

**Estudio de factibilidad para la implementación de una planta de tratamiento de aguas  
residuales (PTAR) en la vereda Guayabal del municipio de Suaza**

Edna Rocio Cortes Peréz

Asesor

William Oswaldo Ortegón Criollo

Universidad Nacional Abierta y A Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Administrativas Contables, Económicas y de Negocios ECACEN

Tecnología en Gestión de Obras Civiles y Construcciones

2025

### **Dedicatoria**

Primeramente, agradecida con Dios por las bendiciones y oportunidades, por las personas que han estado conmigo en este proceso y me han ayudado, de alguna manera, alcanzar este objetivo a lo largo de un camino lleno de retos y aprendizajes. Por último, gracias a la universidad por su modalidad a distancia y convenios.

## **Agradecimientos**

Deseo expresar mi profundo agradecimiento por el camino recorrido durante la realización de este proyecto de grado. Reconozco el esfuerzo, la constancia y la dedicación que puse en cada etapa, incluso en los momentos más exigentes. Este proceso me permitió crecer, aprender y confirmar que la disciplina y la perseverancia son fundamentales para alcanzar mis metas. Todo este esfuerzo tiene un propósito aún más grande: mis hijos, quienes son mi mayor motivación y la razón por la que cada día busco superarme.

Agradezco de manera especial a mi pareja, cuyo apoyo incondicional fue esencial durante este recorrido. Gracias por tu comprensión frente a mis horarios extensos, por tu paciencia en los días agotadores y por acompañarme mientras equilibraba mis responsabilidades del hogar, el trabajo y el estudio. Tu respaldo constante hizo que este desafío fuera más llevadero y significativo.

Extiendo mi agradecimiento a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) por su acompañamiento y por la oportunidad que brinda a estudiantes de diversos contextos, especialmente a quienes contamos con recursos limitados, a través de sus modalidades de apoyo.

Su labor y compromiso hacen posible que muchos logremos avanzar en nuestros propósitos académicos.

Agradezco también a todas las personas que me acompañaron durante este proceso, y de manera particular a mi tutor, William Ortigón, por su paciencia, orientación y acompañamiento continuo. Su guía fue clave para culminar con éxito este proyecto.

A todos y a cada uno, gracias por ser parte de este logro tan importante en mi vida y en el futuro que deseo construir para mis hijos.

## Resumen

El presente proyecto tiene como finalidad evaluar la factibilidad para la implementación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en la vereda Guayabal, del municipio de Suaza, con el propósito de disminuir la contaminación generada por el vertimiento de aguas residuales domésticas y agrícolas. Actualmente, la comunidad no cuenta con un sistema adecuado de tratamiento, lo que ha ocasionado afectaciones ambientales, contaminación de las fuentes hídricas y riesgos para la salud pública debido a las descargas directas al río y al uso de soluciones artesanales inadecuadas. El proyecto busca identificar las principales fuentes de contaminación y analizar alternativas técnicas, económicas, ambientales y sociales que permitan determinar la viabilidad de una PTAR adaptada a las condiciones rurales de la comunidad. Asimismo, pretende evidenciar la importancia del saneamiento básico y la gestión adecuada de las aguas residuales como herramientas fundamentales para la protección de los recursos naturales y el mejoramiento de la calidad de vida de la población. De igual manera, la investigación pretende contribuir al desarrollo sostenible de la vereda Guayabal mediante una solución que reduzca los impactos ambientales, fortalezca la salud comunitaria y promueva mejores condiciones sociales y económicas. Finalmente, este estudio permite aplicar conocimientos técnicos relacionados con obras civiles y saneamiento ambiental en la búsqueda de soluciones reales para las necesidades del territorio.

***Palabras clave:*** PTAR, factibilidad, impacto ambiental, recurso hídrico, desarrollo sostenible.

### **Abstract**

This project aims to evaluate the feasibility of implementing a Wastewater Treatment Plant (WWTP) in the village of Guayabal, located in the municipality of Suaza, in order to reduce the pollution caused by the discharge of domestic and agricultural wastewater. Currently, the community does not have an adequate treatment system, which has led to environmental impacts, contamination of water sources, and public health risks due to direct discharges into the river and the use of inadequate artisanal solutions. The project seeks to identify the main sources of pollution and analyze technical, economic, environmental, and social alternatives that will determine the feasibility of a WWTP adapted to the rural conditions of the community. Likewise, it aims to highlight the importance of basic sanitation and proper wastewater management as fundamental tools for the protection of natural resources and the improvement of the population's quality of life. Similarly, the research intends to contribute to the sustainable development of the Guayabal village through a solution that reduces environmental impacts, strengthens community health, and promotes better social and economic conditions. Finally, this study makes it possible to apply technical knowledge related to civil works and environmental sanitation in the search for real solutions to the needs of the territory.

**Keywords:** WWTP, feasibility, environmental impact, water resources, sustainable development.

## Tabla de Contenido

Introducción.....	9
Justificación.....	10
Objetivos .....	11
EL PROBLEMA.....	12
Planteamiento del problema .....	12
Formulación del problema.....	13
Limitaciones .....	14
Restricciones y constricciones .....	14
<i>Restricciones (externas)</i> .....	14
<i>Constricciones (internas del proyecto y del territorio):</i> .....	14
Marco Teórico.....	15
Antecedentes .....	15
Bases teóricas .....	16
<i>Aguas residuales:</i> .....	16
<i>Contaminación del recurso hídrico</i> .....	17
<i>Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR)</i> .....	17
<i>Tecnología adecuada para área rural</i> .....	17
<i>Normativa básica para el tratamiento de aguas residuales</i> .....	18
<i>Gestión integral del recurso hídrico</i> .....	18
Definición de términos.....	18
<i>¿Qué es una PTAR?</i> .....	18
<i>Impacto ambiental</i> .....	19
<i>Caracterización de aguas</i> .....	19
<i>Pretratamiento</i> .....	19
<i>Diseño y sus características</i> .....	20
<i>Planos</i> .....	20
<i>Sostenibilidad</i> .....	21
<i>Gestión de riesgos</i> .....	21
Sistema de variables .....	22
Variable general:.....	22
Variables específicas: .....	22
Actores involucrados.....	23

