

Diseño de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas para el Centro Poblado

Buenos Aires - Municipio Piedecuesta, Santander.

Oscar Andrés Buenahora Camacho y Héctor Steven Morales Quintanilla

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Civil

Director

Mario Hernán Ramírez Carrero

Magister en Geotecnia, Universidad Industrial de Santander - Bucaramanga

Tutor

Cesar Toloza Núñez

Especialización en Gerencia Integral de Obras, Universidad Industrial de Santander -

Bucaramanga

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingeniería Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Ingeniería Civil

Bucaramanga

2024

### **Dedicatoria**

*Este trabajo está dedicado Por Oscar Andres Buenahora Camacho:*

*A Dios, por acompañarme en cada paso de esta etapa de mi vida, llena de múltiples pruebas que me permiten tener experiencia, soñar en grande y entender que si lo tengo a él lo tengo todo. A mis padres Oscar Javier Buenahora y Clara Yiccept Camacho por brindarme su amor, por recordarme siempre la importancia de mis sueños y por ser el motor en mi vida. A mis hermanos Cristian Camilo, Juan Esteben y Juan Diego por su incondicionalidad. A Valentina Salas por ser una mujer idónea, que me impulsa a ser mejor cada día.*

### **Agradecimientos**

Principalmente, agradecemos a Dios por ser nuestra guía en absolutamente todo lo que hacemos, desde lo más mínimo hasta lo más grande será para glorificarlo a él, además de brindarnos sabiduría e inteligencia para hacer realidad este sueño. A nuestros padres y madres, hermanos y familia por su apoyo y sus buenos consejos, este triunfo es de ustedes.

A el ingeniero Peter Giovany Camacho Cadena por brindarnos su confianza y conocimiento en el desarrollo del presente proyecto, enfocado en mejorar nuestro desempeño personal y profesional.

A Nini Johana Sepúlveda por brindarnos su conocimiento profesional y asesoría en la formulación de este documento, en búsqueda de la excelencia.

A la Universidad Industrial de Santander y a la Alcaldía de Piedecuesta por contribuir en nuestra formación profesional y personal.

Al profesor Mario Hernán Ramírez Carrero y al Ingeniero Cesar Toloza Núñez por su orientación durante la practica social, generando en nosotros conocimientos prácticos que nos permitirán ser diligentes e ingeniosos en este camino profesional que emprendemos.

A el señor Elías Lizarazo y toda la comunidad del centro poblado Buenos Aires, Piedecuesta, por hacer de esto, una experiencia tan enriquecedora.

A nuestros amigos por los días, meses y años de estudio, además de experiencias fuera del ámbito universitario.

Y en general, a todos los profesores y personas que de alguna manera formaron parte de este proceso.

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	12
1. Planteamiento y justificación del problema .....	13
2. Marco teórico .....	14
2.1. Contaminación del agua.....	14
2.2. Tratamiento de aguas residuales .....	15
2.3. Software de modelado.....	15
3. Marco Legal .....	16
4. Marco geográfico .....	17
5. Objetivos .....	18
5.1. Objetivo General.....	18
5.2. Objetivos Específicos.....	18
6. Metodología .....	18
6.1. Fase 1: Diagnóstico.....	18
6.1.1. Consultas previas con la Comunidad.....	18
6.1.2. Investigación poblacional .....	20
6.1.3. Localización de predio .....	20
6.1.4. Estudio previo .....	23
6.2. Fase 2: Diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas .....	24
6.2.1. Análisis de alternativas de tratamiento .....	24
6.2.1.1. Alternativa 1 (Lodos activados).....	25
6.2.1.2. Alternativa 2 (UASB) .....	26

6.2.1.3.	Selección de alternativa de tratamiento .....	26
6.2.2.	Periodo de diseño .....	27
6.2.3.	Proyección de la población .....	27
6.2.3.1.	Método exponencial.....	27
6.2.3.2.	Método aritmético.....	29
6.2.4.	Caudal de diseño .....	31
6.2.4.1.	Caudal medio de diseño .....	32
6.2.4.2.	Caudal máximo horario (QMH).....	36
6.2.4.3.	Caudal máximo diario (QMD).....	36
6.2.4.4.	Caudal máximo mensual (QMM) .....	36
6.2.5.	Diseño tratamiento preliminar .....	36
6.2.5.1.	Cribado.....	36
6.2.5.2.	Desarenador .....	41
6.2.5.3.	Trampa de grasas .....	43
6.2.6.	Diseño el reactor anaeróbico de flujo ascendente (UASB) .....	45
6.2.6.1.	Deflector .....	47
6.2.6.2.	Sedimentador .....	48
6.2.6.3.	Campanas recolectoras de Biogás.....	48
6.2.6.4.	Eficiencia de remoción del reactor .....	49
6.2.6.5.	Producción de lodo .....	49
6.2.6.6.	Canaleta de distribución.....	50
6.2.6.7.	Vertedero de control caja de distribución .....	51
6.2.6.8.	Tubería de alimentación.....	51

6.2.7.	Tratamiento de lodos.....	53
6.3.	Fase 3: Socialización del proyecto.....	55
7.	Resultados .....	56
8.	Conclusiones .....	58
9.	Recomendaciones .....	59
	Referencias Bibliográficas .....	60

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 <i>Marco legal colombiano para el manejo de los recursos hídricos.</i> .....	16
Tabla 2 <i>Distancias mínimas para la localización de sistemas de tratamiento de aguas residuales con relación a otra infraestructura.</i> .....	21
Tabla 3 <i>Procesos aplicables en el tratamiento de aguas residuales.</i> .....	24
Tabla 4 <i>Censo Piedecuesta, centros poblados DANE.</i> .....	28
Tabla 5 <i>Características de la población- método exponencial.</i> .....	29
Tabla 6 <i>Características de la población- método aritmético</i> .....	30
Tabla 7 <i>Contribución de aguas residuales industriales para industrias pequeñas.</i> .....	34
Tabla 8 <i>Datos básicos de diseño para cribado</i> .....	37
Tabla 9 <i>Coefficiente de pérdidas para rejillas</i> .....	39
Tabla 10 <i>Datos básicos de diseño para el desarenador</i> .....	41
Tabla 11 <i>Tiempos de retención hidráulica para trampa de grasas</i> .....	43
Tabla 12 <i>Tiempo de retención hidráulica para reactores UASB</i> .....	45
Tabla 13 <i>Criterios de diseño reactor UASB</i> .....	46
Tabla 14 <i>Resultados obtenidos</i> .....	57

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1 <i>Localización Buenos Aires.</i> .....	17
Figura 2 <i>Visita a la comunidad</i> .....	19
Figura 3 <i>Ubicación geográfica, planta de tratamiento</i> .....	22
Figura 4 <i>Plano en planta</i> .....	22
Figura 5 <i>Muestreo para estudio geotécnico</i> .....	23
Figura 6 <i>Caudales de diseño.</i> .....	31
Figura 7 <i>Factores pico para caudales en tratamiento de aguas residuales</i> .....	32
Figura 8 <i>Dotación neta máxima por habitantes según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida</i> .....	33
Figura 9 <i>Diferentes formas de rejillas.</i> .....	39
Figura 10 <i>Sistema de cribado</i> .....	41
Figura 11 <i>Desarenador</i> .....	43
Figura 12 <i>Trampa de grasas</i> .....	45
Figura 13 <i>Dimensiones para el deflector UASB</i> .....	48
Figura 14 <i>Reactor UASB</i> .....	53
Figura 15 <i>Lechos de secado</i> .....	54
Figura 16 <i>Plano de detalles</i> .....	55
Figura 17 <i>Socialización del proyecto</i> .....	56

## **Lista de Apéndices**

**Los apéndices están disponibles en el Repositorio Institucional**

Apéndice A. Acta de investigación poblacional.

