006), destaca la interconexión entre los sistemas naturales y sociales y la necesidad de gestionar ambos de manera integrada. Esta teoría refuerza la idea de que la sostenibilidad requiere una visión holística que considere tanto los aspectos ecológicos como sociales del agua, integrando la gestión de recursos con el desarrollo de políticas y prácticas que promuevan la resiliencia y la adaptabilidad de los sistemas socio ecológicos

En el proyecto del acueducto veredal del Cruce de Puerto Parra, la aplicación de estas teorías implica la implementación de prácticas que no solo optimicen el uso del agua, sino que también promuevan la conservación de los ecosistemas acuáticos y la participación comunitaria en la gestión del recurso. El plan de desarrollo municipal de Puerto Parra establece estrategias y proyectos específicos para mejorar la infraestructura de agua potable en Puerto Parra, también se destaca la importancia de la participación comunitaria y la cooperación interinstitucional para lograr los objetivos de desarrollo. Se incluyen acciones concretas para modernizar el acueducto veredal, mejorar la calidad del agua y asegurar un suministro continuo y eficiente. Estas acciones alineadas con el plan de

desarrollo municipal son cruciales para la optimización del acueducto. (Alcaldía Municipal de Puerto Parra, 2022).

4.3 Marco Conceptual

Un acueducto es una infraestructura destinada a transportar agua desde una fuente de abastecimiento, como un río, embalse o pozo, hasta los puntos de consumo, ya sea para uso doméstico, agrícola o industrial. En los sistemas de agua potable, el acueducto es esencial para garantizar un suministro continuo y seguro de agua a la población. Incluye una red de tuberías, bombas y tanques de almacenamiento que facilitan el transporte y distribución del agua (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2019). La optimización y modernización de un acueducto veredal, como el del Cruce de Puerto Parra, es fundamental para mejorar la eficiencia del sistema y asegurar que el agua llegue a los usuarios en condiciones óptimas.

Uno de los pilares principales en la conformación y funcionamiento de un acueducto es la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH); según Global Water Partnership, es un enfoque estratégico que tiene como objetivo coordinar el desarrollo y la gestión del agua, la tierra y los recursos para mejorar el bienestar económico y social, sin lo cual se amenace la sostenibilidad de los ecosistemas. Este enfoque tiene en cuenta todos los usos del agua y fomenta la participación de actores relevantes, fomentando la cooperación entre instituciones para compartir el agua para las generaciones futuras. En el contexto del proyecto, es importante implementar una gestión integrada de los recursos hídricos para equilibrar la demanda de agua y mejorar la calidad del suministro del recurso, garantizando así un sistema de agua potable sostenible en el largo plazo (Global Water Partnership, 2012).

La educación ambiental es un proceso que busca concienciar a las personas sobre la importancia de proteger el medio ambiente y promover prácticas sostenibles. En el ámbito de la gestión del agua, la educación ambiental se enfoca en enseñar a las comunidades sobre el uso responsable del agua, la conservación de las fuentes hídricas y la reducción de la contaminación según lo planteado por (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2021). Fomentar la educación ambiental en el acueducto veredal del Cruce de Puerto Parra ayudará a sensibilizar a la población sobre la importancia de cuidar el recurso hídrico y contribuirá a la sostenibilidad del sistema de suministro de agua.

En ese sentido se debe considerar el abastecimiento de agua para este tipo de proyectos, definido como el proceso de proporcionar agua potable a una población desde fuentes naturales, como ríos, lagos o acuíferos, hasta los hogares, industrias y otros puntos de consumo. Este proceso incluye la captación, el almacenamiento, el tratamiento y la distribución del agua a través de sistemas de acueductos y redes de tuberías (Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento, 2020).

Conforme a lo anterior, para realizar un abastecimiento de agua adecuado se debe hablar de la calidad del agua, que, según la OMS, se refiere a las características físicas, químicas y microbiológicas del agua que determinan su idoneidad para el consumo humano y otros usos. Los estándares de calidad del agua son establecidos por organismos como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y deben ser cumplidos para garantizar la seguridad y salud de la población (World Health Organization, 2017). En el acueducto veredal del Cruce de Puerto Parra, garantizar la calidad del agua implica implementar tecnologías de tratamiento, monitorear regularmente los parámetros de calidad y asegurar que el agua suministrada cumpla con los estándares establecidos.

Para garantizar una calidad de agua óptima se tiene que implementar una adecuada conservación del agua, definido como el conjunto de prácticas y políticas destinadas a reducir el consumo de agua, evitar el desperdicio y proteger las fuentes de agua. Esto incluye la implementación de tecnologías de ahorro de agua, la educación de los usuarios sobre el uso eficiente del recurso y la protección de las cuencas hidrográficas (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2018).

Un sistema de acueducto adecuado debe contar con una infraestructura óptima. La infraestructura en el contexto del suministro de agua se refiere a las instalaciones físicas y técnicas necesarias para la captación, tratamiento, almacenamiento y distribución del agua. Esto incluye tuberías, bombas, plantas de tratamiento, tanques de almacenamiento y sistemas de monitoreo y control. La modernización de la infraestructura es crucial para mejorar la eficiencia del sistema y reducir las pérdidas de agua (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2016). Para el acueducto veredal del Cruce de Puerto Parra, la actualización de la infraestructura garantizará un suministro de agua continuo, seguro y de alta calidad a la comunidad.

Otro componente de vital importancia en este tipo de proyectos es la sostenibilidad definida como la capacidad de un sistema para mantenerse a lo largo del tiempo sin agotar los recursos naturales o causar un daño significativo al medio ambiente. En el contexto del suministro de agua potable, la sostenibilidad implica el uso racional y eficiente de los recursos hídricos, así como la implementación de prácticas de gestión que aseguren la disponibilidad y calidad del agua para las generaciones presentes y futuras (Brundtland, 1987).

4.4 Marco Legal

Las leyes que soportan el desarrollo y la ejecución del proyecto de análisis para la optimización del suministro de agua potable del acueducto veredal del centro poblado el Cruce de Puerto Parra, Santander son las que se relacionan a continuación, como lo es La Ley 142 de 1994, que establece el régimen para la prestación de servicios públicos domiciliarios, incluyendo el suministro de agua potable. Esta ley define las responsabilidades de los prestadores de servicios, los derechos y deberes de los usuarios, y los mecanismos de supervisión y control. Además, la ley promueve la participación de las comunidades en la gestión de los servicios y establece las bases para la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas de suministro de agua (Congreso de Colombia, 1994). En el proyecto del acueducto veredal del Cruce de Puerto Parra, esta ley es fundamental para asegurar que el servicio de agua se preste de manera eficiente, equitativa y sostenible, cumpliendo con los estándares de calidad y protección ambiental.

La Ley 373 de 1997 establece las directrices para la implementación de programas de uso eficiente y ahorro del agua en todo el territorio colombiano. Esta ley obliga a los prestadores de servicios públicos a desarrollar planes de uso eficiente del agua que incluyan metas de ahorro, estrategias de conservación y medidas para reducir el consumo (Congreso de Colombia, 1997). En el contexto del acueducto veredal del Cruce de Puerto Parra, la aplicación de esta ley permitirá establecer estrategias para optimizar el uso del recurso hídrico, reducir las pérdidas por fugas y fomentar la cultura de ahorro de agua entre los usuarios.

La Ley 99 de 1993 crea el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y establece los principios generales para la gestión ambiental en Colombia. Esta ley promueve la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales, incluyendo el agua, y establece

las competencias de las entidades ambientales en la regulación y control de los recursos hídricos (Congreso de Colombia, 1993). En el proyecto del acueducto veredal del Cruce de Puerto Parra, la Ley 99 de 1993 es esencial para asegurar que las actividades de captación, tratamiento y distribución de agua se realicen de manera compatible con la conservación del medio ambiente y la protección de las cuencas hidrográficas.

El Decreto 1575 de 2007 crea el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano, que establece los requisitos técnicos y administrativos para garantizar la calidad del agua suministrada. Este decreto define las responsabilidades de los prestadores de servicios y las autoridades sanitarias en la vigilancia y control de la calidad del agua, así como los parámetros y métodos de muestreo y análisis (Ministerio de la Protección Social, 2007). Para el proyecto del acueducto veredal del Cruce de Puerto Parra, este decreto es crucial para asegurar que el agua distribuida cumpla con los estándares de calidad y seguridad establecidos por las autoridades sanitarias.

El Decreto 3930 de 2010 regula el uso, manejo y aprovechamiento del recurso hídrico en Colombia, estableciendo normas para la protección de las fuentes de agua y la gestión sostenible de este recurso. Este decreto también define los procedimientos para la obtención de permisos de uso del agua y descarga de aguas residuales, así como las obligaciones de los usuarios en la conservación y manejo de las cuencas hidrográficas (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). En el acueducto veredal del Cruce de Puerto Parra, este decreto proporcionará el marco legal para la gestión integrada del agua y la protección de las fuentes de abastecimiento.

La Resolución 0330 de 2017 establece los lineamientos para la gestión de riesgos en el sector de agua y saneamiento básico, incluyendo la evaluación y gestión de riesgos

asociados a desastres naturales y cambios climáticos. Esta resolución promueve la resiliencia de los sistemas de agua potable y establece medidas de prevención y mitigación de riesgos (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017). En el acueducto veredal del Cruce de Puerto Parra, la implementación de estos lineamientos ayudará a fortalecer la capacidad del sistema para enfrentar situaciones de emergencia y asegurar la continuidad del servicio.

5. Metodología

5.1 Tipo de Investigación

El proyecto se basa en una investigación de tipo descriptiva, según Esteban Nieto, N. (2018), es una investigación de segundo nivel, inicial, cuyo objetivo principal es recopilar datos e informaciones sobre las características, propiedades, aspectos o dimensiones de las personas, agentes e instituciones de los procesos sociales. “La investigación descriptiva, comprende la colección de datos para probar hipótesis o responder a preguntas concernientes a la situación corriente de los sujetos del estudio. Un estudio descriptivo determina e informa los modos de ser de los objetos. R. Gay (1996 Pág.2)”.

El proyecto se clasifica como una investigación de tipo descriptiva porque su principal objetivo es caracterizar y detallar el estado actual del suministro de agua potable en el acueducto veredal del centro poblado El Cruce de Puerto Parra. Esta clasificación es adecuada ya que se centra en recopilar y analizar información sobre las condiciones del sistema de abastecimiento, la calidad del agua suministrada y las necesidades de la población beneficiaria, permitiendo una comprensión detallada de los factores que influyen en la problemática identificada. A través de la descripción de estos aspectos, se busca

identificar las variables que deben ser intervenidas para proponer una solución viable y eficiente que optimice el suministro de agua potable.