Marco Metodológico .....	24
Nivel de investigación .....	24
<i>Fase preliminar y de reconocimiento</i> .....	24
<i>Diseño y prefactibilidad</i> .....	24
<i>Estudio de resultados e indicadores financieros</i> .....	24
<i>Análisis de impacto ambiental y social</i> .....	26
<i>Diseño de investigación</i> .....	26
<i>Población y muestra</i> .....	26
<i>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</i> .....	27
<i>Técnicas de procesamiento y análisis de datos</i> .....	28
Aspectos Administrativos .....	29
Recursos Humanos: Equipo Técnico–Profesional.....	29
Recursos físicos .....	30
Recursos Financieros.....	30
Cronograma de Actividades. Diagrama de Gantt .....	32
Aspectos Ambientales, Riegos y Responsabilidades.....	33
Impacto ambiental.....	33
Impacto social y cultural .....	34
Riesgos .....	37
Indicadores de medición y fuentes de verificación .....	38
Anexos.....	42
Figuras.....	42
Conclusiones .....	43
Recomendaciones.....	44
Referencias Bibliográficas .....	45

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Diagrama de Gantt del proyecto PTAR en la vereda Guayabal</i> .....	43
--	----

## **Introducción**

La gestión adecuada de las aguas residuales constituye uno de los principales desafíos ambientales y sanitarios en las zonas rurales de Colombia. En la vereda Guayabal, ubicada en el municipio de Suaza (Huila), el crecimiento poblacional, las actividades agrícolas y el aumento en el consumo doméstico de agua han generado un incremento en la producción de aguas residuales que actualmente no reciben un tratamiento apropiado. Esta situación puede generar afectaciones en los cuerpos hídricos cercanos, impactos en la salud pública y deterioro del entorno natural.

El presente estudio se orienta a analizar la factibilidad técnica, ambiental, económica y social para la implementación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) que permita mitigar los impactos negativos asociados a la disposición inadecuada de las aguas residuales. En este documento se expone el problema, los objetivos de la investigación, la justificación del estudio y las limitaciones que enmarcan el proceso.

### **Justificación**

La implementación de una PTAR en la vereda Guayabal contribuiría al mejoramiento de la calidad ambiental y de la salud de la comunidad, además de generar beneficios sociales y económicos, por esta razón, es necesario realizar un estudio de factibilidad que permita determinar si el proyecto pueda desarrollarse de manera adecuada.

Esta investigación se considera fundamental, ya que está directamente relacionada con la calidad de vida de una población. Asimismo, permite fortalecer conocimientos adquiridos en el proceso de formación como tecnólogo en obras civiles, orientando su aplicación hacia la solución de problemáticas reales del entorno. Adicionalmente se evidencia que la comunidad presenta diversas necesidades en materia de infraestructura, salud y educación, lo que obliga a desplazamientos hacia otros lugares para acceder a estos servicios. La problemática del manejo inadecuado de aguas residuales agrava estas condiciones, afectando la salud, la economía y el bienestar social. La implementación de una solución como la PTAR contribuiría a la recuperación ambiental, la mejora en las condiciones de salud, el fortalecimiento de la economía local y el desarrollo de nuevas oportunidades para la comunidad.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Evaluar la factibilidad para la implementación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en la vereda Guayabal del municipio de Suaza, con el fin de reducir los impactos ambientales y mejorar la calidad de vida de la población.

### **Objetivos específicos**

Diagnosticar las principales fuentes de contaminación hídrica en la vereda Guayabal y su relación con las actividades domésticas y agrícolas.

Analizar las alternativas técnicas, económicas y ambientales para la implementación de una PTAR en la vereda Guayabal.

Proponer un plan de acción que contemple la viabilidad social, económica y ambiental del proyecto, orientado al saneamiento básico y la preservación de los recursos hídricos.

## **EL PROBLEMA**

### **Planteamiento del problema**

La Construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) es una necesidad para la comunidad del centro poblado de Guayabal. Debido a que no se ha llevado a cabo su implementación, se está generando contaminación por el vertimiento de aguas residuales sin tratamiento, lo cual ocasiona una problemática significativa en términos de salud, ambiente y economía, ya que estos residuos se están descargando directamente al río, generando daños que pueden ser hasta irreversibles.

Adicionalmente, existen viviendas, especialmente en la zona oriental, que cuentan con soluciones artesanales, como mangueras con vertimiento directo al suelo o pozos sépticos, los cuales, al no tener una operación adecuada, generan proliferación de vectores y contaminación ambiental.

Esta problemática no solo se presenta a nivel local, sino también a nivel mundial, regional y departamental. Se estima que aproximadamente el 80% de las aguas residuales no reciben tratamiento adecuado, lo que representa una de las principales fuentes de contaminación hídrica, esta situación evidencia una problemática relacionada con la falta de acceso equitativo a servicios de saneamiento básico.

En la vereda Guayabal del municipio de Suaza, sin índole de importancia a los medios correspondientes, como gobierno, salud pública, entre otros. El sistema de alcantarillado existente está compuesto únicamente por redes de recolección, sin contar con una planta de tratamiento, ni con estaciones de bombeo.

Asimismo, se evidencia una limitada gestión institucional y escasa información disponible sobre la situación de la vereda, lo que dificulta la visibilización de la problemática,

Guayabal es una vereda perteneciente al Municipio de Suaza, Huila y tiene una altitud de 1.017 metros, se encuentra cerca de la localidad de Las Quemadas, así como de La Paja. Según (En el artículo ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL 2000 – 2009) el sistema de acueducto municipal cuenta con captación de las quebradas La Singa y Emaya que tienen cubrimiento aceptable en el perímetro urbano. La calidad del agua no cumple con condiciones bacteriológicas adecuadas para el consumo humano y presenta intermitencias en el servicio debido, a falta de infraestructura complementaria.

Si no se implementa una solución adecuada la problemática continuara afectando la calidad de vida de la población, incrementando las enfermedades, disminuyendo la productividad y deteriorando progresivamente los recursos naturales, por lo tanto, la construcción de una PTAR se convierte en una necesidad fundamental para mejorar las condiciones de vida y promover el desarrollo sostenible de la comunidad.

### **Formulación del problema**

¿De qué manera la implementación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en la vereda Guayabal del municipio de Suaza, contribuiría a mitigar la contaminación generada por las descargas domésticas y agrícolas, mejorando las condiciones ambientales y la calidad de vida de la comunidad?