Apéndice B. Topografía planimétrica.

Apéndice C. Ensayo de granulometría.

Apéndice D. Cálculo tipo diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas.

Apéndice E. Modelado del sistema en Autodesk Revit.

Apéndice F. Lista de asistencia Socialización del proyecto.

## Resumen

**Título:** Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas para el centro poblado Buenos Aires- Piedecuesta, Santander\*

**Autor:** Oscar Andrés Buenahora Camacho, Héctor Steven Morales Quintanilla \*\*

**Palabras Clave:** Práctica social, Saneamiento básico, Centro poblado, Sostenibilidad.

### Descripción:

Este documento evidencia el desarrollo de la práctica social llevada a cabo por estudiantes de ingeniería civil de la Universidad Industrial de Santander, en el centro poblado Buenos Aires- Municipio de Piedecuesta, Santander. El proyecto se llevó a cabo con una metodología integral, que incluyo etapas clave como el sistema de cribado para eliminar partículas gruesas, un desarenador para separar arenas y sedimentos, así como una trampa de grasas para la separación de aceites y grasas. Además, se implementó un reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) que ofrece una alta eficiencia en la remoción de la materia orgánica, permitiendo el tratamiento de volúmenes altos con baja producción de lodo, mediante procesos anaeróbicos, es decir, en ausencia de oxígeno. En última instancia, se disponen los lechos de secado que permiten deshidratar y estabilizar lodos de forma económica, por procesos naturales como la evaporación y filtración. Finalmente, se socializaron los resultados alcanzados, además de las conclusiones basadas en los análisis realizados y las recomendaciones pertinentes para orientar nuevas fases del proyecto. Todo esto, con la finalidad de brindar una visión general de la práctica social, resaltando su importancia e impacto positivo en la comunidad y en el desarrollo de habilidades para la formación profesional en el área de la ingeniería civil.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingeniería Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Ingeniería Civil. Director: Mario Hernán Ramírez Carrero. Magister en Geotecnia, Universidad Industrial de Santander - Bucaramanga. Codirector: Cesar Toloza Núñez. Especializado en Gerencia Integral de Obras, Universidad Industrial de Santander – Bucaramanga.

### Abstract

**Title:** Design of Domestic Wastewater Treatment System for rural settlement Buenos Aires – Piedecuesta, Santander\*

**Author(s):** Oscar Andrés Buenahora Camacho, Héctor Steven Morales Quintanilla\*\*

**Key Words:** Social practice, Sanitation, Rural settlement, Sustainability.

### Description:

This document shows the development of social practice carried out by civil engineering students from the Industrial University of Santander, in the Buenos Aires-Municipality of Piedecuesta population center, Santander. The project was carried out with a comprehensive methodology, which includes key stages such as the screening system to eliminate coarse particles, a sand trap to separate sand and sediment, as well as a grease trap to separate oils and greases. In addition, a UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) reactor was implemented that offers high efficiency in the removal of organic matter, allowing the treatment of high volumes with low sludge production, through anaerobic processes, that is, in the absence of oxygen. Ultimately, drying beds are arranged that allow sludge to be dehydrated and stabilized economically, through natural processes such as evaporation and filtration. Finally, the results achieved were socialized, in addition to the conclusions based on the analyzes carried out and the relevant recommendations to guide new phases of the project. All this, with the purpose of providing a general vision of social practice, highlighting its importance and positive impact on the community and on the development of skills for professional training in the area of civil engineering.

---

\* Degree Work

\*\* Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Civil Engineering. Director: Mario Hernán Ramírez Carrero. Master in Geotechnics, Industrial University of Santander - Bucaramanga. Co-director: César Toloza Núñez. Specialized in Comprehensive Works Management, Industrial University of Santander – Bucaramanga

## Introducción

La contaminación de las aguas subterráneas ha sido objeto de preocupación a lo largo de la historia, siendo evidenciada incluso en el siglo XIX por el trabajo pionero del Dr. John Snow en el distrito del Soho Londinense. No obstante, es a partir de los años 80 que este problema adquiere una magnitud significativa, especialmente en naciones en desarrollo (Lledó, 2002).

En este contexto, las aguas residuales domésticas, al no ser tratadas adecuadamente, se convierten en una fuente considerable de contaminación para las fuentes hídricas cercanas. La falta de conocimiento sobre tecnologías sostenibles agrava la situación, contribuyendo a la desmesurada contaminación de las fuentes de agua, afectando tanto la salud humana como la integridad de los ecosistemas (Rodríguez et al. , 2015).

En efecto es conveniente aplicar sistemas de tratamiento de aguas residuales domesticas donde los costos de inversión y de operación sean proporcionales al nivel de vida de la población. Entre las soluciones de bajo costo disponibles, se encuentra la digestión anaerobia, emergiendo como una tecnología clave, dado que esta alternativa no solo ofrece eficiencia en el tratamiento, sino que también genera subproductos valiosos como bioenergía, nutrientes y agua apta para el reúso (Lorenzo & Obaya, 2006).

Por lo tanto, se realizó un diagnóstico general, en compañía de la junta de acción comunal, En el cual se propone un sistema de tratamiento de agua residual doméstico, integrando un proceso biológico anaerobio, con el propósito de contribuir a la calidad de vida de los habitantes en dicha zona y mitigar el impacto generado en las subcuentas hídricas la cachona y hoyo honda, que transportan y desembocan las aguas no tratadas en el Rio de Oro.

## 1. Planteamiento y justificación del problema

El inadecuado manejo del líquido más importante para el sustento de todas las necesidades de la tierra, el agua; produce que su contaminación vaya en aumento cada día en todos los países del mundo, “generando más de 800.000 muertes cada año a causa de enfermedades atribuidas al agua no apta para el consumo, un saneamiento inadecuado y a prácticas de higiene ineficientes” (Naciones Unidas, 2023, pág. 1).

Esta problemática no es ajena para los habitantes del municipio de Piedecuesta, Santander-Colombia, que cuenta con una población según el censo de 2019, de aproximadamente 163.362 habitantes de acuerdo con la Agencia para la Reincorporación y de Normalización (ARN, 2013); el Centro Poblado (CP) Buenos Aires, proyectado a 700 unidades de vivienda, convive con un problema de salubridad que ha generado a corto, mediano y largo plazo enfermedades y condiciones precarias de salud y bienestar en la comunidad, debido al mal uso y la falta de mantenimiento de los pozos sépticos existentes, siendo el único sistema utilizado para el tratamiento de sus aguas residuales. En el CP se han realizado una serie de consultorías para la construcción de un sistema de alcantarillado. Sin embargo, con los estudios realizados por la administración municipal nunca se ejecutaron dichos proyectos. Es decir, cada día sigue creciendo la contaminación en el suelo y las fuentes superficiales, como las quebradas, la cachona y hoya honda que conducen al Rio de Oro.

¿Cómo se puede minimizar la contaminación ambiental y generación de enfermedades a causa del inadecuado manejo de las aguas residuales de los habitantes del centro poblado buenos aires del municipio de Piedecuesta, Santander?

## 2. Marco teórico

### 2.1. Contaminación del agua

Constituyéndose como un elemento clave para el progreso y bienestar humano, el agua resulta indispensable para la vida; sin embargo, contaminada representa un peligro para la salud, por esto, es necesaria una gestión adecuada del agua residual (Contreras Lino, 2022).