5.2 El Enfoque de la Investigación

El enfoque adoptado para la investigación es cuantitativo; según Daniel Cauas, (2015), es aquella que utiliza preferentemente información cuantitativa o cuantificable (medible). Algunos ejemplos de investigaciones cuantitativas son: diseños experimentales, diseños cuasi - experimentales, investigaciones basadas en la encuesta social, entre otras; siendo uno de las más usadas la encuesta social.

El enfoque cuantitativo es fundamental en este proyecto debido a que se requiere un análisis numérico preciso que permita evaluar y comparar las diferentes alternativas propuestas para la optimización del suministro de agua. Se utilizaron herramientas cuantitativas, como matrices de evaluación (MEFI, POAM y DOFA), que implican la asignación de valores ponderados y calificaciones para medir objetivamente las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas de cada alternativa. Este enfoque asegura la objetividad en la toma de decisiones y respalda la elección de la solución más adecuada, fundamentada en resultados medibles y reproducibles.

5.3 Población y Muestra Poblacional

Universo

Puerto Parra es un municipio ubicado en el departamento de Santander, Colombia. Según las estimaciones más recientes del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), la población de Puerto Parra es aproximadamente de 4,970 habitantes. Esta cifra puede variar con el tiempo debido a cambios en los censos y actualizaciones demográficas.

Población

Actualmente el acueducto veredal del centro poblado El Cruce de Puerto Parra, Santander abastece a una población de 1036 personas según información aportada por la asociación administradora del acueducto veredal del cruce de Puerto Parra.

Muestra Poblacional

Teniendo en cuenta la población objeto de estudio, se planteó obtener información detallada y profunda sobre el funcionamiento, problemas y posibles áreas de optimización del acueducto. Por lo tanto, la muestra poblacional puede definirse como un muestreo intencional o por conveniencia, ya que se selecciona deliberadamente a un experto clave para obtener datos específicos.

5.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información

Para la ejecución de la investigación de optimización del suministro de agua potable en el acueducto veredal del centro poblado El Cruce de Puerto Parra, Santander, se aplicó una entrevista estructurada al encargado de la operación del acueducto veredal de El Cruce, en Puerto Parra, Santander. Esta persona fue seleccionada mediante un muestreo intencional, dado su rol crítico en la gestión y mantenimiento del sistema de abastecimiento de agua. La selección se fundamenta en su acceso a información técnica clave, así como en su experiencia práctica con el sistema, lo que permitirá un análisis detallado y preciso del estado actual del acueducto.

Además, se llevó a cabo una revisión documental para analizar informes técnicos, normativas vigentes y estudios anteriores relacionados con el acueducto. Paralelamente, se realizaron mediciones de parámetros fisicoquímicos del agua utilizando equipos especializados, lo cual proporcionó datos cuantitativos esenciales para evaluar la calidad del agua suministrada. Esta combinación de técnicas e instrumentos permitió una recolección de

información integral y precisa, que sirve como base para realizar un análisis exhaustivo y proponer soluciones efectivas para la optimización del sistema de agua potable

6. Desarrollo de los Objetivos

6.1 Identificar las condiciones de la situación actual del suministro de agua potable.

A través de una entrevista estructurada realizada al encargado de la operación del acueducto veredal del Centro Poblado El Cruce, se obtuvo una visión integral del estado actual del sistema de suministro de agua potable, abordando aspectos clave como la estructura, captación, calidad del agua, red de distribución, procesos operativos, manejo de recursos y planificación a futuro. A continuación, se presenta una narrativa humanizada basada en las respuestas proporcionadas.

Al iniciar la entrevista, se preguntó: "¿Cómo está estructurado el sistema de distribución de agua en la vereda? ¿Cuántos usuarios o viviendas se abastecen del acueducto?". El encargado explicó que el acueducto abastece a 180 viviendas, de las cuales 163 cuentan con usuarios activos, lo que evidencia una cobertura significativa para la comunidad. Sin embargo, cuando se le consultó si existían "planos o documentos técnicos que describan la infraestructura del acueducto", la respuesta fue negativa, lo que refleja una oportunidad de mejora en la documentación técnica.

Respecto al mantenimiento, destacó que se realizan labores correctivas y preventivas. A la pregunta: "¿Qué tipo de mantenimiento se realiza a la infraestructura del acueducto y con qué frecuencia?", el entrevistado detalló que, ante daños, se actúa de forma inmediata, y mensualmente se inspeccionan los puntos críticos en la parte hidráulica.

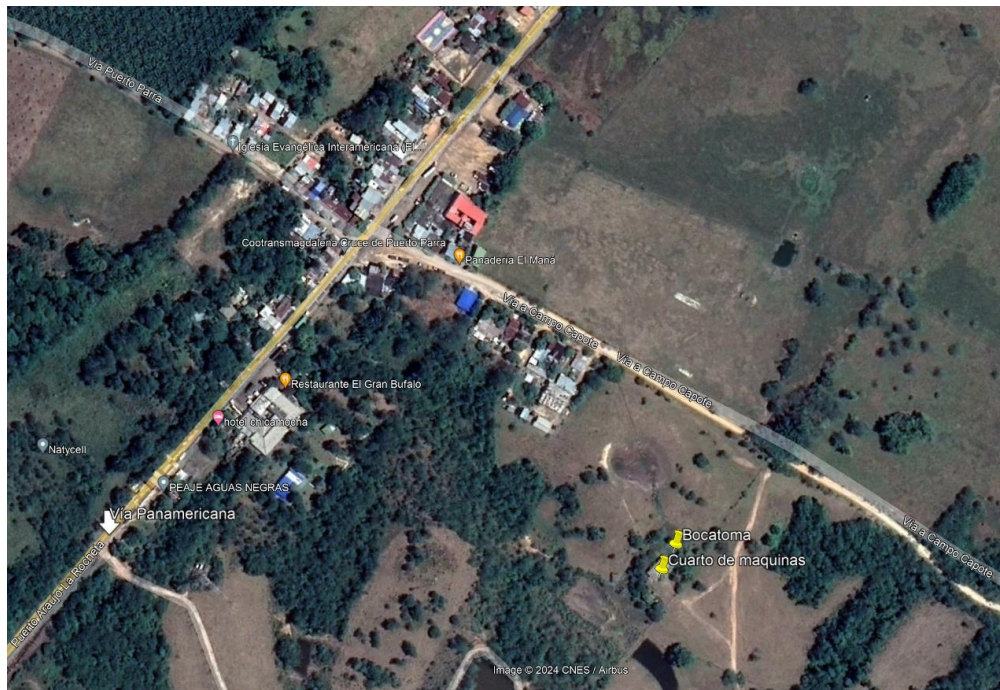
Además, se realizan mantenimientos preventivos a la bocatoma, revisando conexiones hidráulicas, eléctricas y las guayas de suspensión.

La calidad del agua es un tema fundamental. Al preguntar: "¿Se realizan pruebas periódicas de la calidad del agua suministrada? ¿Cuáles son los parámetros que se analizan?", se señaló que, aunque ya se inició la toma de muestras con la Secretaría de Salud Departamental, aún no se han recibido los primeros resultados. En cuanto al tratamiento, se explicó que el agua se somete a un proceso de cloración antes de su distribución, lo que asegura un suministro seguro.

El encargado aseguró que no se han presentado quejas sobre la calidad del agua desde que se cambió el punto de captación hace 15 años, dejando atrás los problemas asociados al antiguo abastecimiento desde el caño El Jardín.

Figura 1

Ubicación bocatoma y cuarto de control acueducto El Cruce



Nota: la figura 1 (Google s.f.) presenta el área del centro poblado urbano el cruce del municipio de Puerto Parra Santander, Colombia.

Para acceder a la captación que se realiza por medio de un pozo perforado, se toma la vía que del cruce conduce al centro poblado de campo capote avanzando 400 m metros sobre la vía se toma un ramal a mano derecha donde se accede por un predio del municipio y se continua por el ramal una distancia de 200 aproximadamente se encuentra ubicado el pozo perforado y el tanque de almacenamiento principal del acueducto.

El sistema de captación posee una estación de bombeo equipada con una bomba de 5 HP y un tanque elevado con capacidad de 32 metros cúbicos. El llenado del tanque se realiza de forma automatizada. No se han registrado problemas de sedimentación o contaminación en la fuente de captación. Se realizan mediciones periódicas de la profundidad del pozo para asegurar su capacidad de abastecimiento a largo plazo.

La calidad del agua es un tema fundamental. Al preguntar: "¿Se realizan pruebas periódicas de la calidad del agua suministrada? ¿Cuáles son los parámetros que se analizan?", se señaló que, aunque ya se inició la toma de muestras con la Secretaría de Salud Departamental, aún no se han recibido los primeros resultados. En cuanto al tratamiento, se explicó que el agua se somete a un proceso de cloración antes de su distribución, lo que asegura un suministro seguro.

El encargado aseguró que no se han presentado quejas sobre la calidad del agua desde que se cambió el punto de captación hace 15 años, dejando atrás los problemas asociados al antiguo abastecimiento desde el caño El Jardín.

Al ser consultado: "*¿Cuál es el estado actual de las tuberías y redes de distribución del acueducto?*", destacó que la red está en óptimas condiciones y cubre de manera eficiente a todos los usuarios del sistema. Los mantenimientos e inspecciones se realizan mensualmente, y los daños, generalmente causados por el tránsito de vehículos pesados, se reportan mediante un grupo de WhatsApp. Estas fallas son reparadas rápidamente por el fontanero, y en casos graves, se contrata personal adicional.

En términos de mejoras recientes, comentó: "*¿Cuándo fue la última vez que se realizaron mantenimientos o renovaciones en la red de distribución?*", indicando que hace seis meses se realizó una ampliación, cambiando 200 metros de tubería de 1 a 2 pulgadas para mejorar el servicio.

Al abordar los procesos operativos, se preguntó: "*¿Cuál es la frecuencia de operación del sistema de captación y distribución?*". El entrevistado explicó que el servicio es continuo, con horarios específicos de operación. Sin embargo, las interrupciones pueden ocurrir por fallas eléctricas o problemas en la bomba, los cuales suelen solucionarse en un lapso de 24 horas.