## **Limitaciones**

El estudio puede verse limitado por factores como la disponibilidad de datos ambientales actualizados, el acceso al territorio, la disposición de la comunidad para participar en el proceso y los recursos financieros necesarios para realizar mediciones especializadas.

Asimismo, la variabilidad climática puede influir en la caracterización del recurso hídrico y puede presentar restricciones de tipo normativo o administrativo relacionadas con permisos ambientales y uso del suelo.

### **Restricciones y constricciones**

*Restricciones (externas):* limitaciones presupuestales, normativas ambientales, baja participación comunitaria, dificultades de acceso y transporte en la vereda, así como los tiempos requeridos para la obtención de permisos y estudios.

*Constricciones (internas del proyecto y del territorio):* condiciones del terreno, disponibilidad de espacio, variabilidad en la calidad y cantidad de las aguas residuales, limitada capacidad técnica local para operar la planta y factores climáticos que pueden afectar su funcionamiento.

## Marco Teórico

El saneamiento básico es fundamental para protección de la salud pública y el ambiente, especialmente en zonas rurales donde las aguas residuales suelen descargarse sin tratamiento. Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) permiten reducir la contaminación mediante la remoción de materia orgánica, sólidos, nutrientes y microorganismos que afectan la calidad de las fuentes hídricas y los suelos.

Una PTAR funciona a través de etapas de tratamiento preliminar, primario, secundario y en algunos casos, terciario. La selección de la tecnología depende del tipo de agua residual, el tamaño de la población, las condiciones del terreno y los recursos disponibles. En áreas rurales se priorizan sistemas de bajo costo y fácil operación, como lagunas de estabilización, humedales artificiales y biorreactores anaerobios.

Para determinar la viabilidad de una PTAR se analizan parámetros como DBO, DQO, SST, pH y coliformes, comparando la calidad del agua antes y después del tratamiento. Además, el diseño debe cumplir la normatividad ambiental vigente en Colombia.

El estudio de factibilidad evalúa la viabilidad técnica, económica, ambiental y social del proyecto, considerando alternativas de tratamiento, costos, aceptación comunitaria y beneficios.

La ubicación del lote para la construcción de la PTAR sería esta:

1°54'4.40"N, 75°48'4.79"O

## Antecedentes

En Colombia, el manejo inadecuado de las aguas residuales ha sido una problemática recurrente, especialmente en zonas rurales donde el acceso a sistemas de saneamiento es limitado. Históricamente, muchas comunidades han vertido sus aguas domésticas directamente en quebradas, ríos o suelos cercanos, generando contaminación, afectación a la salud pública y

deterioro de los ecosistemas. Esta situación ha llevado a que el país promueva políticas y programas orientados al fortalecimiento del saneamiento básico rural y a la construcción de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de bajo costo y fácil operación.

En el municipio de Suaza y sus veredas, los sistemas de tratamiento existentes han sido insuficientes o inexistentes, lo que ha producido sobrecarga contaminante en las fuentes hídricas locales. La vereda Guayabal, en particular, presenta un aumento en la generación de aguas residuales debido al crecimiento poblacional y a las actividades domésticas, sin contar con una infraestructura adecuada para su tratamiento. Esto ha generado preocupación en la comunidad y en las autoridades locales por los impactos ambientales y sanitarios asociados.

Diversos estudios y proyectos similares realizados en áreas rurales del país han demostrado que la implementación de sistemas de tratamiento sencillos —como lagunas de estabilización, humedales construidos o tecnologías anaerobias— es una alternativa viable, sostenible y de fácil mantenimiento. Estos antecedentes sirven como referencia para valorar la pertinencia de desarrollar una PTAR en la vereda Guayabal y respaldan la importancia de un estudio de factibilidad que permita determinar la solución más adecuada para la comunidad.

En este contexto, se hace necesario analizar las condiciones actuales del manejo de aguas residuales en la vereda, valorar los impactos generados por la ausencia de un sistema de tratamiento y evaluar alternativas tecnológicas que cumplan con los requisitos ambientales y se ajusten a las posibilidades técnicas, sociales y económicas del territorio.

## **Bases teóricas**

### ***Aguas residuales:***

Las aguas residuales se generan después de ser utilizadas en actividades domésticas, agrícolas, comerciales o productivas. Estas contienen materia orgánica, sólidos, grasas,

detergentes y microorganismos que pueden causar contaminación si no reciben un tratamiento adecuado. Su manejo correcto es indispensable para proteger el ambiente y evitar afectaciones a la salud humana y a los ecosistemas.

### ***Contaminación del recurso hídrico***

la contaminación hídrica se produce cuando sustancias o elementos alteran la calidad natural del agua. En zonas como la vereda Guayabal, esta contaminación se origina por el vertimiento directo de aguas domésticas sin tratamiento, lo que afecta la calidad de las quebradas y fuentes de agua que utilizan las comunidades. Esto genera malos olores, proliferación de vectores y deterioro de los recursos naturales.

### ***Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR)***

Una PTAR es un conjunto de procesos diseñados para disminuir la carga contaminante de las aguas residuales. Su objetivo principal es mejorar la calidad del agua antes de devolverla al ambiente o darle algún tipo de uso. Una planta normalmente incluye etapas como:

Tratamiento primario, donde se retiran sólidos y materiales sedimentables.

Tratamiento secundario, donde microorganismos degradan la materia orgánica.

Tratamiento terciario, que busca remover nutrientes, patógenos o sustancias específicas cuando el proyecto lo requiere.

La implementación de una PTAR en la vereda Guayabal permite proteger las fuentes hídricas y mejorar las condiciones sanitarias de la comunidad.

### ***Tecnología adecuada para área rural***

Se deben utilizar tecnologías de tratamiento que sean económicas, de fácil operación y con bajos requerimientos de mantenimiento. Entre las alternativas más utilizadas se encuentran las lagunas de estabilización, los sistemas sépticos, los filtros anaerobios y los humedales

construidos. Estas funcionan bien en comunidades pequeñas, tienen bajos costos de operación y no requieren personal altamente especializado.

### ***Normativa básica para el tratamiento de aguas residuales***

La gestión y tratamiento de aguas residuales en Colombia se rige por diversas normas, entre ellas:

Decreto 1076 de 2015 (Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente)

Resolución 0631 de 2015, que establece los parámetros y valores máximos permisibles para vertimientos puntuales a cuerpos de agua

Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM)

Estas normas establecen límites de DBO5, DQO, SST, CAUDAL, grasas y aceites, coliformes y otros parámetros que deben cumplirse para realizar descargas seguras al ambiente, cumplir estas normas garantiza que la PTAR funcione de manera adecuada y minimice los impactos negativos sobre el entorno.