En este sentido, para realizar una disposición adecuada de aguas domésticas, las comunidades de las zonas rurales que no cuentan con infraestructura de saneamiento básico, es decir, un sistema de alcantarillado y una planta de tratamiento de agua residual, emplean pozos sépticos como una solución económica y efectiva, dado que son relativamente sencillos de construir y mantener. Si bien es cierto que los diseños de pozos sépticos pueden variar, todos comparten un mecanismo de funcionamiento basado en la sedimentación y el tratamiento anaerobio, lo cual permite un mantenimiento con poca frecuencia; así que, con un buen manejo es una alternativa que ofrece eficacia y sostenibilidad en entornos sin acceso a sistemas convencionales (Naranjo Agudelo, 2019).

Cabe destacar que un aspecto relevante del tratamiento residual es la contaminación orgánica, porque refleja la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en el fluido, a causa de la demanda biológica de oxígeno y/o demanda química de oxígeno, es decir, la demanda biológica de oxígeno (DBO), representa la cantidad de oxígeno que los microorganismos requieren o consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas. Por otra parte, la demanda química de oxígeno (DQO), representa la cantidad de oxígeno requerida para oxidar la materia orgánica e inorgánica por medios químicos (Pérez Camargo, 2018).

## **2.2. Tratamiento de aguas residuales**

El tratamiento de aguas residuales hace referencia a los procesos físicos, químicos y biológicos diseñados para la eliminación de contaminantes presentes en el agua. La finalidad es garantizar que el agua residual sea adecuadamente depurada antes de ser vertida, evitando daños significativos en el medio ambiente (Contreras Lino, 2022).

Vinculado a esto, existen tres niveles: tratamiento primario, secundario y terciario. El tratamiento primario está involucrado con la separación de sólidos gruesos y sedimentables por medio de procesos físicos como la filtración y la sedimentación. El tratamiento secundario emplea procesos biológicos para degradar la materia orgánica presente en el agua mediante microorganismos en un entorno aeróbico o anaeróbico. Por último, el tratamiento terciario, se enfoca en la depuración de contaminantes específicos y por ende mejora la calidad del agua mediante técnicas como la desinfección, la filtración adicional o remoción de nutrientes. Cada nivel de tratamiento se ajusta según lo estipulado por la Resolución 0631 de 2015, que regula la descarga en cuerpos receptores o cualquier otro uso (Rojas, 2002).

## **2.3. Software de modelado**

Implementar el software Autodesk Revit en un proyecto brinda un alto nivel de detalle, minimizando el riesgo de cometer errores en etapas posteriores como la ejecución o mantenimiento del proyecto (Nieto Salas , 2016).

Dicho esto, éste se convierte en el programa principal para el modelo del sistema de tratamiento de agua residual del centro poblado Buenos aires- Piedecuesta, debido al actual conocimiento tecnológico obtenido como estudiantes; cabe resaltar que presenta una capacidad de integración con otros programas tales como Excel, el cual se utiliza para realizar y estructurar hojas de cálculo permitiendo realizar el diseño del sistema.

### 3. Marco Legal

En Colombia, la gestión del agua, incluyendo el tratamiento de aguas residuales, se encuentra regulada por leyes y normas que establecen los requerimientos y lineamientos para garantizar la protección de recursos hídricos y el medio ambiente. Estas normativas definen todos los parámetros de calidad del agua que se deben cumplir antes de que las aguas servidas sean vertidas. Las principales normativas se mencionan en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Marco legal colombiano para el manejo de los recursos hídricos.*

<b>NORMA</b>	<b>ALCANCE</b>
<b>Resolución 330 de 2017</b>	Se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS)
<b>Decreto 2811 de 1974</b>	Se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente
<b>Decreto 3930 de 2010</b>	Se establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados.
<b>Decreto 4728 DE 2010</b>	Fijación de la norma de vertimientos, protocolos de monitoreo y cumplimiento.
<b>Decreto 1076 2015</b>	Orientar y regular el ordenamiento ambiental del territorio y de definir las políticas y regulaciones de los recursos naturales renovables y del ambiente de la Nación.
<b>Resolución 631 de 2015</b>	Se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones
<b>Resolución 884 DE 2018</b>	Se establecen los requisitos técnicos para los proyectos de agua y saneamiento básico de zonas rurales.

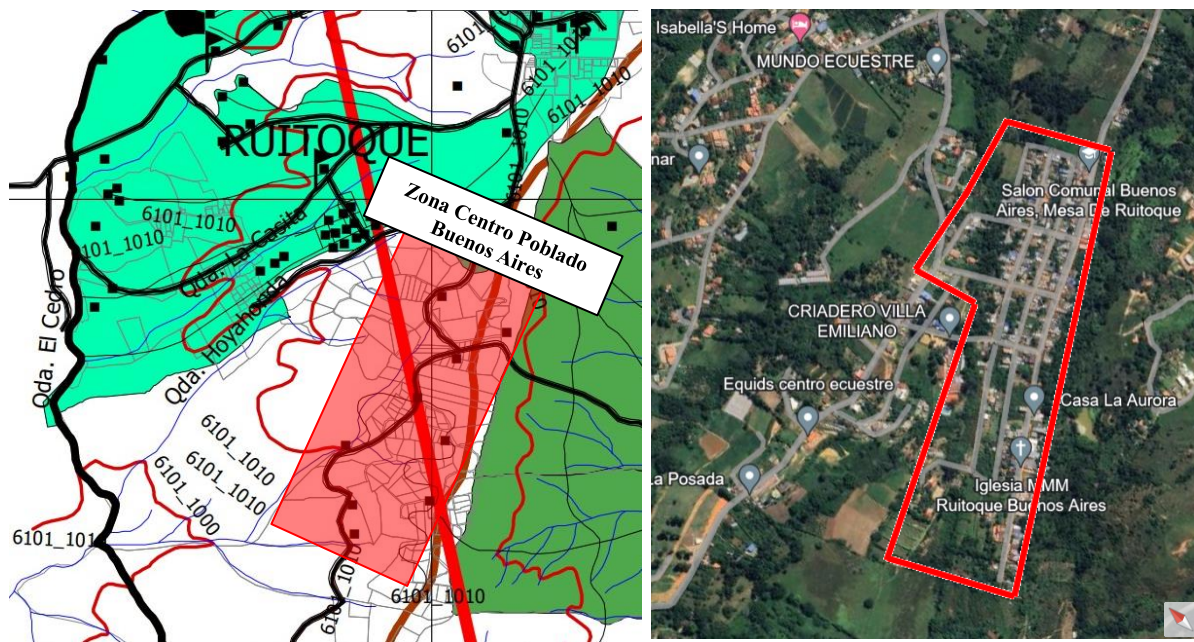
*Nota:* Esta tabla presenta las principales normas y leyes colombianas que regulan el manejo de los recursos hídricos.

#### 4. Marco geográfico

La zona destinada para la propuesta de diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas de este corregimiento se localiza en el predio Villa Luz, en el Municipio de Piedecuesta, Departamento de Santander, Colombia. Este predio se encuentra en inmediación al centro poblado Buenos Aires (Mesa de Ruitoque), según se muestra en la figura 1. Además, en esta área se encuentran dos cuerpos hídricos importantes: la quebrada La Cachona y Hoya honda.

**Figura 1**

*Localización Buenos Aires.*



*Nota.* La imagen indica la ubicación del centro poblado Buenos Aires, Piedecuesta. Tomado de Google Earth.

## **5. Objetivos**

### **5.1. Objetivo General**

Diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas para el Centro Poblado Buenos Aires – municipio de Piedecuesta, Santander.

### **5.2. Objetivos Específicos**

Realizar un diagnóstico de la situación veredal, mediante el cual se expongan los criterios periódicos con los que se han manejado las aguas residuales.