El sistema opera en un horario continuo de 5:00 a.m. a 2:00 p.m. y de 5:00 p.m. a 8:00 p.m., con interrupciones ocasionales causadas por fallas en el suministro eléctrico o problemas con la bomba de agua. La operación del acueducto está a cargo de un equipo de seis personas, entre las cuales se incluyen roles administrativos y operativos. No existen procedimientos documentados para emergencias, ni registros detallados de operaciones, mantenimiento o calidad del agua.

En términos de sostenibilidad, se indagó: "*¿Cómo se financia el mantenimiento del acueducto? ¿Reciben apoyo gubernamental o de otras entidades?*", respondiendo que el

financiamiento proviene exclusivamente a través del pago por parte de los usuarios, basado en el consumo registrado por medidores individuales. No se recibe apoyo gubernamental o de otras entidades. Aunque no se llevan a cabo campañas de concientización sobre el uso eficiente del agua, se están explorando mejoras tecnológicas, como la instalación de un sistema de energía solar para reducir costos operativos.

Finalmente, se preguntó sobre los planes de mejora: "*¿Existen planes o proyectos para mejorar o ampliar el sistema de acueducto en el futuro cercano?*". El encargado compartió una visión prometedora, mencionando proyectos como la instalación de energía solar para reducir costos operativos, la ampliación del tanque principal, mejoras en las redes de distribución y la adquisición de una planta de tratamiento de agua.

Como resultado de la entrevista se refleja que el acueducto veredal del Cruce de Puerto Parra es un sistema funcional y estable, gestionado con compromiso y con miras a la mejora continua. Sin embargo, también evidencia desafíos en áreas como la documentación técnica, registros de operaciones y sostenibilidad a largo plazo, que podrían fortalecerse mediante el desarrollo de proyectos innovadores y el apoyo de entidades externas.

Análisis de la Micro localización según la Metodología de Baca Urbina

Descripción del Entorno

El Cruce se encuentra en una zona estratégica del municipio de Puerto Parra, cercana a importantes vías de comunicación. La infraestructura disponible y su proximidad al río Magdalena lo convierten en un punto crucial para la distribución de productos y el comercio.

Factores Físicos

- **Clima:** El clima es tropical, con altas temperaturas y abundantes precipitaciones, lo que favorece las actividades agrícolas.
- **Suelo:** Los suelos son fértiles, ideales para el cultivo de cacao, maíz, yuca y plátano.
- **Recursos Hídricos:** La proximidad al río Magdalena proporciona acceso a abundantes recursos hídricos, esenciales para la agricultura y la pesca.

Factores Económicos

- **Acceso a Mercados:** La ubicación de El Cruce facilita el acceso a mercados locales y regionales, tanto en Santander como en los departamentos vecinos.
- **Infraestructura:** La infraestructura vial permite una conexión eficiente con otras partes del municipio y con ciudades importantes como Barrancabermeja.

El Cruce, con su ubicación estratégica dentro del municipio de Puerto Parra y su proximidad a importantes vías de comunicación y recursos naturales, tiene un gran potencial para el desarrollo económico. Siguiendo la metodología de formulación y evaluación de proyectos de Gabriel Baca Urbina, se puede realizar un análisis detallado de su micro localización y sus principales actividades económicas, identificando las ventajas competitivas y las oportunidades de crecimiento para este centro poblado.

Consumo de Agua

Consumo Per Cápita: según lo estimado en el capítulo de oferta del documento se estima el consumo diario de agua por persona, determinado para este análisis según los datos establecidos por la corporación Autónoma Regional de Santander (CAS), entidad

encargada de la administración de los recursos naturales para el departamento; así pues, Con memorando No 427/99 la Subdirección de Gestión Ambiental fijó los módulos de consumo a tener en cuenta en la evaluación técnica y la elaboración de Conceptos Técnicos, para otorgar concesiones de agua dentro de la Jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Santander C. A. S de la siguiente forma:

Tabla 1*Módulos de consumo*

Consumo	Modulo
Consumo una persona	0.002000 Lts/seg.
Abrevadero de una res	0.000600 Lts/seg.
Beneficio de una carga de café	0.000100 Lts/seg.
Porcicultura (Un Cerdo)	0.002000 Lts/seg.
Piscicultura (por m ² de espejo de agua)	0.000400 Lts/seg.
Avicultura (un ave)	0.000004 Lts/seg.
Riego de una hectárea	0.100000 Lts/seg.

Nota: Corporación Autónoma regional de Santander (2023)

Demanda Total: una vez conocida la proyección de la población y los módulos de consumo consultado con la autoridad ambiental se puede establecer cuál es la demanda futura, es así como según los datos consultados referentes a la proyección de la población, la demanda del recurso es:

Tabla 2*Caudal requerido según módulos de consumo*

Población futura	Módulo de consumo	Caudal requerido (l/seg)
1220	0,002	2,44

Por lo anterior y como resultado de los aforos realizado a la fuente de captación se establece que el recurso disponible actualmente suple las necesidades establecidas según los módulos de consumo mencionados anteriormente.

El acueducto del centro poblado El Cruce, ubicado en Puerto Parra, Santander, suministra agua a 163 usuarios a través de un pozo perforado de 80 metros de profundidad, con una capacidad de extracción de 3 litros por minuto. Aunque la infraestructura actual opera satisfactoriamente, se han identificado oportunidades para optimizar la calidad del agua, reducir los costos operativos y mejorar la sostenibilidad del servicio. Frente a esta posibilidad, surge la necesidad de evaluar opciones para optimizar el sistema, garantizando su sostenibilidad a largo plazo y asegurando agua potable de alta calidad para la comunidad.

El presente análisis considera dos alternativas estratégicas: la implementación de una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) y la incorporación de paneles solares para el sistema de bombeo. La PTAP se plantea como una solución para mitigar posibles disminuciones en la calidad del agua, asegurando que el recurso cumpla con los estándares de potabilidad. Por su parte, la instalación de paneles solares busca reducir los costos operativos y la dependencia de la red eléctrica convencional, promoviendo una mayor sostenibilidad económica, adicionalmente se requiere identificar la alternativa óptima para mejorar el suministro de agua potable.

La evaluación integral considerará aspectos técnicos, sociales, ambientales y económicos, determinando cuál opción responde mejor a las necesidades y desafíos del acueducto, así como a las expectativas de la comunidad usuaria.

Para asegurar la selección de la alternativa más adecuada, se utilizarán herramientas de análisis estratégico, como las matrices MEFI, POAM y DOFA, las cuales permitirán evaluar factores clave en términos de viabilidad técnica, económica, social y ambiental de las propuestas presentadas.

Matriz de Evaluación de Factores Internos (MEFI)

La Matriz de Evaluación de Factores Internos (MEFI) permite analizar las fortalezas y debilidades internas de las dos alternativas propuestas para optimizar el suministro de agua potable en el acueducto del centro poblado El Cruce. A continuación, se presentan los factores identificados, junto con una evaluación ponderada basada en su relevancia e impacto.

Tabla 3

Matriz MEFI para evaluar la implementación de una (PTAP)

FACTORES INTERNOS CLAVE	Ponderación (P) [0 y 1]	Fortaleza		Debilidad	
		Calificación (C) [3 o 4]	Puntuación ponderada (P*C)	Calificación (C) [1 o 2]	Puntuación ponderada (P*C)
Fortalezas internas					2,5
Mejora significativa en la calidad del agua suministrada	0,2	4	0,8		
Cumplimiento de estándares de potabilidad requeridos por normativa	0,2	4	0,8		
Reducción del riesgo de problemas de salud asociados a la calidad del agua	0,15	4	0,6		
Adaptabilidad de la tecnología a diferentes fuentes de agua	0,1	3	0,3		
Debilidades internas					0,7
Alto costo inicial de implementación	0,15			2	0,3
Necesidad de personal capacitado para operar y mantener la PTAP	0,05			2	0,1
Consumo energético elevado, aumentando los costos operativos	0,05			2	0,1

Complejidad técnica que puede generar retrasos en la implementación	0,1	2	0,2	
Total, parcial:	1,00	2,5	0,7	3,2
Ponderación TOTAL:				

Tabla 4

Matriz MEFI para evaluar la instalación de Paneles Solares

FACTORES INTERNOS CLAVE	Ponderación (P) [0 y 1]	Fortaleza		Debilidad	
		Calificación (C) [3 o 4]	Puntuación ponderada (P*C)	Calificación (C) [1 o 2]	Puntuación ponderada (P*C)
Fortalezas internas					2,7
Reducción de costos operativos a largo plazo	0,25	4	1		
Disminución de la dependencia de la red eléctrica convencional	0,20	4	0,8		
Contribución al uso de energía limpia y sostenible	0,15	4	0,6		
Vida útil prolongada de los paneles solares	0,10	3	0,3		
Debilidades internas					0,7
Alto costo inicial de adquisición e instalación	0,10			2	0,2
Impacto limitado en la mejora de la calidad del agua	0,05			2	0,1
Dependencia de las condiciones climáticas para su operación óptima	0,05			2	0,1
Necesidad de mantenimiento periódico para garantizar la eficiencia	0,10			3	0,3
Total, parcial:	1,00		2,7	0,7	3,4
Ponderación TOTAL:					

Las fortalezas de la PTAP son fundamentales para asegurar un suministro de agua de alta calidad y sostenible en el tiempo. La mejora de la calidad del agua reduce significativamente los riesgos de enfermedades hídricas y mejora la salud pública, especialmente para los sectores más vulnerables de la comunidad, como niños y personas mayores. Además, la sostenibilidad a largo plazo garantiza que el sistema pueda adaptarse a

futuros aumentos en la demanda de agua y a cambios en las condiciones naturales del recurso hídrico.

La instalación de paneles solares presenta ventajas significativas en términos de reducción de costos operativos y sostenibilidad ambiental. Al depender menos de la red eléctrica convencional, los costos energéticos a largo plazo se reducen considerablemente, lo que mejora la eficiencia económica del sistema de bombeo; no obstante, esta alternativa también enfrenta debilidades notables, incluyendo una inversión inicial elevada y una dependencia de las condiciones climáticas para la eficiencia del sistema.

Evaluación de Alternativas mediante Matriz POAM

La Matriz POAM (Perfil de Oportunidades y Amenazas en el Medio) permite analizar las oportunidades y amenazas externas que pueden influir en el éxito de las dos alternativas planteadas para optimizar el suministro de agua potable en el acueducto del centro poblado El Cruce.