### ***Gestión integral del recurso hídrico***

Busca asegurar que el agua se utilice, proteja y recupere de manera responsable. El tratamiento de aguas residuales es una parte fundamental de esta gestión, ya que contribuye a mantener limpias las fuentes hídricas, reducir enfermedades, mejorar la calidad de vida y garantizar que el agua esté disponible para las generaciones futuras.

### **Definición de términos**

#### ***¿Qué es una PTAR?***

son las siglas de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Se trata de un lugar físico equipado y destinado para llevar a cabo procesos químicos, físicos y biológicos que eliminan los contaminantes presentes en el agua residual. Estas aguas residuales pueden tener su origen en el

uso doméstico, el agua resultante de hogares o empresas, pero solo se considera como agua doméstica la proveniente de baños, lavabos, duchas, lavadoras, etc.

### ***Impacto ambiental***

alteración favorable o desfavorable que experimenta el ambiente como resultado de la actividad humana o de la naturaleza. Las modificaciones producidas por un impacto ambiental pueden afectar la salud de las personas, la calidad del aire, del agua y del suelo, la biodiversidad y los ecosistemas en su conjunto. La magnitud de un impacto ambiental depende de factores como la intensidad, la duración y la posible reversibilidad de la alteración. Asimismo, los impactos pueden ser positivos o negativos, en función de si contribuyen a la conservación del ambiente o generan un deterioro.

### ***Caracterización de aguas***

La caracterización de aguas es un proceso mediante el cual se definen y clasifican los distintos elementos en el agua. Mediante esta caracterización se puede determinar si el agua es apta para su uso, ya sea en cultivos, limpieza, u otros. E incluso si es apta para consumir para los seres humanos o para los animales. Pero, sobre todo, es un proceso en extremo útil para determinar cómo tratar las aguas residuales. A las aguas residuales es necesario darles el tratamiento adecuado para que no contaminen otras fuentes de agua. En el momento de realizar la caracterización de aguas, hay varios puntos que deben tenerse en cuenta. Algunos factores físicos son: el olor, textura, turbiedad, color, entre otros. Y algunos químicos son: la acidez, la cantidad de compuestos como cloro, amoníaco, fosfatos, sulfatos, entre otros.

### ***Pretratamiento***

En una estación depuradora de aguas residuales, el pretratamiento de las aguas residuales es el primer proceso realizado de acondicionamiento de las aguas. El pretratamiento busca

acondicionar el agua residual para facilitar posteriormente los tratamientos propiamente dichos, y preservar así la instalación de erosiones y taponamientos. El pretratamiento incluye equipos tales como rejillas y tamices (para la separación de partículas de gran tamaño, como botellas de plástico), desarenadores (para eliminar la arena presente en las aguas residuales) y desengrasadores (para eliminar grasas y aceites). Tras el pretratamiento, en una estación depuradora se suele seguir el proceso de tratamiento con el tratamiento primario en decantadores, en los que se hace decantar por gravedad las partículas en suspensión presentes en las aguas.

### ***Diseño y sus características***

Es un proceso de planificación creativa, en el que se persigue la solución para algún problema en concreto, especialmente en el contexto de la ingeniería, la industria, la arquitectura, la comunicación y otras disciplinas afines. También, es una disciplina autónoma que juega un rol vital en el mundo contemporáneo aun grado donde se ha asimilado prácticamente todas las áreas que realiza el ser humano y mantiene una figura entre las carreras de estudio más demandadas internacionales. Es por ello, que su disciplina suele ser general mediante las siguientes características:

Observación y análisis, Planificación y proyección, Construcción y ejecución y por último Evaluación.

### ***Planos***

Los planos forman parte de un documento del proyecto, y en ellos se representa gráficamente en dos dimensiones y a diferentes escalas lo que se quiere llevar a cabo. Deben contener gráficos y dibujos que representen desde la idea global hasta el detalle de aspectos ambiguos o conflictivos. Hay muchos tipos de planos, según el tipo de proyecto, destacando los

planos de situación, los generales que den una idea global, los alzados y las secciones de todos los elementos y los de detalle.

### ***Sostenibilidad***

capacidad de mantener o preservar un equilibrio en el uso de recursos naturales, sociales y económicos, de manera que satisfaga las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas. En otras palabras, se trata de adoptar prácticas y comportamientos que permitan satisfacer nuestras necesidades presentes sin comprometer los recursos y el bienestar de las generaciones futuras.

### ***Gestión de riesgos***

es el proceso de identificar, planificar y organizar la presencia de factores tanto internos como externos a las actividades de las empresas que influyen en los objetivos de corto, mediano y largo plazo. Para ello es indispensable direccionar y controlar de manera eficiente los recursos físicos y humanos de las organizaciones, con el fin de reducir al mínimo los riesgos y la incertidumbre asociados a las diferentes actividades económicas.

### **Sistema de variables**

Para el estudio de factibilidad de la PTAR en la vereda Guayabal, se identifican las siguientes variables:

#### **Variable general:**

Viabilidad del proyecto determina si la PTAR puede implementarse y funcionar correctamente, considerando aspectos técnicos, económicos, ambientales y sociales.

#### **Variables específicas:**

Factibilidad técnica evalúa si la PTAR puede construirse y operar correctamente según el caudal de aguas residuales, la tecnología seleccionada y las condiciones del terreno.

Factibilidad económica analiza si los costos de construcción, operación y mantenimiento son sostenibles y si el proyecto resulta rentable o financiable.

Factibilidad ambiental determina si la PTAR reducirá los impactos negativos sobre el agua y el entorno, cumpliendo con criterios de protección ambiental.

Factibilidad social examina la aceptación de la comunidad y su disposición a participar en la operación y mantenimiento del proyecto.

La viabilidad del proyecto depende directamente del cumplimiento de estas variables específicas; si todas se cumplen de manera favorable, el proyecto se considera factible.

### **Actores involucrados**

Teniendo en cuenta el alcance del proyecto, se presenta a continuación los actores involucrados en el proceso desde la concepción del proyecto hasta su Viabilización.