Elaborar el sistema de tratamiento de aguas residuales adecuado, de acuerdo con los estudios realizados.

Socializar la propuesta a la comunidad o partes interesadas.

## **6. Metodología**

Para el cumplimiento de los objetivos propuestos en el presente proyecto se implementaron las siguientes fases:

### **6.1. Fase 1: Diagnóstico**

En esta fase, se realizó una serie de actividades esencial para el desarrollo de las etapas posteriores del proyecto, incluyendo una estimación de la población actual, la selección del predio donde se ubicará el sistema de tratamiento, la recopilación de estudios previos, entre otros.

#### ***6.1.1. Consultas previas con la Comunidad***

Una parte fundamental en esta etapa del proyecto fue la participación de la comunidad del centro poblado, realizando un acompañamiento a través de tres visitas, que permitieron conocer

las principales problemáticas a las que se enfrentan. Se observó que el tratamiento de las aguas residuales domésticas es prácticamente nulo, puesto que la comunidad actualmente se encuentra realizando un depósito individual de los desechos domésticos como fragmentos de comida, grasas, detergentes, entre otros, mediante 600 pozos sépticos distribuidos en la zona, los cuales no cuentan con mantenimiento que permita un adecuado manejo de residuos, generando contaminación ambiental y problemas de salubridad, el CP indicó que los diseños realizados en los años 2006 y 2014 para el sistema de alcantarillado infortunadamente no fueron ejecutados. Cabe resaltar que la Junta de acción comunal (JAC) estará acompañando el desarrollo de la práctica (Figura 2).

La comunidad desde hace tiempo ha estado en búsqueda de mejorar su calidad de vida a través de la obtención de servicios públicos más completos; por esto, los habitantes del centro poblado Buenos Aires ven el proyecto como una oportunidad futura para tratar de manera adecuada las aguas residuales que generan, además de evitar peligros para la comunidad y provocar un menor impacto ambiental.

## **Figura 2**

### *Visita a la comunidad*



*Nota.* La imagen evidencia una de las visitas realizadas a la comunidad del centro poblado.

Entendiéndose que se requiere un mejor sistema organizacional que pueda generar un mayor impacto y comunicación, entre la comunidad y el municipio, se cuenta con una JAC, que permite una mayor representación y participación, empoderando a la población con miras a hacer parte en las decisiones municipales que afecten sus intereses locales.

### ***6.1.2. Investigación poblacional***

Con la participación de la JAC se inició con la recolección de información relevante para el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales, como la verificación o estimación de la población, donde se logró conocer la cantidad de personas por unidad de vivienda y el número de viviendas presentes, para esto, se realizó el ejercicio con la comunidad quedando evidencia el acta del Apéndice A.

El centro poblado Buenos Aires cuenta en la actualidad con 600 viviendas, incluidas fincas, centros educativos, centros religiosos y un total de 1614 habitantes; sin embargo, está constituido por 700 lotes de aproximadamente 140 m<sup>2</sup> cada uno.

La zona de estudio se cataloga con estrato número dos (2); este estrato socioeconómico de la comunidad incide en las necesidades y prioridades específicas, lo cual se debe tener en cuenta en el diseño del sistema de tratamiento de agua residual para asegurar eficacia y aceptación de la comunidad.

### ***6.1.3. Localización de predio***

Dentro del diagnóstico comunitario, se inició con la localización de la planta de tratamiento, siendo un factor importante en esta fase. En ese orden, se trabajó de la mano con la comunidad, realizando una visita a la finca villa luz con el fin de seleccionar el predio donde se proyectó. Para esto, se tuvo en cuenta lo mencionado en el artículo 183 de la Resolución 330 de

2017 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, donde indica las distancias mínimas para la localización del sistema (ver Tabla 2).

**Tabla 2**

*Distancias mínimas para la localización de sistemas de tratamiento de aguas residuales con relación a otra infraestructura.*

TECNOLOGÍA	CON RESPECTO A	DISTANCIA [metros]
PTAR	Fuentes de agua para consumo humano diferente a la descarga	50
PTAR con reactor aeróbico y aireación difusa	Centros poblados	75
PTAR con reactor aeróbico y aireación superficial (aerosoles)	Centros poblados	100
PTAR con reactor anaerobio	Centros poblados	200
PTAR	Plantas potabilizadoras y tanques de agua	150
Lagunas anaerobias	Centros poblados	500
Lagunas facultativas	Centros poblados	200
Lagunas aireadas	Centros poblados	100
Filtro percoladores de baja tasa (problemas con moscas)	Centros poblados	200
Filtros percoladores de media y alta tasa	Centros poblados	100

*Nota.* La tabla presenta las distancias mínimas para determinar la ubicación de las plantas de tratamiento de agua residual. Tomado de la *resolución 330 de 2017*.

Con base en la Tabla 2, se definió la zona (ver Figura 3 y 4), la cual cuenta con un área de una hectárea (1 Ha). Una vez definido esto, se inició con las respectivas verificaciones, que establece el suelo apto para desarrollo de estos proyectos, con el apoyo de la información brindada por la Alcaldía de Piedecuesta dentro de lo contemplado en el plan de ordenamiento territorial (POT) y asegurando el cumplimiento de la Resolución 0330 de 2017, todo esto, en base a los datos catastrales facilitados por los dueños del predio.

**Figura 3**

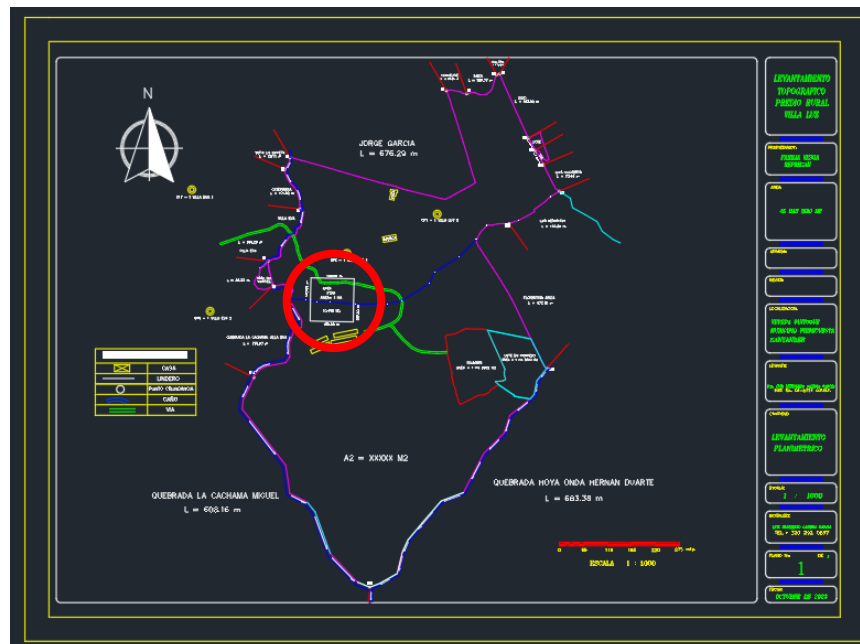
*Ubicación geográfica, planta de tratamiento*



*Nota.* Se ilustra la ubicación del sistema respecto del centro poblado. Tomado de Google Earth.

**Figura 4**

*Plano en planta*



*Nota.* La imagen ilustra el plano en planta donde se proyecta la ubicación del sistema de tratamiento de agua residual en el predio Villa Luz, Municipio de Piedecuesta, Santander.

#### **6.1.4. Estudio previo**

Contar con la topografía del terreno y estudio del suelo (geotécnico) es crucial para el diseño del sistema de tratamiento de agua residual, especialmente para etapas posteriores del proyecto, como los diseños estructurales y presupuesto de obra.