Tabla 5

Matriz POAM para evaluar la implementación de una (PTAP)

FACTOR	Ponderación (P) [0 y 1]	Oportunidad		Amenaza	
		Calificación (C) [1, 2, 3 o 4]	Puntuación ponderada (P*C)	Calificación (C) [1, 2, 3 o 4]	Puntuación ponderada (P*C)
Oportunidades externas					3,05
Disponibilidad de programas gubernamentales para financiamiento de infraestructura hídrica	0,25	4	1,00		
Mayor confianza y satisfacción de los usuarios al recibir agua de alta calidad	0,20	4	0,80		
Incremento de la normativa sobre calidad de agua que prioriza proyectos de potabilización	0,20	4	0,80		
Posibilidad de alianzas con entidades privadas para cofinanciar el proyecto	0,15	3	0,45		

Amenazas externas				0,70
Incremento de costos de insumos y equipos necesarios para la construcción	0,10		2	0,20
Demoras en la obtención de permisos o licencias ambientales para la implementación	0,05		2	0,10
Resistencia de la comunidad debido a posibles aumentos en las tarifas del servicio	0,05		2	0,10
Riesgo de interrupciones en el suministro durante la instalación de la PTAP	0,10		3	0,30
	1,10		3,1	0,7 3,8
Ponderación total				

Tabla 6

Matriz POAM para evaluar la instalación de Paneles Solares

FACTOR	Ponderación (P) [0 y 1]	Oportunidad		Amenaza	
		Calificación (C) [1, 2, 3 o 4]	Puntuación ponderada (P*C)	Calificación (C) [1, 2, 3 o 4]	Puntuación ponderada (P*C)
Oportunidades externas					2,65
Acceso a incentivos económicos por parte del gobierno para el uso de energías renovables	0,20	4	0,80		
Aumento de la conciencia ambiental que favorece proyectos sostenibles	0,15	4	0,60		
Posibilidad de reducir la dependencia de los costos variables del suministro eléctrico	0,20	4	0,80		
Disponibilidad de tecnologías eficientes y adaptadas a zonas rurales	0,15	3	0,45		
Amenazas externas					0,70
Fluctuaciones en el costo de importación de paneles solares y componentes	0,10			2	0,20
Vulnerabilidad a variaciones climáticas, como días nublados o lluviosos prolongados	0,10			3	0,30
Dificultades logísticas para la instalación y mantenimiento en áreas rurales	0,05			2	0,10
Posible obsolescencia tecnológica de los paneles solares en el mediano plazo	0,05			2	0,10
	1,00		2,7		0,7 3,4
Ponderación total					

Realizando el análisis de los resultados la implementación de una planta de tratamiento obtiene un puntaje superior, lo que indica que presenta un mejor aprovechamiento de las oportunidades externas y menor vulnerabilidad ante las amenazas, por su parte la instalación de paneles solares tiene un puntaje competitivo, pero ligeramente inferior. Esto refleja su viabilidad, aunque las amenazas externas tienen un mayor impacto.

Aunque ambas alternativas son viables, la PETAP presenta ventajas más significativas en términos de viabilidad y aprovechamiento de oportunidades externas por lo que se debería priorizar la implementación de la planta de tratamiento, ya que garantiza un suministro de agua potable de mejor calidad y cumple con las necesidades a largo plazo de la comunidad. Además, su capacidad para adaptarse a las posibles deterioraciones de la calidad del agua refuerza su posición como la alternativa más sólida.

La alternativa de los paneles solares puede considerarse como un proyecto complementario en el futuro, especialmente si se busca optimizar el costo energético y fortalecer la sostenibilidad del acueducto.

Evaluación de las Alternativas Mediante la Matriz DOFA

Con base en los resultados obtenidos en las matrices MEFI y POAM, se realiza la evaluación DOFA para las dos alternativas propuestas:

Tabla 7

Matriz DOFA para evaluar la Implementación de una (PTAP).

	Oportunidades	Amenazas
Dimensiones internas vs. Dimensiones externas	Disponibilidad de fondos estatales y donaciones para proyectos de potabilización.	Riesgos de demoras por trámites administrativos o normativos.
	Aumento de la conciencia pública y regulaciones que fomentan el acceso al agua potable.	Incremento en costos de materiales y equipos por factores económicos externos.

	Posibilidad de mejorar indicadores de salud pública en la comunidad.	Vulnerabilidad ante cambios políticos que puedan afectar los subsidios.
	Establecimiento de alianzas con organismos nacionales e internacionales.	Deterioro ambiental que podría incrementar la carga de tratamiento.
Fortalezas	ESTRATEGIAS FO	ESTRATEGIAS FA
Garantiza agua potable de alta calidad que cumple con normativas sanitarias.	FO1: Aprovechar la fortaleza de ofrecer agua potable de alta calidad para capitalizar la creciente conciencia pública sobre el acceso al agua potable, mejorando la salud pública en la comunidad y ganando apoyo en el contexto de programas de potabilización.	FA1: Aumentar la capacidad de tratamiento de agua para contrarrestar posibles incrementos en los costos de materiales y equipos, y minimizar el impacto de cambios en las políticas gubernamentales sobre la financiación.
Mejora la confianza y satisfacción de la comunidad en el sistema de acueducto.		
Es una solución robusta a largo plazo, adaptable a variaciones en la calidad del agua.	FO2: Utilizar la disponibilidad de fondos gubernamentales y alianzas internacionales para financiar la construcción de la PTAP y garantizar la implementación de un sistema robusto a largo plazo.	FA2: Aprovechar la posibilidad de acceso a fondos externos (como subsidios o programas gubernamentales) para reducir el impacto de los trámites administrativos largos y la vulnerabilidad a cambios políticos.
Posibilita acceso a programas de apoyo gubernamental y cofinanciamiento.		
Debilidades	ESTRATEGIAS DO	ESTRATEGIAS DA
Altos costos iniciales para su instalación y operación.	DO1: Superar la debilidad de los costos iniciales elevados buscando acceso a fondos públicos o privados específicos para proyectos de infraestructura hídrica, lo que permitirá mitigar la falta de recursos para la implementación.	DA1: Reducir la dependencia de fondos externos y garantizar la sostenibilidad del proyecto mediante la diversificación de fuentes de financiación, como préstamos blandos o cooperaciones locales, para mitigar el riesgo de cambios en las políticas gubernamentales.
Requiere personal capacitado para su manejo y mantenimiento.		
Proceso de adquisición de permisos y licencias puede ser extenso.	DO2: Capacitar a personal local o contratar expertos temporales para operar la PTAP, aprovechando la disponibilidad de formación y asistencia técnica de organismos internacionales para garantizar un adecuado mantenimiento y operación del sistema.	DA2: Minimizar la demora en los trámites administrativos mediante la implementación de un equipo legal que pueda agilizar los procesos de permisos y cumplir con los requisitos normativos establecidos.
Dependencia inicial de fondos externos para garantizar la implementación.		
Retos estratégicos:		
R1: Mitigar los riesgos relacionados con la calidad del agua a largo plazo		
R2: Desarrollar un modelo de sostenibilidad financiera a largo plazo para la PTAP		

Tabla 8

Matriz DOFA para evaluar la instalación de Paneles Solares.

	Oportunidades	Amenazas
Dimensiones internas vs. Dimensiones externas	Acceso a incentivos fiscales y económicos para energías renovables.	Obsolescencia tecnológica o necesidad de actualizaciones futuras.
	Creciente interés en soluciones de energía sostenible en áreas rurales.	Incremento en los costos de adquisición por factores externos.

	Optimización del sistema de bombeo con energía solar.	Riesgos de robos o vandalismo en las instalaciones.
	Fomenta la diversificación de las fuentes de energía.	Falta de apoyo gubernamental si cambian políticas de energías sostenibles.
Fortalezas	ESTRATEGIAS FO	ESTRATEGIAS FA
Reduce costos operativos al disminuir la dependencia de electricidad convencional.	FO1: Aprovechar los incentivos fiscales y económicos para energías renovables para reducir los costos de instalación de los paneles solares, al mismo tiempo que se mejora la imagen del acueducto al integrar energías limpias.	FA1: Diversificar las fuentes de energía con paneles solares para disminuir la vulnerabilidad de la comunidad a fluctuaciones de los costos de electricidad convencional y posibles restricciones de apoyo gubernamental para energías renovables.
Es una alternativa sostenible y ambientalmente responsable.		
Mejora la imagen del sistema de acueducto al integrar energías limpias.	FO2: Fomentar la sostenibilidad del sistema utilizando la energía solar, lo que puede atraer más apoyo gubernamental y fortalecer la reputación como modelo a seguir en otras comunidades rurales.	FA2: Asegurar la protección de las instalaciones mediante medidas de seguridad y mantenimiento, para reducir los riesgos de vandalismo o robos de los paneles solares.
Puede funcionar como un proyecto modelo para otras comunidades rurales.		
Debilidades	ESTRATEGIAS DO	ESTRATEGIAS DA
Depende de las condiciones climáticas, limitando su eficacia.	DO1: Superar la falta de personal capacitado en la instalación de paneles solares mediante alianzas con empresas especializadas y aprovechar los incentivos económicos para la capacitación y el desarrollo de capacidades locales en energías renovables.	DA1: Mitigar la falta de recursos financieros y la dependencia de incentivos gubernamentales diversificando las fuentes de financiación a través de alianzas público-privadas y fondos internacionales específicos para proyectos de energías renovables.
Requiere inversiones en almacenamiento de energía (baterías).		
Falta de personal capacitado para instalación y mantenimiento.	DO2: Buscar la colaboración con organizaciones que apoyen la implementación de energías renovables, aprovechando el creciente interés y apoyo de organismos internacionales para desarrollar y optimizar la energía solar en áreas rurales.	DA2: Establecer una red de mantenimiento y monitoreo preventivo para garantizar la eficiencia y funcionamiento de los paneles solares, minimizando los riesgos asociados a su obsolescencia o a la posible falla de equipos por factores externos.
Retorno de inversión a mediano o largo plazo.		
Retos estratégicos:		
R1: Ajustar el costo inicial de instalación y el retorno de inversión a mediano plazo		
R2: Mitigar la dependencia de condiciones climáticas adversas		

6.2 Determinar cuál es la alternativa óptima para mejorar el suministro de agua potable

Con base en los resultados de la matriz DOFA, la implementación de una PTAP se perfila como una solución sólida y sostenible para mejorar el suministro de agua potable en El Cruce. Aunque presenta debilidades como los altos costos iniciales y la necesidad de recursos humanos capacitados, las oportunidades asociadas a la financiación externa, el

apoyo gubernamental y la mejora en la infraestructura hídrica regional superan estos desafíos.