Aguas del Huila S.A. E.S.P

Alcalde municipal

Prosoluciones

Junta de usuarios Alcantarillado

## **Marco Metodológico**

El enfoque de la investigación es mixto (cualitativo y cuantitativo), ya que analiza aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales del proyecto.

### **Nivel de investigación**

Es aplicado, descriptivo y evaluativo, orientado a determinar la viabilidad de la implementación de una PTAR en la vereda Guayabal.

Sus fases a desarrollar son:

#### ***Fase preliminar y de reconocimiento***

Recopilación de información: Análisis de datos demográficos, hidrológicos y ambientales del área.

Levantamientos topográficos, estudios de suelo y visitas de campo para conocer las condiciones del terreno.

Consulta ciudadana y socialización: Participación de la comunidad en la planificación del proyecto.

Negociaciones con propietarios de terrenos y actores clave locales.

#### ***Diseño y prefactibilidad***

Estudio de alternativas técnicas: Evaluación de diferentes tecnologías de tratamiento: procesos biológicos (lodos activados, biodiscos, etc.) y físico-químicos.

Análisis de ventajas, desventajas, costos y eficiencia de cada opción.

Diseño técnico preliminar: Dimensionamiento de equipos y unidades de tratamiento: rejillas de desbaste, desarenadores, tanques de aireación, sedimentadores, etc.

Elaboración de planos conceptuales y memoria de cálculo.

#### ***Estudio de resultados e indicadores financieros***

**Alternativa 1:** Tratamiento preliminar + Reactor UASB + Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente + Lechos de Secado.

**Eficiencia DBO:** 87.75%

**Eficiencia SST:** 84.00%

**Alternativa 2:** Tratamiento preliminar + Tanque Imhoff + Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente + Lechos de Secado

**Eficiencia DBO:** 73.75%

**Eficiencia SST:** 80.00%

**Alternativa 3:** Tratamiento preliminar + Sedimentador Primario + Filtro Percolador + Sedimentador Secundario + Espesador de Lodos + Lechos de Secado

**Eficiencia DBO:** 91.43%

**Eficiencia SST:** 90.00%

De esta manera, la tasa retributiva a cancelar anualmente por el operador, a partir de los escenarios planteados seria:

**Sin tratamiento:** \$ 6.428.783

**Alternativa 1:** \$ 824.960

**Alternativa 2:** \$ 1.577.240

**Alternativa 3:** \$ 568.476

Obra civil	100%
Interventoría de obra civil	100%
Costos de suministro	100%
Interventoría de suministro	100%
Fortalecimiento institucional	100%

Plan de manejo ambiental 100%

Seguimiento del gestor 100%

### ***Análisis de impacto ambiental y social***

**Agua:** Alteración de propiedades físicas, químicas y microbiológicas, afectación de aguas subterráneas y disponibilidad del recurso hídrico.

**Aire:** Contaminación por resuspension de material particulado.

**Ruido:** Contaminación auditiva generada por maquinaria.

**Suelo:** Compactación, generación de residuos de construcción y demolición (RCD).

Generación de residuos sólidos.

**Flora y fauna:** Alteración de especies y desplazamiento por actividades del proyecto

### ***Diseño de investigación***

El diseño de investigación es no experimental y de corte transversal:

**No experimental:** No se manipulan variables, sino que se observa y analiza la realidad tal como ocurre en la vereda.

**Transversal:** Los datos se recogen en un solo momento del tiempo, evaluando las condiciones actuales de las aguas residuales, la infraestructura disponible y la percepción de la comunidad.

Este diseño permite evaluar la factibilidad del proyecto desde distintas dimensiones (técnica, económica, ambiental y social) sin intervenir directamente en el entorno.

### ***Población y muestra***

**Población:** La población del estudio está conformada por los habitantes de la vereda Guayabal y actores clave de la comunidad que aportan información relevante para evaluar la factibilidad de la PTAR. Esto incluye:

Familias que generan aguas residuales en sus viviendas.

Líderes comunitarios y miembros de asociaciones locales relacionados con el agua y el saneamiento.

Personal técnico o administrativo involucrado en la gestión de recursos hídricos en la zona.

Esta población proporciona información tanto cuantitativa (caudal de aguas residuales, número de usuarios, costos estimados) como cualitativa (opiniones, percepción y disposición de la comunidad).

**Muestra:** Dado que la población de la vereda es relativamente pequeña, se puede optar por un muestreo no probabilístico por conveniencia, seleccionando:

Un número representativo de familias para recopilar datos sobre el consumo de agua y generación de aguas residuales.

Líderes comunitarios y personas clave para entrevistas o encuestas que permitan conocer la percepción y aceptación del proyecto.

Si se dispone de recursos suficientes, también se puede hacer un muestreo censal, incluyendo a toda la población de la vereda, lo que garantiza que los resultados sean más precisos y representativos.

### ***Técnicas e instrumentos de recolección de datos***

Para este proyecto se utilizará una combinación de técnicas cuantitativas y cualitativas, acorde con el enfoque mixto de la investigación:

**Observación directa:** permite recolectar información sobre la infraestructura existente, el manejo actual de las aguas residuales y las condiciones del terreno para la PTAR. Es útil para

medir aspectos técnicos que no pueden obtenerse mediante encuestas, como caudal de agua y ubicación de vertimientos.

**Encuestas a la comunidad:** dirigidas a las familias de la vereda y líderes comunitarios para conocer el consumo de agua, la generación de aguas residuales y la disposición a participar en el proyecto. Incluye preguntas cerradas y abiertas para capturar tanto información cuantitativa como cualitativa.

**Entrevistas semiestructuradas:** realizadas a personas clave, como líderes comunitarios, funcionarios locales o técnicos del sector hídrico. Permiten profundizar en la percepción social, necesidades y expectativas respecto al proyecto.

**Revisión documental:** análisis de informes técnicos, normativas ambientales y estudios previos sobre tratamiento de aguas residuales en la región. Ayuda a complementar la información primaria y verificar criterios técnicos y legales.

### ***Técnicas de procesamiento y análisis de datos***

**Análisis cuantitativo:** los datos numéricos obtenidos (caudal, parámetros de calidad del agua, costos) serán procesados mediante estadística descriptiva básica (promedios, porcentajes, gráficos). Permite evaluar la factibilidad técnica y económica de la PTAR de manera objetiva.