Durante esta etapa de diagnóstico se llevó a cabo una recopilación de información existente. Dentro de lo encontrado, se identificaron planos topográficos de la zona, los cuales se presentan en el Apéndice B; También, fue necesario realizar estudios geotécnicos, en el laboratorio de caracterización de materiales de construcción de la Universidad Industrial de Santander, mediante tres ensayos de granulometría, que se apoyaron en el muestreo, como se evidencia en la Figura 5, y los resultados de dicho estudio se detallan en el Apéndice C.

#### **Figura 5**

*Muestreo para estudio geotécnico.*



*Nota.* Las imágenes evidencian el apoyo brindado en el trabajo en campo realizado.

De acuerdo con la topografía del terreno, la ubicación aproximada de la PTAR será en las coordenadas 7°00'13" N 73°06'43" W, a una altura de 1.176 metros sobre el nivel del mar. Por

otra parte, según el estudio geotécnico, se especifica como resultado que la zona cuenta con un suelo clasificado como arena limosa.

## **6.2. Fase 2: Diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas**

### **6.2.1. Análisis de alternativas de tratamiento**

Para la selección del sistema, es importante analizar las diferentes variables que afectan su sostenibilidad, teniendo en cuenta los siguientes aspectos: técnico, social, económico y cultural, que definen la aplicabilidad de una determinada tecnología.

Entre los factores que influyen en la selección de un proceso de tratamiento de aguas residuales, o de la combinación adecuada de ellos, pueden mencionarse los siguientes: la calidad del efluente, la disponibilidad del terreno, la confiabilidad del sistema de tratamiento, los costos de construcción, operación del sistema de tratamiento y la facilidad de optimización del proceso para satisfacer requerimientos futuros más exigentes.

La mejor alternativa de tratamiento se selecciona con base en el estudio individual de cada caso, de acuerdo con las eficiencias de remoción requeridas y con los costos de cada una de las posibles soluciones técnicas. En la Tabla 3 se consignan los procesos que pueden ser aplicados en el tratamiento de las aguas residuales de acuerdo con el contaminante que se desea retirar.

**Tabla 3**

*Procesos aplicables en el tratamiento de aguas residuales.*

<b>CONTAMINANTE</b>	<b>PROCESO</b>
<b>DBO Y DQO</b>	Lodos Activados, lagunas aireadas, filtros percoladores, unidades de contacto biológico rotatorio o biodiscos, lagunas facultativas aireadas o fotosintéticas, lagunas anaerobias, filtros anaerobios, proceso anaerobio de contacto, reactores anaerobios de flujo ascensional (UASB). Planta de tratamiento fisicoquímicas
<b>SÓLIDOS SUSPENDIDOS</b>	Sedimentación, flotación, cribado, filtración

CONTAMINANTE	PROCESO
<b>COMPUESTOS ORGÁNICOS REFRACTARIOS</b>	Adsorción con carbón, intercambio iónico, electrodiálisis, ósmosis inversa
<b>NITRÓGENO</b>	Nitrificación – desnitrificación, intercambio iónico
<b>FÓSFORO</b>	Precipitación química, coprecipitación biológica, intercambio iónico
<b>METALES PESADOS</b>	Intercambio iónico, precipitación química
<b>SÓLIDOS DISUELTOS INORGÁNICOS</b>	Intercambio iónico, electrodiálisis, ósmosis inversa

*Nota.* La tabla indica los procesos que usualmente se aplican en el tratamiento de aguas residuales.

De acuerdo con lo anterior, se plantean dos alternativas de tratamiento biológico de las aguas residuales domesticas del centro poblado, siendo estas:

#### **6.2.1.1. Alternativa 1 (Lodos activados)**

En esta alternativa se proyecta una planta de lodos activados, con lo cual se espera obtener remociones hasta el 90% de DBO. El sistema constara de las siguientes etapas:

**Tratamiento preliminar:** estará conformado por rejillas y un desarenador, con los cuales se busca eliminar los componentes del agua residual tales como arenas y solidos de gran tamaño que pueden provocar problemas en procesos posteriores.

**Tratamiento primario:** en esta fase se busca eliminar una fracción de solidos en suspensión mediante un sedimentador primario.

**Tratamiento secundario:** consta de un tanque de lodos activados y un sedimentador secundario que removerán principalmente la DBO soluble y solidos suspendidos presentes en el agua residual. En este sistema se contará con un sedimentador secundario que permita la retención del lodo presente en el licor mixto.

**Tratamiento de lodos:** debido a que el tratamiento del agua es de tipo aeróbico se generara una cantidad de lodo considerable la cual debe ser estabilizada y dispuesta de manera adecuada, por ende, se contara con un espesador, un digestor anaeróbico y lechos de secado.

#### **6.2.1.2. Alternativa 2 (UASB)**

Esta alternativa reduce los elementos necesarios de tratamiento, pues combina en un solo sistema, el tratamiento primario y secundario; sin embargo, las remociones son menores que la tecnología aerobia, del orden del 80% de la carga, el sistema está conformado por tratamiento preliminar, primario. A continuación, se describen las fases del tratamiento:

**Tratamiento preliminar:** consta de rejillas, un desarenador y una trampa de grasas

**Tratamiento primario:** se implementará un UASB (Reactor Anaerobio de flujo ascendente con manto de lodos), encargado de remover el parámetro establecido por norma.

**Tratamiento del lodo:** el lodo purgado del sistema será llevado hacia lechos de secado para disponer el lodo proveniente de la purga del UASB.

#### **6.2.1.3. Selección de alternativa de tratamiento**

Para el proyecto se ha tomado como mejor alternativa el tratamiento UASB. Dado que es un tratamiento anaeróbico, lo que significa una menor producción de lodos en comparación con los lodos activados, porque no requiere oxígeno para descomponer la materia orgánica. Es decir, no requiere compresores ni aireación, lo que reduce significativamente los futuros costos de energía en ejecución y operación. Además, social y culturalmente es más asertivo, dado que no necesita personal altamente capacitado para su mantenimiento, y puede ser construido y desarrollado de manera discreta, evitando el impacto visual y auditivo.

### **6.2.2. Periodo de diseño**

Para el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas de la vereda buenos aires, se establecen los requisitos técnicos necesarios para definir el periodo de diseño según la Resolución 0330 de 2017, de acuerdo con el artículo 40. “Periodo de diseño. Para todos los componentes de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo, se adopta como periodo de diseño 25 años” (Resolución 0330, 2017, p.22). Por consiguiente, el periodo de diseño para el presente proyecto será de 25 años.

### **6.2.3. Proyección de la población**

Para estimar aproximadamente la cantidad de personas que se beneficiara con el presente proyecto, se deben utilizar métodos numéricos y datos de censos, que son ejecutados por entidades colombianas como: DANE, Ministerio de Salud y el Departamento Nacional de Planeación. Esta investigación permite anticipar el crecimiento o decrecimiento poblacional.

De acuerdo con lo anterior, se utilizaron dos métodos: exponencial y aritmético, ya que sus parámetros y variables de aplicación se adaptaron a la comunidad Buenos Aires, dado que permitieron proyectar la población de la siguiente manera:

#### **6.2.3.1. Método exponencial**

Requiere conocer por lo menos tres censos para poder determinar el promedio de la tasa de crecimiento de la población según el DANE. Se recomienda su aplicación a poblaciones que muestren desarrollo y posean área de expansión (Conde et al. , 2021).