Las fortalezas de esta alternativa, principalmente la capacidad de ofrecer agua potable de alta calidad y la sostenibilidad a largo plazo, combinadas con las oportunidades disponibles, hacen que la PTAP sea una opción viable y beneficiosa para la comunidad. Sin embargo, es necesario gestionar adecuadamente las amenazas externas y las debilidades internas para asegurar el éxito y la sostenibilidad del proyecto a largo plazo.

Aunque los paneles solares ofrecen ventajas en términos de sostenibilidad y ahorro energético, su capacidad limitada para garantizar un suministro continuo de agua y su dependencia de las condiciones climáticas presentan riesgos importantes. Por el contrario, la implementación de una PTAP no solo asegura una solución integral para la calidad y cantidad del agua potable, sino que también es más robusta frente a cambios climáticos y es menos vulnerable a fluctuaciones en la energía disponible. Las oportunidades financieras, la capacidad de generar agua potable de alta calidad y las fortalezas de la comunidad local hacen que la PTAP sea la alternativa más viable a largo plazo para el suministro de agua en El Cruce.

Análisis y Desarrollo Profundo de la Alternativa Seleccionada

La implementación de una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) en el acueducto del centro poblado El Cruce es una estrategia enfocada en garantizar un suministro de agua con estándares óptimos de calidad, aprovechando las condiciones existentes de la infraestructura. Este sistema, adaptado a las necesidades específicas de la comunidad, permitirá mejorar significativamente la calidad del agua suministrada,

reduciendo riesgos asociados a enfermedades hídricas y asegurando un desarrollo sostenible para los usuarios.

La planta estará diseñada para manejar un caudal de 3 litros por minuto, en línea con la capacidad actual del sistema de captación. Los componentes clave incluyen unidades de filtración de arena y carbón activado, un sistema de sedimentación para la remoción de sólidos suspendidos y una estación de dosificación de cloro automatizada para la desinfección del agua. Estos elementos no solo asegurarán la potabilidad del agua, sino que también serán de fácil mantenimiento, permitiendo que el personal operativo del acueducto gestione la infraestructura sin requerir especialización técnica avanzada.

El diseño modular de la PTAP facilita su integración con el tanque elevado existente, evitando cambios significativos en la estructura del sistema. La ubicación estratégica de la planta permitirá una transición fluida del agua tratada hacia la red de distribución, garantizando un suministro continuo y eficiente. Además, el enfoque en tecnologías convencionales asegura la disponibilidad de repuestos y materiales en la región, lo que es crucial para el mantenimiento y la sostenibilidad a largo plazo.

Desde una perspectiva social, la implementación de una PTAP trae consigo beneficios profundos y duraderos para la comunidad. En primer lugar, el acceso a agua potable de calidad mejorará las condiciones de vida de los habitantes, reduciendo la incidencia de enfermedades relacionadas con el agua y fortaleciendo la salud pública. Este impacto será particularmente relevante para los sectores más vulnerables, como niños y personas mayores, quienes son más susceptibles a problemas derivados del consumo de agua contaminada.

La alternativa también fomenta la participación activa de la comunidad en la gestión del recurso hídrico. Involucrar a los usuarios en procesos como el monitoreo de la calidad del agua y la sensibilización sobre su uso racional no solo aumenta el sentido de responsabilidad colectiva, sino que también promueve la sostenibilidad del sistema. Adicionalmente, la mejora en la calidad del agua fortalecerá la confianza de los usuarios en la gestión del acueducto, lo que puede incentivar una mayor cooperación en futuros proyectos de mejora.

Desde un punto de vista ambiental, la PTAP contribuye significativamente a la conservación de los recursos hídricos locales. El tratamiento adecuado del agua minimiza el impacto negativo en los ecosistemas, evitando la contaminación de fuentes naturales y reduciendo la necesidad de extraer recursos adicionales para el consumo humano. Este enfoque es clave para garantizar la sostenibilidad del sistema hídrico en una región donde las comunidades dependen directamente de fuentes como pozos y ríos.

Por otro lado, la implementación de la planta genera lodos como subproducto del tratamiento, los cuales deben ser manejados de manera adecuada para evitar impactos adversos en el entorno. Se recomienda establecer protocolos claros para la disposición de estos residuos, alineados con las normativas ambientales locales. Además, el monitoreo constante de los procesos de tratamiento asegurará que no se generen contaminantes secundarios, reforzando el compromiso con la sostenibilidad ambiental.

La planta también fortalece la resiliencia del sistema ante posibles desafíos climáticos. Aunque actualmente no se registran problemas de caudal en el pozo de captación, la mejora en la gestión del agua tratada permitirá enfrentar de manera más

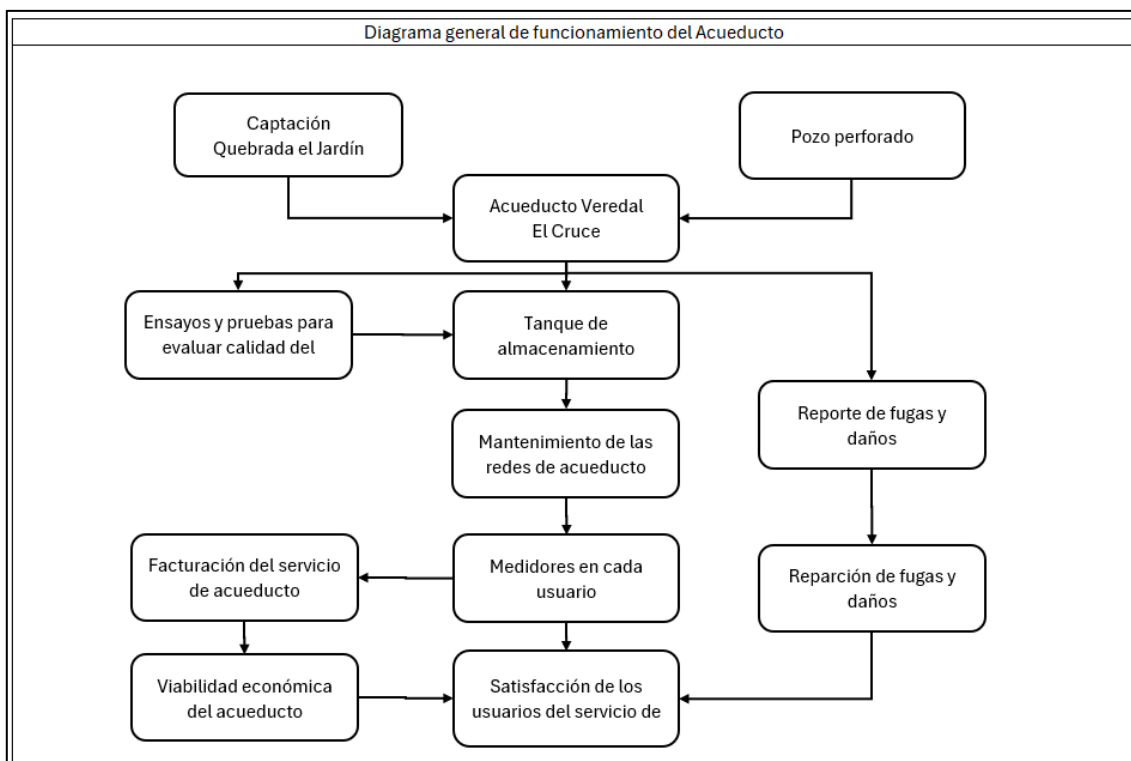
eficiente situaciones imprevistas, como cambios en la calidad del agua bruta debido a condiciones ambientales adversas.

Evaluación Técnica y Económica

Con el fin de realizar la evaluación técnica y financiera del proyecto se presenta a continuación un diagrama general del funcionamiento del acueducto con el fin de definir las etapas y procesos presentes durante el suministro y de esta forma facilitar la identificación de los componentes que se deben intervenir del sistema para cumplir con los objetivos planteados.

Figura 2

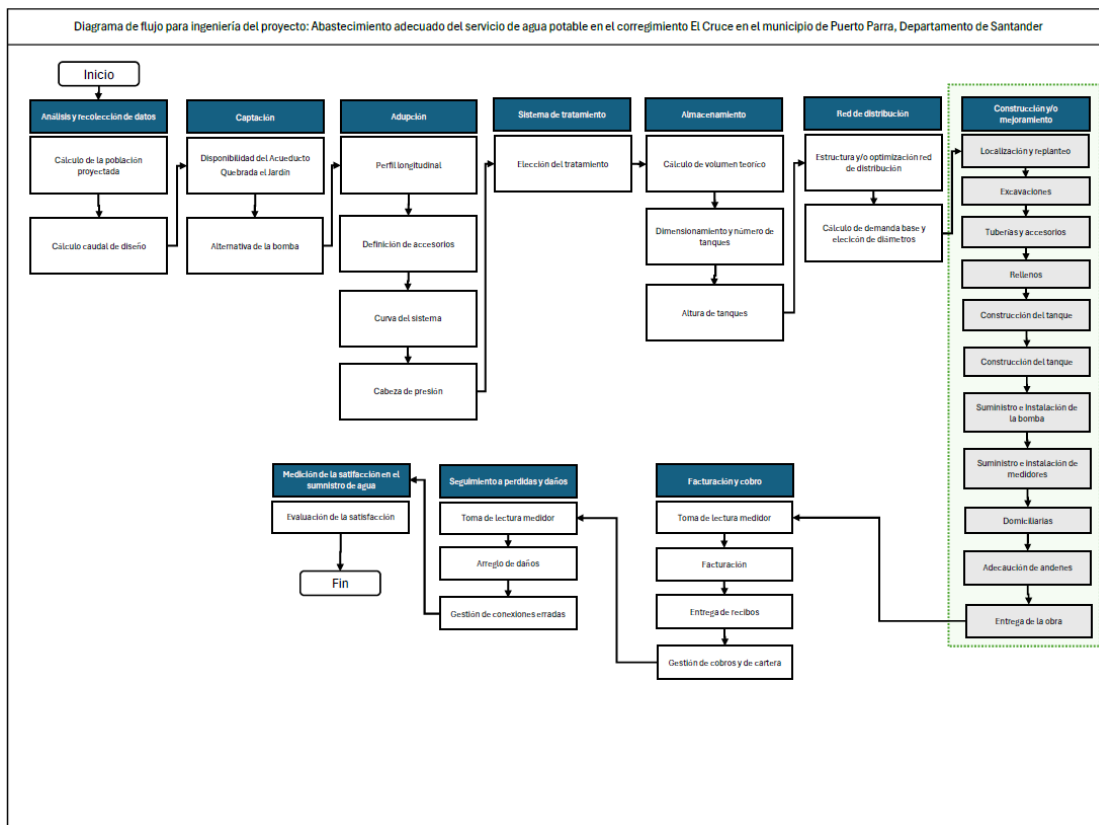
Diagrama general de funcionamiento del acueducto



Posteriormente se presenta el diagrama de flujo con las actividades y procesos por medio del diagrama de flujo para ingeniería del proyecto: Abastecimiento adecuado del servicio de agua potable en centro poblado El Cruce en el municipio de Puerto Parra, Departamento de Santander:

Figura 3

Diagrama de flujo para la ingeniería del proyecto.