**Análisis cualitativo:** la información obtenida de entrevistas y preguntas abiertas será organizada por categorías y analizada para identificar patrones, opiniones y necesidades de la comunidad. Facilita la interpretación de la factibilidad social y la aceptación del proyecto.

**Integración de resultados (enfoque mixto):** los hallazgos cuantitativos y cualitativos se integran para ofrecer una visión completa de la factibilidad de la PTAR. Esta triangulación asegura que las decisiones se tomen con base en evidencia sólida y considerando todos los aspectos del proyecto.

## Aspectos Administrativos

Se identifican los recursos humanos, físicos y financieros necesarios para el desarrollo del proyecto, incluyendo personal técnico, equipos de medición, herramientas de campo, software especializado y costos asociados a la ejecución del estudio.

### Recursos Humanos: Equipo Técnico–Profesional

**Ingeniero Sanitario o Ambiental:** responsable del diseño de alternativas de tratamiento, evaluación de parámetros de calidad del agua y cumplimiento normativo.

**Ingeniero Civil:** encargado de analizar condiciones del terreno, estructuras, hidráulica y diseño de obras civiles.

**Profesional Ambiental:** encargado del análisis de impactos, medidas de mitigación y estudios ambientales.

**Topógrafo:** responsable del levantamiento topográfico del lote destinado a la PTAR y del análisis de pendientes y accesos.

**Técnico o Tecnólogo en Obras Civiles:** apoyo en actividades de campo, toma de muestras y elaboración de planos.

**Auxiliar de laboratorio o técnico en agua y saneamiento:** para análisis físico–químicos y microbiológicos.

**Equipo Administrativo y Comunitario:** Coordinador del proyecto, articulación de equipo técnico, comunidad y entidades públicas.

**Gestor comunitario:** apoyo en encuestas, socialización y participación ciudadana.

**Auxiliar administrativo:** manejo de archivo, logística y documentación.

**Conductores o personal logístico:** apoyo en transporte y desplazamiento al territorio.

## **Recursos físicos**

**Equipos de Campo:** Equipos para toma y preservación de muestras (botellas estériles, conservantes, nevera portátil).

Medidores portátiles de pH, turbidez, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto.

GPS o sistema de georreferenciación.

Cinta métrica, niveles, estacas, herramientas de delimitación.

**Equipos de Oficina y Cómputo:** Computadores con software especializado (AutoCAD, QGIS, Excel, programas de modelación hidráulica).

Impresora y escáner.

**Material de oficina:** carpetas, hojas, marcadores, elementos de archivo.

**Laboratorio (Propio o contratado mediante análisis externos):** Equipos para determinación de DBO, DQO, SST, coliformes, pH, alcalinidad, nitrógeno, fósforo, entre otros.

**Transporte y Logística:** Vehículo o motocicleta para desplazamiento al lote y recorrido de redes.

Combustible y mantenimiento básico.

**Equipos de seguridad:** guantes, botas, cascos, gafas, ropa de campo.

## **Recursos Financieros**

**Costos de Personal:** Honorarios de profesionales (ingenieros, topógrafo, ambientólogo).

Pago a técnicos, auxiliares de campo y administrativos.

Capacitación y socialización comunitaria.

**Costos de Equipos y Materiales:** Compra o alquiler de equipos de medición.

Insumos para toma de muestras.

Papelería, impresión de documentos y planos.

**Costos de Laboratorio:** Análisis físico-químicos y microbiológicos requeridos para caracterizar las aguas residuales.

Ensayos de control y verificación de datos.

**Costos Logísticos:** Transporte y movilidad del equipo técnico.

Refrigerios o suministros para actividades comunitarias.

Alquiler de espacios para reuniones o socializaciones.

**Costos Administrativos y Legales:** Trámites de permisos ambientales preliminares (si aplican).

Adquisición de información secundaria o cartográfica.

Seguros y documentación del proyecto.

**Costos de Elaboración del Documento Final:** Diseño, diagramación e impresión del informe técnico.

Copias para la comunidad, alcaldía y entidades ambientales.

### **Cronograma de Actividades. Diagrama de Gantt**

El cronograma de actividades se presenta en un horizonte de doce meses, organizado por fases del proyecto. Este se formula como una proyección temporal que permite planificar de manera secuencial las actividades necesarias para el desarrollo del estudio de factibilidad, incluyendo la revisión bibliográfica, formulación del problema, desarrollo teórico, diseño metodológico, recolección y análisis de información, evaluación de alternativas, análisis ambiental, elaboración del informe y entrega final.

## Aspectos Ambientales, Riegos y Responsabilidades

### Impacto ambiental

**Desagregación del proyecto en componentes:** consiste en dividir el proyecto en obras o actividades que requieren acciones o labores más o menos similares para su ejecución o desarrollo y las cuales se pueden agrupar bajo una misma denominación.

**Identificación de los impactos:** se pueden utilizar en método de los diagramas o redes o el matricial

**Evaluación de impactos:** esta se realiza por medio de criterios o factores de calificación, que luego se articulan por medio de un algoritmo.

**Objetivos:** Cumplir con las normas legales vigentes para el aprovechamiento forestal.

Prevenir, controlar y mitigar los impactos generados por el descapote y manejo de cobertura vegetal.

Cumplir con los límites establecidos para la emisión de material particulado en la legislación ambiental colombiana, mediante la resolución 610 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Prevenir la formación de procesos de erosión que puedan presentarse durante la ejecución de las obras del sistema de abasto.

Evitar la pérdida de fauna silvestre local mediante labres de ahuyamiento, prohibición de caza y captura de ejemplares silvestres por parte de los trabajadores del proyecto.

Teniendo en cuenta las actividades propias del proyecto y el plan de obras, se concluyó que el componente mayormente afectado es el suelo, debido principalmente a la construcción de la PTAR, así las cosas, se generaron un total de cinco (5) fichas de manejo las cuales contemplaron los siguientes impactos:

Contaminación auditiva por tránsito y operación de maquinaria

Compactación de suelos

Modificación del paisaje

Generación de residuos sólidos

Incremento de riesgos por accidentalidad.

### **Impacto social y cultural**

**Construcción de campamentos, bodega u oficinas:** se refiere a las actividades requeridas para la construcción de los sitios destinados para alojar al personal administrativo y técnico de la obra durante la etapa constructiva del proyecto, como también, para almacenar los materiales, accesorios, equipos, maquinaria, etc.