Para el desarrollo del presente método se aplicarán las siguientes fórmulas:

$$K = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}$$

Donde:

- PCP: Población del censo posterior
- PCA: Población del censo anterior
- TCP: Es el año correspondiente a censo posterior
- TCA: Es el año correspondiente a censo anterior
- LN: Logaritmo natural o neperiano
- K: Tasa promedio de crecimiento de la población para cada par de censos

$$Pf = Pci * e^{k(Tf-Tci)}$$

Donde:

- PF: Población futura (Año 2049)
- PCI: Población censo inicial
- K: Tasa de crecimiento de la población
- TF: Año proyección futura (Año 2049)
- TCI: Año del censo anterior

Para la aplicación de la siguiente formula, se utilizaron los datos obtenidos a través de los censos realizados y proyecciones establecidas por el DANE en los periodos 2005, 2010, 2015 y 2018, para la población de Piedecuesta y Centros poblados; es importante mencionar que en la actualidad el municipio de Piedecuesta cuenta con 16 centros poblados.

**Tabla 4**

*Censo Piedecuesta, centros poblados DANE.*

<b>Año</b>	<b>Población actual</b>
<b>2005</b>	1539
<b>2010</b>	1608
<b>2015</b>	1702
<b>2018</b>	1771

Año	Población actual
2049	?

*Nota.* La tabla muestra los datos de población en el centro poblado en un tiempo determinado según el DANE.

Una vez se identifica la población del censo posterior y anterior, se procede a calcular la tasa de crecimiento de la población anual, para el año 2049.

### Tabla 5

*Características de la población- método exponencial.*

Pcp	Pca	Pci	Tcp	Tca	Tci	Tf	K	Pf
1771	1702	1539	2018	2015	2005	2049	0,013294	2762,742057
1702	1608	1539	2015	2010	2005	2049	0,011425	2544,629835
1608	1539	1539	2010	2005	2005	2049	0,008677	2254,847487
Promedio								2521
K (Tasa de Crecimiento Poblacional)								0,0133

*Nota.* La tabla evidencia el cálculo de la variable de crecimiento poblacional mediante el método exponencial para el centro poblado.

Calculada la tasa de crecimiento poblacional, que pasa el presente proyecto es de 0,0133%, se procede a calcular la población futura para el año 2049.

$$Pf = Pci * e^{k(Tf-Tci)} = 1539 * e^{0,0133(2049-2005)} = 2762,74 \text{ Hab.}$$

#### 6.2.3.2. Método aritmético

Este método es aplicable a comunidades pequeñas (rurales o urbanas), cuyo objetivo es realizar un balance de crecimiento en función de la mortalidad y la emigración (Conde et al. ,2021).

$$Pf = Puc + \frac{Puc - Pci}{Tcu - Tci} * (Tf - Tuc)$$

Donde:

- PF: Población correspondiente al año para el que se quiere proyectar la población

- PUC: Población correspondiente al último año censado con información
- PCI: Población correspondiente al censo inicial con información
- TUC: Año correspondiente al último censo con información
- TCI: Año correspondiente al censo inicial con información
- TF: Es el año al cual se requiere proyectar información

Para la aplicación de la siguiente formula, se utilizaron los datos del DANE (2018 y 2015).

**Tabla 6**

*Características de la población- método aritmético*

<b>Puc</b>	1771
<b>Pci</b>	1702
<b>Tuc</b>	2018
<b>Tci</b>	2015
<b>Tf</b>	2049
<b>Densidad poblacional</b>	3,549

*Nota.* La tabla muestra la población del centro poblado para el año 2015 y 2018 respectivamente, teniendo en cuenta la densidad poblacional.

El centro poblado Buenos aires, por ser un sector suburbano, establecido en el plan de ordenamiento territorial, tiene una densidad máxima permitida por determinante ambiental de 8 viviendas/ha y una densidad poblacional de 3,25 Hab/vivienda. En paralelo con los censos del DANE, los datos obtenidos son lógicos y aceptables.

Por lo tanto, la población futura para el 2049 es de:

$$Pf = Puc + \frac{Puc - Pci}{Tcu - Tci} * (Tf - Tuc) = 2484 \text{ Habitantes}$$

En efecto el método aritmético se considera el más acertado para estimar la población premeditada en un período de 25 años. De acuerdo con la densidad poblacional y las viviendas

proyectadas que prevén 2275 habitantes en ese tiempo, se considera por criterio lógico y aproximado, que la estimación generada por este método técnicamente es la más adecuada (2484 habitantes).

#### 6.2.4. Caudal de diseño

### Figura 6

*Caudales de diseño.*

Caudal	Descripción	Aplicación
Caudal medio de diseño	Caudal medio diario de capacidad de la PTAR	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caudal medio de referencia</li> <li>- Caudal de diseño de unidades de tanques sépticos</li> <li>- Sistemas lagunares</li> </ul>
Caudal máximo horario	Máximo volumen en una hora, identificado en los registros estudiados	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimensionamiento de sistemas de bombeo, procesos físicos (desarenadores, cribados, trampas de grasa y sedimentadores primarios y secundarios)</li> <li>- Desarrollo de estrategias operativas</li> <li>- Conductos de interconexión de unidades de proceso</li> </ul>
Caudal máximo diario	Máximo volumen en un día, identificado en los registros estudiados	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimensionamiento de tanques de regulación</li> <li>- Dimensionamiento de sistemas de bombeo de lodos</li> <li>- Dimensionamiento de dosificación química</li> </ul>
Caudal máximo mensual	Caudal promedio diario para el mes con el mayor volumen mensual identificado en los registros estudiados	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimensionamiento de biorreactores.</li> <li>- Dimensionamiento del almacenamiento de químicos</li> </ul>

*Nota.* La tabla muestra los caudales que están ligados a los diferentes tratamientos dentro del sistema aplicado a la zona en estudio. Tomado de la *resolución 330 de 2017*.

El caudal de diseño adecuado para el tratamiento preliminar que incluye procesos físicos (cribado, desarenador y trampa de grasas) es el caudal máximo horario y para el tratamiento primario que se enfoca en los biorreactores, se tendrá en cuenta el caudal máximo mensual, como está estipulado en el Art. 166 de la resolución 0330 de 2017 (ver figura 6).

Para el diseño deberán utilizarse datos de factores máximos del área de influencia del proyecto, respecto al rango de caudales medios.

**Figura 7***Factores pico para caudales en tratamiento de aguas residuales*

Rango de caudales medios (l/s)	Factor máximo horario	Factor máximo diario	Factor máximo mensual
0 – 10	4	3	1,7
Los valores de los factores máximos horario, diario y mensual para caudales entre 10 y 90 l/s se interpolarán linealmente			
90	2,9	2,1	1,5
Los valores de los factores máximos horario, diario y mensual para caudales entre 90 l/s y 700 l/s se interpolarán linealmente.			
Mayor a 700	2	1,5	1,2

*Nota.* La figura define los factores máximos que influyen en el proceso de diseño debido a las características del caudal. Tomado de la *resolución 330 de 2017*.

**6.2.4.1. Caudal medio de diseño**

El art. 134 de la Resolución 0330 de 2017 indica que “el caudal medio diario de aguas residuales es la suma de los aportes domésticos, comerciales, institucionales e industriales” (Resolución 0330, 2017, p.61).