Una vez conocidos los procesos requeridos para la intervención y correcto cumplimiento de los objetivos se establecen los paquetes de trabajo por medio de ellos cuales se plantean los presupuestos previos para las intervenciones, es de vital importancia tener en cuenta que estos valores son susceptibles a cambios puesto que se determinaron con un análisis previo de las condiciones y el estado actual del sistema del acueducto:

Tabla 9*Paquetes de trabajo del proyecto***PAQUETES DE TRABAJO**

Cod.	Paquete de trabajo	Resumen trabajo a realizar	Fecha Inicio	Fecha Finalización	Presupuesto
P1	REDES DE ACUEDUCTO	Agrupar las labores relacionadas con la red de acueducto, de acuerdo con la optimización de la red existente e incluyen: Preparación del Terreno: Despeje y nivelación del terreno y Excavación de zanjas para la colocación de tuberías. Instalación de Tuberías: Colocación y conexión de tuberías según los planos. Instalación de válvulas, hidrantes y accesorios. Construcción de Obras Complementarias: Construcción de cámaras de inspección y válvulas. Pruebas Hidráulicas: Realizar pruebas de presión y estanqueidad. Verificar el correcto funcionamiento de las conexiones y accesorios. Supervisión y Control de Calidad: Inspección de Materiales y Equipos Verificar la calidad de los materiales y equipos recibidos. Monitoreo de la Ejecución Supervisar el cumplimiento del cronograma y estándares de calidad. Realizar controles periódicos de avance y calidad de la obra. Documentación y Reportes: Elaborar informes de avance y calidad. Registrar cualquier incidencia y acciones correctivas.	2/07/2024	30/10/2024	\$ 250.000.000,00
P2	TANQUE DE ALMACENAMIENTO	Agrupar las labores de la construcción del tanque e incluyen: Preparación del Terreno: Despeje y nivelación del área destinada al tanque. Excavación para la cimentación según los planos. Construcción de la Cimentación: Colocación de cimientos según especificaciones estructurales. Instalación de refuerzos de acero y vertido de concreto. Construcción del Tanque Estructura del Tanque: Construcción de la base del tanque. Levantamiento de las paredes del tanque utilizando técnicas y materiales especificados. Instalación de la cubierta. Instalación de Accesorios: Instalación de tuberías de entrada y salida. Colocación de válvulas de control y medidores. Instalación de sistemas de ventilación y drenaje. supervisión y Control de Calidad: Inspección de Materiales y Equipos Verificar la calidad de los materiales y equipos recibidos.	31/08/2024	20/09/2024	\$ 80.000.000,00

Monitoreo de la Ejecución Supervisar el cumplimiento del cronograma y estándares de calidad. Realizar controles periódicos de avance y calidad de la obra. Documentación y Reportes: Elaborar informes de avance y calidad. Registrar cualquier incidencia y acciones correctivas.

		El desarrollo de este paquete incluye: Gestionar la compra de equipos y materiales. Planificar la logística de transporte y almacenamiento en sitio. Preparación del Sitio e Infraestructura Preparación del Sitio: Despeje y nivelación del área destinada para la instalación del sistema de bombeo. Construcción de la plataforma y base para las bombas. Infraestructura de Soporte: Instalación de casetas o estructuras de protección para el equipo de bombeo. Instalación de sistemas eléctricos y de control necesarios. Instalación del Sistema de Bombeo Instalación de Bombas: Montaje e instalación de las bombas según las especificaciones técnicas. Conexión de las bombas a la red de tuberías y válvulas.			
P3	BOMBA	Instalación de Tuberías y Accesorios: Colocación de tuberías de succión y descarga. Instalación de válvulas de control, medidores y accesorios necesarios. Sistemas Eléctricos y de Control: Instalación de sistemas de alimentación eléctrica para las bombas. Montaje de paneles de control y sistemas de automatización. Supervisión y Control de Calidad: Inspección de Materiales y Equipos Verificar la calidad de los materiales y equipos recibidos. Monitoreo de la Ejecución Supervisar el cumplimiento del cronograma y estándares de calidad. Realizar controles periódicos de avance y calidad de la obra. Documentación y Reportes: Elaborar informes de avance y calidad. Registrar cualquier incidencia y acciones correctivas.	11/08/2024	15/08/2024	\$ 25.000.000,00

P3	MEDICIÓN	Incluyen actividades cómo determinar las ubicaciones específicas donde se instalarán los medidores. Gestionar la compra de medidores y materiales. Planificar la logística de transporte y almacenamiento en sitio. Reparación del Sitio Despeje y acondicionamiento de las áreas donde se instalarán los medidores. Verificación de accesibilidad y seguridad en los puntos de instalación. Infraestructura de Soporte: Construcción	30/09/2024	30/10/2024	\$ 48.000.000,00
----	----------	---	------------	------------	------------------

de bases o estructuras de soporte para los medidores.
 Instalación de cajas de registro o protecciones necesarias. Montaje e instalación de los medidores según las especificaciones técnicas.
 Conexión de los medidores a la red de tuberías y aseguramiento de estanqueidad.

Total	\$ 403.000.000,00
--------------	--------------------------

6.3 Proponer la implementación de una alternativa que optimice el suministro agua potable.

Para optimizar el suministro de agua potable en una comunidad, se propone la implementación de un acueducto que incorpore una serie de procesos de tratamiento físico-químico y tecnologías avanzadas, garantizando la calidad y disponibilidad del agua.

Este sistema iniciaría con la captación de agua cruda que pasaría a una etapa de pretratamiento, a la unidad de aireación equipada con tecnología de nano burbujas, que mejora la oxigenación y elimina gases disueltos indeseados. Las nano burbujas permiten una mayor superficie de contacto y una eficiencia más alta en el proceso de oxidación y desinfección. En esta etapa, se añadiría hipoclorito de sodio y soda cáustica para ajustar el pH y garantizar un nivel adecuado de desinfección, eliminando microorganismos patógenos.

En la etapa fisicoquímica, se adicionan coagulantes y floculantes para promover la acumulación de partículas suspendidas. Este proceso ayuda a que las impurezas se agrupen en flóculos más grandes que luego puedan ser removidos con mayor facilidad mediante acción de la gravedad, la cual, gracias a la forma geométrica del tanque y la implementación de paneles, que permiten una mayor retención y acumulación de lodos dentro de la unidad, para ser dispuestos como lodo acuoso.

El agua tratada pasaría entonces a través de dos filtros de carbón activado, dispuestos en serie, para asegurar la remoción de compuestos orgánicos, cloro residual y otros contaminantes que afectan el sabor, olor y la seguridad del agua. Tras los filtros de carbón, se instalaría un filtro de zeolita que ayuda a remover metales pesados y a mejorar la calidad del agua, gracias a su alta capacidad de intercambio iónico y adsorción.

Por último, el sistema de tratamiento incluiría lechos de secado para la disposición de lodos generados durante el proceso de coagulación y floculación. Estos lechos permiten la deshidratación natural de los lodos, reduciendo su volumen y facilitando su manejo y disposición final de manera ambientalmente responsable.

Con esta alternativa, el acueducto ofrecería una solución integral y eficiente, que asegura un suministro de agua potable de alta calidad para la comunidad, optimizando los recursos y minimizando los impactos ambientales asociados.

Descripción de la planta de tratamiento propuesta.

A continuación, se describen las unidades sugeridas para la operación y funcionamiento adecuado del sistema de tratamiento propuesto, el cual establece un tren de tratamiento compuesto por, un sistema preliminar de oxidación, unidad fisicoquímica, unidades de filtración multimedia, sistema de desinfección y unidades para la optimización del manejo de lodos acuosos.

Unidad de recepción de flujos.

La unidad será construida tendrá un volumen aproximado de 150 m³, construida en aluminio con un recubrimiento interno en geo membrana, en la unidad se llevará a cabo un proceso de aireación con el objeto de favorecer la oxidación de metales disueltos como

pueden ser el hierro, magnesio y manganeso. Con base al desarrollo de los estudios de caracterización del agua de pozo, se contempla la instalación de un sistema de dosificación de hipoclorito de sodio y/o soda caustica. Esta unidad deberá ser suministrada por el contratante, sin embargo, las adecuaciones internas de aireación están contempladas en el presupuesto de la presente propuesta.

Sistema de tratamiento fisicoquímico (Coagulación – Floculación - Sedimentación):

Dentro de la alternativa propuesta se tiene un floculador - sedimentador fabricado en Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV), materiales que tienen un tiempo de vida útil superior a 20 años y presentan elevada resistencia frente al contacto con compuestos orgánicos, ácidos, bases y demás productos corrosivos. En la unidad propuesta se llevará a cabo la mezcla lenta de los reactivos y la sedimentación de los sólidos coloidales desestabilizados (lodos acuosos) generados en los procesos de coagulación y floculación, el sistema tendrá una operación hidráulica de 3,0 L/s.

Unidad para almacenamiento de clarificado:

La unidad de almacenamiento propuesta estará fabricada en Poliéster Reforzado en Fibra de Vidrio (PRFV) tendrá como función principal recibir el efluente proveniente de la unidad fisicoquímica y almacenar el volumen requerido para enviar por medio de un sistema de bombeo a las unidades de filtración.

Filtro presurizado mixto de arena sílice y carbón activado.

Se plantea la implementación de dos (2) unidades de filtración de arena sílice, que permitirá la retención de sólidos finos remanentes de las unidades previas y carbón activado

que permite la remoción de trazas de compuestos causantes color, olor y sabor. El proceso de filtración se desarrollará de manera automática, al igual que su limpieza interna.

Unidad de desinfección (Cloración).