**Contratación de mano de obra local:** corresponde a la vinculación laboral del personal calificado y no calificado requerido para la ejecución de los trabajos desde la planificación, construcción y operación de los sistemas de acueducto y alcantarillado, dando cumplimiento a los requisitos mínimos establecidos para ocupar cada uno de los perfiles y por parte del contratante a las disposiciones de ley y admitiendo la participación de la oferta de mano de obra de las comunidades del área de influencia del proyecto.

**Trámites para la obtención de licencias y permisos ambientales:** hace referencia a la consolidación de todos los documentos necesarios y requeridos para la obtención de la licencia ambiental y de los permisos menores para la construcción y la operación de los sistemas de alcantarillado y de tratamiento de aguas residuales.

**Localización, trazado y replanteo de obras:** corresponde a una actividad preliminar de una obra constructiva, que tiene como fin transponer exactamente al terreno las dimensiones y geometría definidas en los planos técnicos del proyecto.

**Transporte y traslado de materiales:** esta actividad comprende, el transporte de los materiales y maquinaria requerida para dar inicio a la construcción de las obras del sistema de acueducto hasta el campamento destinado para el almacenamiento de materiales de construcción. El acarreo de los materiales se realizará a través de volquetas.

**Eliminación de la capa vegetal y orgánica:** el descapote comprende la remoción de cualquier material presente en el terreno hasta nivel de la capa vegetal superficial. Se deberán emplear métodos de descapote apropiados y se tomarán todas las medidas que sean necesarias para evitar daños que alteren las condiciones naturales del terreno.

**Excavaciones, nivelación del terreno y formación de taludes:** las excavaciones comprenden la remoción de cualquier material por debajo del nivel del terreno y/o hasta el nivel indicado en los planos o diseños; los materiales provenientes de la excavación que presenten características adecuadas para uso en rellenos serán reservados para colocarlos posteriormente, mientras que los que no sean utilizables deberán transportarse hasta la escombrera legal más cercana.

**Disposición y transporte de materiales sobrantes:** el retiro de materiales sobrantes y desperdicios consiste en el cargue, transporte y descargue de dichos materiales, una vez se han terminado los rellenos y se haya dejado arreglada la superficie natural del terreno. Los materiales deben ser dispuestos en Bioagrícola del Llano la única entidad autorizada por CAM para tal fin en el Departamento del Huila.

**Construcción de muros y estructuras:** esta actividad integra el conjunto de labores efectuadas para el levantamiento de los muros y estructuras que conforman las edificaciones hidráulicas de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales.

**Suministro e instalación de tuberías:** consiste en el conjunto de operaciones que se deben realizar para la instalación de la infraestructura de agua potable y alcantarillado en las áreas definidas por el contratista; para lo cual es necesaria la apertura y relleno de zanjas.

**Operación del sistema de tratamiento de aguas residuales:** la operación del sistema de tratamiento de agua residual se refiere al funcionamiento de los diferentes componentes que integra dicho sistema, con el fin de dar el tratamiento adecuado a las aguas residuales domésticas y posteriormente ser vertidas a la fuente receptora.

**Alcance del proyecto: Alcance específico y diagnóstico de la situación actual**

Caracterización de la población beneficiaria.

Identificación de las fuentes generadoras de aguas residuales.

Evaluación del sistema actual de disposición y tratamiento.

Caracterización preliminar del cuerpo receptor.

**Estudio técnico**

Estimación de caudales presentes y futuros.

Análisis de alternativas tecnológicas de tratamiento.

Selección del sistema de tratamiento más adecuado.

Dimensionamiento preliminar de la PTAR.

Identificación del área requerida y accesos.

**Estudio ambiental**

Identificación de impactos ambientales asociados a la construcción y operación.

Análisis del cumplimiento normativo (vertimientos y calidad del efluente).

Propuesta de medidas de manejo ambiental.

Evaluación de beneficios ambientales.

**Estudio económico y financiero**

Estimación de costos de inversión, operación y mantenimiento.

Análisis costo–beneficio.

Evaluación de sostenibilidad económica del proyecto.

**Estudio social e institucional**

Identificación de actores involucrados.

Análisis de aceptación comunitaria.

Evaluación de capacidades institucionales para la operación.

**Riesgos**

Como requerimientos técnicos incompletos o cambios no controlados durante la ejecución, lo que puede generar retrasos, aumento de costos o entregables que no respondan a las necesidades reales del municipio y la comunidad.

**Técnicos:** asociados a la falta o baja calidad de información sobre caudales, calidad del agua, topografía, suelos y condiciones ambientales, así como dificultades de acceso al área de estudio o condiciones climáticas adversas que limiten los trabajos de campo. Esto puede derivar en diagnósticos poco confiables y en soluciones técnicas inadecuadas.

**Social:** se presentan riesgos por una participación comunitaria insuficiente o por expectativas no alineadas entre la comunidad, las autoridades y los responsables del estudio, lo que puede generar conflictos, desconfianza o falta de apropiación del proyecto. A nivel administrativo y contractual, cambios en los requerimientos de las entidades financiadoras, plazos mal definidos o entregables poco claros pueden obligar a modificar el alcance inicialmente planteado.

**Económicos:** como un presupuesto insuficiente o la falta de personal técnico con experiencia en PTAR rurales, que pueden forzar la reducción del alcance o afectar la calidad del estudio. Finalmente, factores externos como cambios normativos o eventos climáticos extremos pueden obligar a ajustar el alcance.

En conjunto, estos riesgos pueden comprometer la viabilidad del proyecto si no se gestionan adecuadamente.