Para realizar el cálculo de caudal medio de diseño se aplica la siguiente formula, en la cual se tiene en cuenta el aporte generado por la industria y comercio.

$$Q_{MD} = Q_D + Q_I + Q_C + Q_{IND} + Q_{INF}$$

Donde:

- $Q_D$  = caudal de aguas domesticas
- $Q_I$  = caudal de aguas industriales
- $Q_C$  = caudal de aguas comerciales
- $Q_{IND}$  = caudal de aguas institucionales
- $Q_{INF}$  = caudal de aguas de infiltracion

A continuación, se definen los caudales de la siguiente forma:

**Caudal Domestico ( $Q_D$ ):**

$$Q_d = \frac{CR * P * D_{neta}}{86400 \text{ seg}}$$

Donde:

- D<sub>neta</sub>: dotación neta máxima de acuerdo con la altitud de la zona (ver figura 9).
- P: población servida y estimada al año de diseño.
- CR: coeficiente de retorno, de no contar con los datos de campo, se debe tomar un valor de 0.85.

### Figura 8

*Dotación neta máxima por habitantes según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida*

ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA	DOTACIÓN NETA MÁXIMA (L/HAB*DÍA)
> 2000 m.s.n.m	120
1000 – 2000 m.s.n.m	130
< 1000 m.s.n.m	140

*Nota.* Se indica una dotación neta máxima por habitante. Tomado de la *resolución 330 de 2017*.

De esta forma:

$$Q_d = \frac{CR * P * D_{neta}}{86400}$$

Teniendo en cuenta:

- D<sub>neta</sub>: La altitud del centro poblado es 1162 metros, con lo cual la dotación neta es 130 (L/Hab\*día).
- P: Es la proyección de población estimada por el método aritmético a 25 años, que dio como resultado 2484 habitantes.
- CR: Dado que no contamos con datos de campo, se toma el valor de 85%.

De esta forma,

$$Q_d = \frac{0.85 * 2484 * 130}{86400} = 3.18 \text{ lps}$$

### Caudal Industrial ( $Q_I$ )

De acuerdo con la revisión general se establece la inexistencia de captaciones utilizadas para procesos industriales que puedan descargar efluentes con iones, metales y metaloides en concentraciones altas. Por ende, se establece que Buenos Aires, respecto al nivel de complejidad (ver figura 11) del sistema, no genera aportes de este tipo.

$$Q_I = 0,4 \left( \frac{l}{s} * Ha \text{ Ind} \right) * 0 = 0 \text{ lps}$$

**Tabla 7**

*Contribución de aguas residuales industriales para industrias pequeñas.*

Nivel de complejidad del sistema	Contribución Industrial (L/s. Ha Ind)
Bajo	0.4
Medio	0.6
Medio Alto	0.8
Alto	1.0

*Nota.* La figura evidencia el nivel de complejidad del sistema, según la norma, para asumir unos valores de contribución industrial por hectárea. Tomado de la *resolución 330 de 2017*.

### Caudal comercial ( $Q_C$ )

Para zonas mixtas comerciales y residenciales, se ponderan caudales medios con base en la concentración comercial relativa a la residencial, utilizando como base el siguiente dato:

- Nivel de complejidad del sistema (Cualquier): 0,4-0,5 (L/s\*ha com)

Dado que en el terreno no se desarrolla la actividad de comercio en área exclusivas, no se tendrá en cuenta este aporte de caudales para el presente estudio.

$$Q_C = 0.4 \frac{lps}{ha} * 0 ha = 0 lps$$

### **Caudal Institucional ( $Q_{ins}$ )**

Para pequeñas instituciones ubicadas en zonas residenciales, los aportes de aguas residuales pueden estimarse a partir de los valores por unidad de área institucional, utilizando como base el siguiente dato:

- Nivel de complejidad del sistema(cualquier) :0,1- 0,3 (L/s\* ha com)

$$Q_{ins} = 0.1 lps * 0.25 ha = 0.025 lps$$

### **Caudal de infiltración( $Q_{inf}$ )**

La resolución 0330 de 2017 define el caudal de infiltración como el aporte por la infiltración de las redes de alcantarillado y se calcula con base en un factor de 0.1 lps por hectárea aplicado al área de aferencia de la red de alcantarillado, de esta manera para la vereda Buenos aires, se define:

$$Q_{inf} = 0.1 \frac{lps}{ha} * 10 ha = 1 lps$$

Ahora bien, con estos datos se procede con el cálculo del caudal medio de diseño.

### **Caudal medio de diseño ( $Q_{MD}$ )**

Para el cálculo del caudal medio de aguas residuales se tomó en cuenta la suma de los datos de aportes domésticos, industriales, comerciales, institucionales e infiltración.

$$Q_{MD} = Q_D + Q_I + Q_C + Q_{IND} + Q_{INF}$$

$$Q_{MD} = 3,18 lps + 0 lps + 0,025 lps + 1 lps$$

$$Q_{MD} = 4,2 lps$$

#### **6.2.4.2. Caudal máximo horario (QMH)**

El caudal máximo horario se estima a partir del caudal de diseño en época seca, mediante el uso del factor pico estipulado en la resolución 0330 de 2017 que define para un caudal domestico entre 0-10 lps un valor de 4 para el factor máximo horario.

$$QMH = F * Q_{MD} = 4 * 3,18 \text{ lps} = 12,71 \text{ lps}$$

#### **6.2.4.3. Caudal máximo diario (QMD)**

El caudal máximo diario se estima a partir del caudal de diseño en época seca, mediante el uso del factor pico estipulado en la resolución 0330 de 2017, que define para un caudal domestico entre 0-10 lps un valor de 3 para el factor máximo diario.

$$QMD = F * Q_{MD} = 3 * 3,18 \text{ lps} = 9,53 \text{ lps}$$

#### **6.2.4.4. Caudal máximo mensual (QMM)**

El caudal máximo mensual se estima a partir del caudal de diseño en época seca, mediante el uso del factor pico estipulado en la resolución 0330 de 2017, que define para un caudal domestico entre 0-10 lps un valor de 1.7 para el factor máximo mensual.

$$QMM = F * Q_{MD} = 1.7 * 3,18 \text{ lps} = 5,40 \text{ lps}$$

### ***6.2.5. Diseño tratamiento preliminar***

El tratamiento preliminar o pretratamiento es la primera del proceso de depuración de las aguas residuales, mediante sistemas de cribado y la separación de materiales pesados y grasas. Esta fase es de vital importancia para proteger equipos y garantizar la eficiencia del sistema de tratamiento.

#### **6.2.5.1. Cribado**

Los datos básicos de diseño de canal de entrada se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 8***Datos básicos de diseño para cribado*

<b>Población de diseño</b>	2484	habitantes
<b>Dotación</b>	130	l/h*dia
<b>Retorno de alcantarillado</b>	85% (0.85)	CR
<b>Caudal máximo mensual</b>	5,40	Lps
<b>Caudal máximo diario</b>	9,53	Lps
<b>Caudal máximo Horario</b>	12,71	Lps
<b>Tipo de limpieza</b>	Manual	
<b>Velocidad de aproximación en el sentido de la rejilla</b>	0.60	m/seg

*Nota.* La tabla muestra los datos de diseño establecidos según las características de la zona en estudio y la población que la conforma.

De acuerdo con los factores que definen la complejidad del sistema según la Resolución 0330 de 2017, se determinó un sistema de cribado manual por la baja complejidad de este, en el cual necesario el manejo de personal de limpieza permanente para prever problemas por falta de limpieza y disposición de residuos retenidos en las rejillas.

Con el cribado grueso se espera retener material de gran tamaño, típico de alcantarillados domésticos, además de un sistema de cribado fino, que retenga el material de menor tamaño para evitar interferencias en las etapas posteriores del tratamiento.