El tratamiento de desinfección por cloración se emplea en el final de tratamiento, el cual busca eliminar los microorganismos y patógenos presentes en el agua tratada (Bacterias, Virus, Protozoos). El cloro al ser un agente oxidante garantiza la calidad del agua ante posibles contaminantes, ya que, al ser disuelto en el agua, se hidroliza rápidamente generando alteraciones físicas y químicas sobre la membrana o pared celular de las células, provocando su muerte.

Unidad para la deshidratación de lodos acuosos:

La generación de lodos acuosos oscila entre el 5 y 10% del caudal tratado; estos están compuestos entre un 95 a 99% por agua, por lo cual su manejo se debe realizar de manera integral con el objeto de disminuir costos de operación, para ello se plantea realizar la instalación de una unidad de lechos de secado, la presenta buenos resultados para volúmenes bajos de lodos generados al día.

A continuación, se presenta el esquema de la Planta de Tratamiento de Agua Potable propuesto.

Figura 4

Esquema de planta de tratamiento propuesta

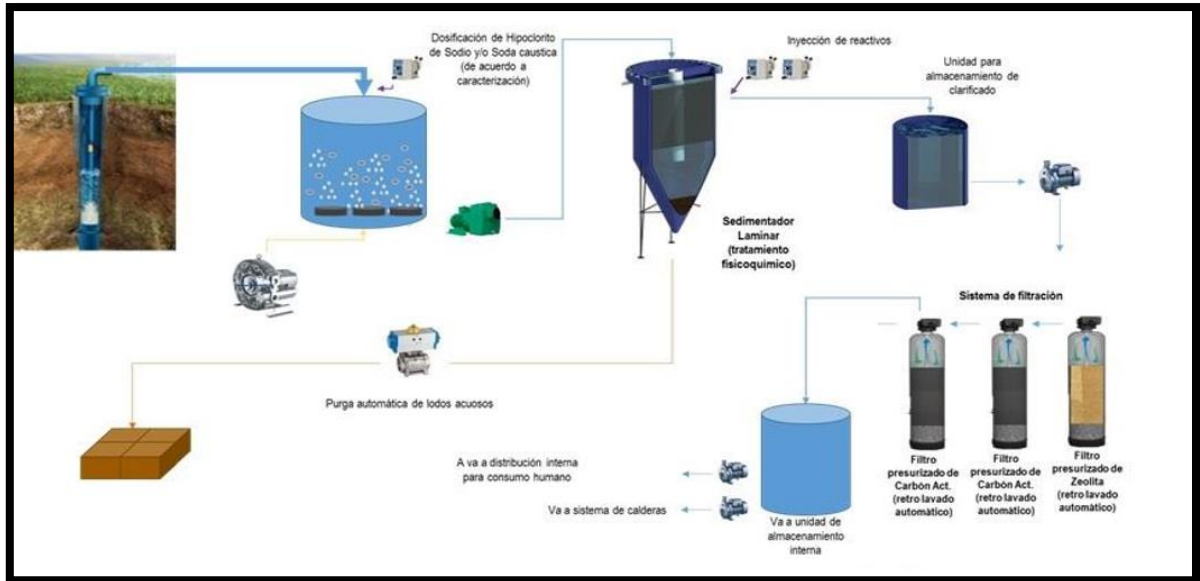


Tabla 10

Presupuesto PTAP

Planta de Tratamiento de Agua Potable					
PRESUPUESTO Y CANTIDADES APROXIMADAS DE OBRA					
Ítem	Concepto	Cantidad	Unidad	Vr. Unitario 2024	Vr. Parcial 2024
SECCIÓN PRIMERA					
Tuberías prefabricadas y accesorios para conexión					
1.01	Tubería de PVC presión RDE 21				
a	Suministro e instalación de tubería PVC presión para conexiones hidráulicas	1,0	Global	\$ 4.590.000	\$ 4.590.000
b	Suministro e instalación de accesorios PVC presión para conexiones hidráulicas	1,0	Global	\$ 3.315.000	\$ 3.315.000
1.02	Conexiones de aire				
a	Suministro e instalación sistemas de conducción, accesorios, sistema para conducción y distribución de aire	1,0	Global	\$ 5.250.000	\$ 5.250.000
Subtotal				Subtotal \$	13.155.000
SECCIÓN SEGUNDA					
Unidades principales					
2.01	Unidades para desestabilización coloidal				
a	Suministro e instalación de Floculador - sedimentador lamellar construidos en PRFV para 1,0 L/s	1,0	und	\$ 18.070.000	\$ 18.070.000
2.02	Unidades de pulimento				
a	Suministro e instalación de la Unidad de filtración con válvula autolimpiante en PRFV con material especializado (Arena sílice)	1,0	und	\$ 9.000.000	\$ 9.000.000
b	Suministro e instalación de la Unidad de filtración con válvula autolimpiante en PRFV con material especializado (Arena sílice)	2,0	und	\$ 10.350.000	\$ 20.700.000

2.03	Suministro e instalación de bombas y elementos de apoyo					
a	Bomba dosificadora de hipoclorito de sodio	1,0	Und	\$	4.340.000	\$ 4.340.000
d	Suministro e instalación de bombas de impulsión	5,0	Und	\$	2.310.000	\$ 11.550.000
e	Bomba dosificadora de coagulante	1,0	und	\$	2.660.000	\$ 2.660.000
f	Bomba dosificadora de Floculante	1,0	und	\$	7.560.000	\$ 7.560.000
g	Suministro e Instalación de Blower para suministro de aire	1,0	Und	\$	8.190.000	\$ 8.190.000
h	Compresor para preparación de floculante	1,0	und	\$	1.400.000	\$ 1.400.000
i	Unidades para almacenamiento de coagulante y floculante	1,0	und	\$	1.560.000	\$ 1.560.000
j	Suministro e instalación de la Unidad de almacenamiento pulmón para filtros presurizados en PRFV	1,0	Und	\$	6.175.000	\$ 6.175.000
k	Estructura metálica para acceso a unidad de tratamiento fisicoquímico	1,0	Und	\$	5.460.000	\$ 5.460.000
2.04	Manejo de subproductos					
a	Suministro e instalación de Lechos de secado contruidos en PRFV	1,0	Und	\$	11.500.000	\$ 11.500.000
b	Actuador eléctrico para purga automática de lodos	1,0	und	\$	3.720.000	\$ 3.720.000
2.05	Instalaciones eléctricas.					
a	Suministro e instalación de tablero de control, Conexiones eléctricas y elementos de control para unidades electromecánicas	1,0	Global	\$	23.630.000	\$ 23.630.000
				Subtotal	Subtotal \$	135.515.000
SECCIÓN TERCERA						
Puesta en marcha y cumplimiento normativo						
3.02	Complementarios					
a	Puesta en operación, capacitación personal, elaboración de manuales de operación del PTAP y operación durante un (1) mes del sistema de tratamiento.	1,0	Global	\$	7.275.000	\$ 7.275.000
b	Toma de muestras y análisis de laboratorio durante un (1) mes de seguimiento, en términos de Hierro Total, Manganeso Total, Dureza Total, Dureza Magnésica, Nitratos	1,0	Global	\$	2.880.000	\$ 2.880.000
				Subtotal	Subtotal \$	10.155.000
				TOTAL	TOTAL \$	158.825.000
				AIU 15%	AIU 15% \$	23.823.750
				Administración 8%	Administración \$	12.706.000
					8%	
				Imprevistos 2%	Imprevistos 2% \$	3.176.500
				Utilidad 5%	Utilidad 5% \$	7.941.250
				IVA 19%	IVA 19% \$	1.508.838
				VALOR TOTAL	VALOR \$	184.157.588
					TOTAL	

Sostenibilidad y Mantenimiento del sistema

Para garantizar la sostenibilidad del sistema de acueducto veredal y asegurar la eficacia y eficiencia de la intervención, es crucial abordar diversos componentes que contribuyen a su mantenimiento a largo plazo. A continuación, se profundiza en estos componentes siguiendo las metodologías propuestas en el libro "Formulación y Evaluación de Proyectos" de Gabriel Baca Urbina.

Gestión Comunitaria y Participación Ciudadana

La participación de la comunidad es fundamental para la sostenibilidad del sistema de acueducto por lo cual es necesario establecer comités comunitarios encargados de la gestión y supervisión del acueducto: así mismo, realizar talleres y programas educativos para sensibilizar a la comunidad sobre el uso responsable del agua y la importancia del mantenimiento del sistema. Todo lo anterior se debe realizar involucrando a la comunidad en el proceso de planificación y toma de decisiones para fomentar el sentido de propiedad y responsabilidad.

Capacitación del Personal

Capacitar a técnicos y operarios locales en la operación y mantenimiento del sistema, incluyendo la reparación de tuberías, mantenimiento de bombas y tratamiento del agua para garantizar las condiciones adecuadas del sistema.

Mantenimiento Preventivo y Correctivo

Desarrollar e implementar un plan de mantenimiento preventivo y correctivo por medio de la creación de un calendario de actividades de mantenimiento rutinario, como inspecciones periódicas de las tuberías, limpieza de tanques de almacenamiento, y

verificación del funcionamiento de las bombas y equipos de tratamiento, así como también, establecer protocolos para la reparación rápida y eficiente de cualquier falla o avería en el sistema.

Financiamiento Sostenible

Para asegurar los recursos financieros para la operación y mantenimiento del sistema se plantea la implementación de un sistema de tarifas justo y equitativo que cubra los costos operativos y de mantenimiento, considerando la capacidad de pago de la comunidad, por otra parte, se debe crear un fondo de reserva para emergencias y reparaciones imprevistas y evitar suspensiones prolongadas del suministro de agua. Es de vital importancia realizar la gestión de subsidios y apoyos la alcaldía y organizaciones no gubernamentales para financiar proyectos de mejora y expansión.

El desarrollo sostenible de un acueducto rural requiere un enfoque holístico que abarque la gestión comunitaria, la capacitación del personal, el mantenimiento preventivo y correctivo, el financiamiento sostenible, el monitoreo y evaluación continuos, la protección de las fuentes de agua y la implementación de innovaciones. Lo tecnológico. Al abordar estos componentes de manera unificada y eficiente, el sistema de acueducto puede volverse efectivo y eficiente, asegurando un suministro constante de agua de calidad a la comunidad.

7. Conclusiones

La elaboración del proyecto ha permitido identificar claramente las deficiencias actuales en el suministro de agua potable en el centro poblado El Cruce de Puerto Parra. La infraestructura existente muestra necesidades de modernización, y los problemas detectados en la calidad del agua y la eficiencia operativa ofrecen una oportunidad significativa para mejorar el sistema a través de una optimización adecuada.