### **Indicadores de medición y fuentes de verificación**

#### **Aspectos Ambientales**

**Indicador:** Análisis de calidad de aguas residuales realizados (DBO, DQO, SST, coliformes).

**Fuente de verificación:** Informes de laboratorio acreditado y actas de muestreo.

**Indicador:** Impactos ambientales identificados y evaluados.

**Fuente de verificación:** Matriz de impactos ambientales.

**Indicador:** Medidas de manejo y mitigación ambiental formuladas.

**Fuente de verificación:** Plan de manejo ambiental preliminar.

**Indicador:** Cumplimiento de la normatividad ambiental y de uso del suelo.

**Fuente de verificación:** Listas de chequeo normativo y conceptos de autoridad ambiental y municipal.

#### **Riesgos**

**Indicador:** Riesgos técnicos, ambientales, sociales y económicos identificados y priorizados.

**Fuente de verificación:** Matriz de riesgos del proyecto.

**Indicador:** Riesgos sociales relacionados con aceptación comunitaria identificados.

**Fuente de verificación:** Informes de participación comunitaria, actas y listados de asistencia.

**Indicador:** Variación del presupuesto estimado del proyecto.

**Fuente de verificación:** Presupuesto detallado y análisis financiero.

**Indicador:** Cambios al alcance del estudio controlados.

**Fuente de verificación:** Actas de seguimiento y control del proyecto.

### **Responsabilidad**

**Indicador:** Roles y responsabilidades institucionales definidos.

**Fuente de verificación:** Organigrama del proyecto y documentos administrativos.

**Indicador:** Actividades de socialización con la comunidad realizadas.

**Fuente de verificación:** Actas de reuniones, registros fotográficos y listados de asistencia.

**Indicador:** Compromisos ambientales y sociales establecidos.

**Fuente de verificación:** Plan de manejo ambiental y actas de concertación.

**Indicador:** Informes de avance entregados conforme al cronograma.

**Fuente de verificación:** Informes técnicos y administrativos del estudio.

**Responsabilidad social:** se expresa de manera transversal en los aspectos ambientales, la gestión de riesgos y la responsabilidad institucional, y se centra en proteger la salud, el ambiente y el bienestar de la comunidad rural beneficiaria.

En los aspectos ambientales, la responsabilidad social implica asegurar que el estudio evalúe adecuadamente los impactos de las aguas residuales sobre las fuentes hídricas y el entorno natural que utiliza la comunidad, promoviendo soluciones que reduzcan la contaminación, mejoren la calidad del agua y contribuyan a la conservación de los ecosistemas locales. Esto incluye el cumplimiento de la normatividad ambiental, la prevención de afectaciones a la salud

pública y la formulación de medidas de manejo ambiental que protejan los recursos naturales de los cuales depende la población.

En cuanto a los riesgos, la responsabilidad social se refleja en la identificación y gestión de riesgos técnicos, ambientales y sociales que puedan afectar a la comunidad, como fallas en el diseño, impactos negativos no previstos, conflictos sociales o rechazo comunitario. El estudio debe anticipar estos riesgos y proponer medidas que minimicen posibles afectaciones a la población, garantizando que las decisiones técnicas no generen consecuencias negativas para la calidad de vida, la seguridad y la economía local.

Finalmente, en el componente de responsabilidad, el proyecto asume el compromiso de involucrar activamente a la comunidad durante el desarrollo del estudio, garantizando procesos de información, participación y concertación transparentes. Esto incluye la definición clara de roles institucionales, la rendición de cuentas sobre los resultados del estudio y la promoción de la apropiación social del proyecto, de manera que la futura PTAR sea aceptada, comprendida y sostenida por la comunidad de la vereda Guayabal.

**Consideraciones éticas:** las consideraciones éticas del proyecto de estudio de factibilidad para la implementación de una PTAR en la vereda Guayabal se centran en garantizar el respeto por la comunidad, la transparencia en la información y la protección del medio ambiente. Esto implica involucrar a la comunidad en todas las fases del estudio, escuchar y considerar sus necesidades y opiniones, y presentar los resultados de manera clara y veraz. Asimismo, se asegura la confidencialidad de los datos personales y la equidad en la distribución de los beneficios del proyecto, evitando discriminación o impactos sociales negativos. Desde el punto de vista ambiental, se prioriza la formulación de medidas de mitigación que prevengan la contaminación y protejan los ecosistemas locales. Finalmente, el equipo técnico asume la

responsabilidad profesional de realizar análisis, diagnósticos y recomendaciones basados en evidencia, cumpliendo con las normas de ética profesional y evitando conflictos de interés en la toma de decisiones y en la selección de tecnologías.



## **Conclusiones**

El estudio de factibilidad para la implementación de una PTAR en la vereda Guayabal es viable desde el punto de vista técnico, ambiental y normativo.

La vereda cuenta con condiciones adecuadas de terreno y caudal de aguas residuales, y es posible cumplir con la normativa ambiental y sanitaria vigente, incluyendo el RAS y los requisitos municipales. Además, la implementación de la PTAR contribuirá a la reducción de la contaminación de fuentes hídricas locales y a la protección de los ecosistemas, siempre que se incluyan medidas de mitigación ambiental claras.

Se identificaron riesgos técnicos, ambientales, sociales y financieros que podrían afectar la viabilidad del proyecto, siendo especialmente relevante la participación y aceptación de la comunidad.

## **Recomendaciones**

Se recomienda fortalecer la socialización y concertación con los habitantes, involucrarlos en la toma de decisiones y asegurar que sus aportes sean incorporados en el diseño y operación del sistema. Asimismo, se sugiere establecer un plan de gestión de riesgos que contemple seguimiento, contingencias y ajustes según las condiciones reales de ejecución.

Finalmente, para garantizar la sostenibilidad del proyecto, se recomienda implementar mecanismos financieros y operativos que aseguren la correcta operación y mantenimiento de la PTAR a largo plazo, incluyendo capacitación del personal local. Es fundamental mantener estándares éticos, transparencia y responsabilidad social en todas las fases, y establecer un sistema de monitoreo de indicadores ambientales, técnicos y sociales que permita evaluar los resultados y tomar decisiones oportunas para optimizar el desempeño del proyecto.

### Referencias Bibliográficas

- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2014). *Metodología General Ajustada (MGA) para la formulación y evaluación de proyectos de inversión pública*. Bogotá, Colombia.
- Henze, M., Van Loosdrecht, M., Ekama, G., & Brdjanovic, D. (2008). *Biological wastewater treatment: Principles, modelling and design*. IWA Publishing.
- Metcalf & Eddy. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (5.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2010). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS)*. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia. (2010). *Guía técnica para la gestión de residuos líquidos domésticos en zonas rurales*. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (Min Vivienda). (2017). *Guía para la formulación de proyectos de agua potable y saneamiento básico en zonas rurales*. Bogotá, Colombia.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2017). *Directrices de calidad del agua para consumo humano y saneamiento*. Ginebra, Suiza: OMS.
- Tchobanoglous, G., Burton, F., & Stensel, H. (2003). *Wastewater engineering: Treatment and reuse* (4.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2020). *Lineamientos para la gestión ambiental de proyectos hídricos*. Bogotá, Colombia.