Analizar detalladamente el suministro de agua potable del centro poblado el Cruce, Puerto Parra, fue esencial durante el proceso, ya que incide directamente en la salud y en la calidad de vida de la población. Garantizar la calidad del agua no solo previene riesgos sanitarios, sino que también contribuye al bienestar integral de la comunidad. Asimismo, una gestión responsable y eficiente de los recursos hídricos resulta crucial para diseñar soluciones sostenibles que beneficien tanto a las generaciones presentes como futuras.

El uso de herramientas analíticas estructuradas y la integración de datos contextuales específicos permitieron abordar el problema de manera objetiva, priorizando soluciones basadas en evidencia y alineadas con las necesidades reales de la comunidad. Este enfoque garantiza que el proyecto sea replicable en contextos similares a nivel regional o nacional.

Mediante el uso de herramientas como las matrices MEFI, POAM y DOFA, se evaluaron dos alternativas principales: la implementación de una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) y la instalación de paneles solares para alimentar el sistema de bombeo. Aunque ambas alternativas presentan beneficios, la PTAP sobresale como la solución más integral debido a su capacidad para garantizar la calidad del agua, su menor dependencia de factores climáticos y su alineación con las necesidades a largo plazo de la comunidad.

Las matrices utilizadas permitieron un análisis detallado de las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas asociadas con cada alternativa. Este enfoque integral no solo ayudó a priorizar la solución más adecuada, sino que también identificó retos estratégicos clave, como la necesidad de financiamiento sostenible, la capacitación técnica del personal y la gestión efectiva de los riesgos políticos y medioambientales.

La implementación de una PTAP representa una solución integral y adaptada a las necesidades del acueducto del centro poblado El Cruce. Este sistema no solo asegura la calidad del agua suministrada, sino que también promueve beneficios sociales y ambientales de largo alcance. La planta será un pilar fundamental para mejorar la calidad de vida de los usuarios, proteger los recursos hídricos y garantizar la sostenibilidad del suministro de agua potable en la comunidad. Al abordar los desafíos actuales y fortalecer la infraestructura existente, esta alternativa se consolida como una solución clave para el desarrollo y bienestar del centro poblado.

8. Recomendaciones

La implementación de la planta genera lodos como subproducto del tratamiento, los cuales deben ser manejados de manera adecuada para evitar impactos adversos en el entorno. Se recomienda establecer protocolos claros para la disposición de estos residuos, alineados con las normativas ambientales locales. Además, el monitoreo constante de los procesos de tratamiento asegurará que no se generen contaminantes secundarios, reforzando el compromiso con la sostenibilidad ambiental.

Desarrollar un programa estructurado de capacitación continua, en el que se aborden tanto las habilidades operativas como los aspectos administrativos y de gestión de la planta. La implementación de evaluaciones periódicas para asegurar que el personal se mantenga actualizado sobre las mejores prácticas en el tratamiento de agua potable y se prevenga cualquier tipo de negligencia que pueda afectar el funcionamiento de la planta.

Implementar un sistema de monitoreo continuo de la calidad del agua en las fuentes de abastecimiento, que permita detectar cualquier signo de contaminación o deterioro en las condiciones del agua antes de que afecte el tratamiento. Además, se deben establecer

protocolos de emergencia para la limpieza o cambio de las fuentes de captación, asegurando que el sistema de tratamiento pueda seguir operando sin riesgos de contaminación.

Referencias bibliográficas

Alcaldía de Puerto Parra. (2020). *Plan de Desarrollo Municipio Puerto Parra 2020-2023*.

Alcaldía de Puerto Parra.

Álvarez, M., & Ortiz, L. (2021). Estrategias para mejorar el abastecimiento de agua potable en acueductos veredales de Santander. *Revista de Ingeniería Rural*, 7(1), 70-85.

Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento. (2020). *Manual de abastecimiento de agua y saneamiento*.

Brown, K., & Jackson, P. (2017). Water resource management in rural Australia: Challenges and solutions. *Journal of Rural Studies*, 54, 68-80.

Cauas, D. (2015). Definición de las variables, enfoque y tipo de investigación. Bogotá: biblioteca electrónica de la universidad Nacional de Colombia, 2, 1-11.

<https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w24762w/Definiciondelasvariables,enfoqueytipodeinvestigacion.pdf>

Chapman, D. V. (1996). *Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. UNESCO/WHO/UNEP.

Constitución Política de Colombia. (1991). Artículo 366. Diario Oficial No. 32.574. <https://www.corteconstitucional.gov.co/>

Córdoba, M. T., & Castro, A. J. (2020). Educación ambiental y gestión del agua en comunidades rurales. *Revista de Educación y Desarrollo Comunitario*, 16(2), 45-58.

Carpenter, S. R., Cole, J. J., & Hodgson, J. R. (1999). Ecological Resilience and the Response of Ecosystems to Changes. *Journal of Ecology*, 87(6), 1054-1065.

Decreto 1575 de 2007 [Ministerio de la Protección Social]. por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. 9 de mayo de 2007.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=30007>

Decreto 3930 de 2010. [Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. 25 de octubre de 2010. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=40620>

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2020). *Informe sobre el acceso al agua potable en zonas rurales de Colombia*. DNP. <https://www.dnp.gov.co/>

Esteban Nieto, N. (2018). Tipos de investigación.

<https://core.ac.uk/download/pdf/250080756.pdf>

Ellen MacArthur Foundation. (2017). What is circular economy?

Fernández, J., & Medina, E. (2022). Análisis y mejora del sistema de abastecimiento de agua potable en Puerto Parra. *Revista de Desarrollo Local*, 11(1), 45-59.

García, A., & Méndez, S. (2021). Optimización del sistema de agua potable en zonas rurales de Boyacá. *Revista de Gestión Ambiental*, 10(2), 112-126.

Gay, L. (1996). *Educational Research Neu Jersey*. Estados Unidos: Prentice Hall Inc.

Resolución 0330 de 2017. [Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio] Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento

- Básico (RAS). 8 de junio de 2017. <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0330-2017-0>
- Gómez, R., & Vallejo, A. (2019). Mejoras en el suministro de agua potable en zonas rurales de Santander. *Revista de Tecnología Rural*, 8(3), 98-115.
- Gleick, P. H. (2003). Water Use. *Annual Review of Environment and Resources*, 28, 275-314.
- Holling, C. S. (1973). Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 1-23.
- Herrera, L., & Castro, M. (2020). Evaluación del sistema de abastecimiento de agua potable en el sur de Bolívar. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 9(4), 78-94.
- Hossain, M., & Islam, N. (2018). Community-based water management practices in rural Bangladesh. *Water Resources Management*, 32(1), 129-143.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2019). Guía para la planificación estratégica en sistemas de agua potable.
- Kalulu, K., & Banda, S. (2019). Integrating technology and community participation for improved water supply systems in sub-Saharan Africa. *African Journal of Water Resources*, 15(2), 45-62.
- Lewin, K. (1947). *Frontiers in Group Dynamics*. *Human Relations*, 1(2), 143-153.
- UNESCO. (1977). *The Tbilisi Declaration: Final Report*. UNESCO.
- López, C., & Torres, E. (2020). Evaluación del sistema de suministro de agua potable en un acueducto rural en Antioquia. *Revista de Ingeniería Civil*, 12(1), 33-50.

Ley 142 de 1994 por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. 11 de julio de 1994 D.O. No. 41433.

http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0142_1994.html

Ley 373 de 1997. Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua. 11 de junio de 1997. D.O. No 43058. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/ley-373-1997.pdf>

Ley 99 de 1993. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones. 22 de diciembre de 1993. D.O. No 41146.

http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0099_1993.html

López, J. (2024). Metodologías de investigación: Una guía completa. Editorial Universitaria.

Martínez, P., & Rodríguez, G. (2021). Estrategias sostenibles para la gestión del agua en comunidades indígenas de la Amazonía colombiana. *Revista de Sostenibilidad Ambiental*, 14(3), 87-104.

Mays, L. W. (2006). *Water Resources Sustainability*. McGraw-Hill.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). *Guía para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH)*. Ministerio de Ambiente.

Molle, F., & Berkoff, J. (2006). *Water and the Future of the Mekong: Integrated Water Resources Management in the Mekong River Basin*. International Water Management Institute.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2021).

Educación para el desarrollo sostenible.

Organización Mundial de la Salud. (2017). Guidelines for drinking-water quality, fourth edition incorporating the first addendum. OMS.

- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2021). *Directrices para la calidad del agua potable*. OMS.

Pérez, J., & Sánchez, D. (2018). Mejora del sistema de abastecimiento de agua en comunidades rurales de Colombia mediante nuevas tecnologías. *Revista de Tecnología y Sociedad*, 9(2), 123-139.

Ramírez, L., & González, H. (2019). Implementación de tecnologías sostenibles para el abastecimiento de agua potable en el Chocó. *Revista de Innovación Tecnológica*, 11(1), 50-67.

Rodríguez, F., & Moreno, J. (2020). Diagnóstico y propuestas de mejora para el sistema de agua potable en el Cruce de Puerto Parra. *Revista de Desarrollo Local*, 8(2), 58-74.

Redes de Innovación de Agua. (2022). TICs en la gestión del agua: oportunidades y desafíos.

Ruiz, P., & Cardona, G. (2019). Implementación de tecnologías para el suministro de agua potable en comunidades veredales de Santander. *Revista de Tecnología Local*, 6(3), 105-120.

Salazar, V., & Díaz, R. (2018). Soluciones sostenibles para el suministro de agua en comunidades rurales de Cundinamarca. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 7(2), 134-150.

- Sharma, P., & Singh, R. (2020). Sustainable water management practices in rural India: Community participation and technological innovation. *Journal of Water and Sustainability*, 12(4), 154-172.
- Tres, S. E. S. I. O. N. (2008). Metodología de la Investigación. Obtenido de <http://www.ceavirtual.ceuniversidad.com/material/3/metod1/353.pdf>.
<https://ceuniversidad.com/wp-content/uploads/2023/04/353.pdf>
- Smith, L. K., & Martinez, D. R. (2019). Educación y conservación del agua: Un enfoque comunitario. *Revista de Educación Ambiental*, 15(2), 44-57.
- Vásquez, M. L., & Rodríguez, J. P. (2021). Evaluación de la calidad del agua en sistemas de acueductos rurales. *Revista de Salud Ambiental*, 8(3), 67-80.