Características asumidas del sistema de cribado:

- Velocidad de aproximación = 0,60 m/s
- Ancho de barra cribado grueso= 12,7 mm o ½”
- Ancho de barra cribado fino= 12,7 mm o ½”
- Separación entre barra cribado grueso= 40 mm (Art 186 Res 330/2017)
- Separación entre barra cribado fino = 10 mm (Art 186 Res 0330/2017)

Las dimensiones del canal de entrada se determinan teniendo en cuenta las anteriores características asumidas:

$$W = \frac{F}{V_{MAX} * D} * \left( \frac{B + S}{S} \right)$$

Donde:

- W = ancho del canal (m)
- F = caudal máximo (m<sup>3</sup>/s)
- Vmax = velocidad de aproximación (m/s)
- D = nivel aguas arriba (m)
- B = ancho barras (m)
- S = separación entre barras (m)

El nivel de aguas arriba está determinado por la siguiente expresión:

$$D = 0.15 + 0.74 * \sqrt{Q_{MAX}}$$

Donde:

- D = nivel aguas arriba (m)
- Qmax = caudal máximo (m<sup>3</sup>/s)

De acuerdo con las ecuaciones planteadas se obtienen las siguientes dimensiones:

- Ancho del canal= 0,12(0,3 m asumido)
- Profundidad útil= 0,23 m
- Numero de barras requerido (Cribado grueso) =5
- Numero de barras requerido (Cribado fino) =13

Con estas dimensiones, se procede al chequeo en el cálculo de la velocidad de aproximación para las rejillas finas (0,80 m/s). Siendo lógico el resultado por la turbulencia creada en las estructuras se garantiza que no exista sedimentación en el canal y no habrá arrastre de

material retenido ya que la velocidad no es muy alta, dado que se encuentra en el rango de 0,3 a 1,2 m/s, establecido por la resolución 0330 de 2017, artículo 186.

El canal tendrá una pendiente hidráulica del 0,14% en la primera sección y 0,27% en la segunda sección, de tal manera el flujo de agua será a gravedad.

### Perdidas de tratamiento preliminar

Para el cálculo de las pérdidas por rejillas se emplea la siguiente expresión:

$$h = \beta \left(\frac{b}{d}\right)^{\frac{4}{3}} * \left(\frac{v^2}{2g}\right) * \text{sen}(\alpha)$$

**Tabla 9**

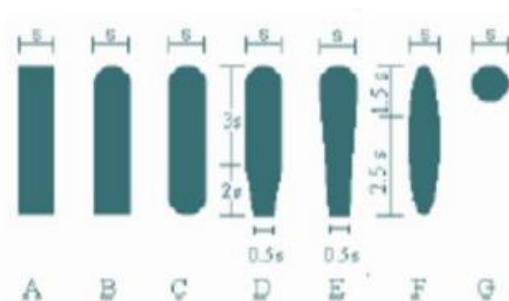
*Coefficiente de pérdidas para rejillas*

Sección transversal							
Forma	A	B	C	D	E	F	G
$\beta$	2.42	1.83	1.67	1.035	0.92	0.76	1.79

*Nota.* La tabla indica los coeficientes de pérdidas para rejillas. Tomado del RAS 2000 título E.

**Figura 9**

*Diferentes formas de rejillas.*



*Nota.* La imagen muestra las características de las rejillas. Tomado del RAS 2000 título E.

Donde:

- $\beta$ : coeficiente de forma de la rejilla(A)
- $d$ : separación entre barras

- $b$ : *espesor de la barra*
- $v$ : *velocidad de aproximacion*
- $g$ : *aceleracion de gravedad*
- $\alpha$ : *angulo de inclinacion*

$$h_{gruesa} = 2,42 * \left(\frac{0,04}{0,0127}\right)^{4/3} * \left(\frac{0,6^2}{2 * 9,81}\right) * \text{sen}(1,05) = 0,00833 \text{ m}$$

$$h_{fina} = 2,42 * \left(\frac{0,01}{0,0127}\right)^{4/3} * \left(\frac{0,6^2}{2 * 9,81}\right) * \text{sen}(1,05) h_{fina} = 0,05289 \text{ m}$$

El área útil se determina de la siguiente manera:

$$Au = H * (B - (N * E))$$

Donde:

- $H$  = *altura de lamina de agua*
- $B$  = *ancho util*
- $N$  = *numero de barras*
- $e$  = *ancho de barras*

Entonces:

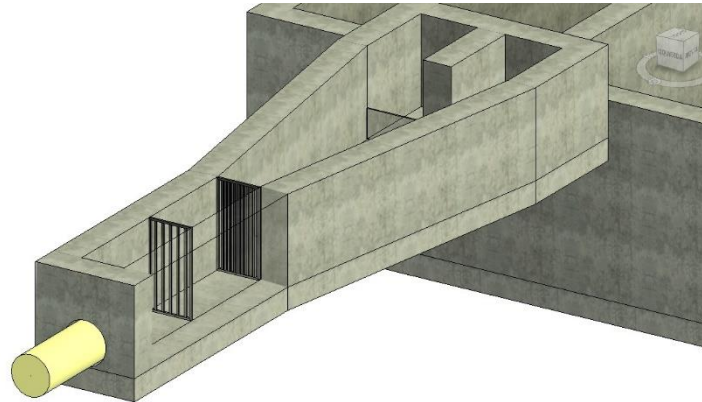
$$A_{gruesa} = H * (B - (N * E))$$

$$A_{gruesa} = 0,233 * (0,30 - (5 * 0,0127)) = 0,055 \text{ m}^2$$

$$A_{fina} = H * (B - (N * E))$$

$$A_{fina} = 0,233 * (0,30 - (13 * 0,0127)) = 0,040 \text{ m}^2$$

A continuación, se presenta en la figura el sistema de cribado.

**Figura 10***Sistema de cribado*

*Nota.* La figura indica la rejilla fina y gruesa del sistema de cribado.

#### 6.2.5.2. Desarenador

Su objetivo es la extracción de la mayor cantidad posible de arenas presentes en las aguas residuales. Con esta operación se pretende proteger los equipos por desgaste y evitar la acumulación de estas materias pesadas. Los datos básicos para el diseño del desarenador se encuentran en la siguiente tabla:

**Tabla 10**

*Datos básicos de diseño para el desarenador*

<b>Caudal de diseño(q)=</b>	0,01271	m <sup>3</sup> /s
<b>Temperatura (t)=</b>	20	°c
<b>Aceleración de la gravedad (g)=</b>	981	cm/s <sup>2</sup>
<b>Peso específico de la partícula de arena (ps)=</b>	2,65	tn/m <sup>3</sup>
<b>Viscosidad cinemática del fluido(μ)=</b>	0,01007	cm <sup>2</sup> /s
<b>Material en suspensión (ds)=</b>	0,005	mm
<b>Peso específico del fluido(p)=</b>	1,1	tn/m <sup>3</sup>

*Nota.* La tabla muestra las variables fisicoquímicas establecidas para diseñar el desarenador.

De acuerdo con la clasificación del material en suspensión de las aguas residuales domésticas, las partículas mínimas que se desean retirar del proceso de tratamiento se asumieron con un diámetro de 0,005 mm.

Las dimensiones del desarenador se establecen mediante los datos básicos de diseño:

- Velocidad de sedimentación de las partículas

$$V_s = \frac{g * (P_s - P) * d_s^2}{18\mu} = 0,208 \text{ cm/seg}$$

- Relación Largo-Ancho= 1:5
- Numero de Hazen=2
- Periodo de retención

$$Tr = \frac{\text{Numero de Hazen} * \text{Profundidad util}}{\text{Velocidad de sedimentacion}} = \frac{2 * 70 \text{ cm}}{0,20972 \text{ cm/s}} = 0,20872 \text{ hora}$$

- Volumen del tanque

$$V = Tr * Q = 667,555 \text{ s} * 0,01271 \text{ m}^3/\text{s} = 8,484 \text{ m}^3$$

- Área superficial del tanque

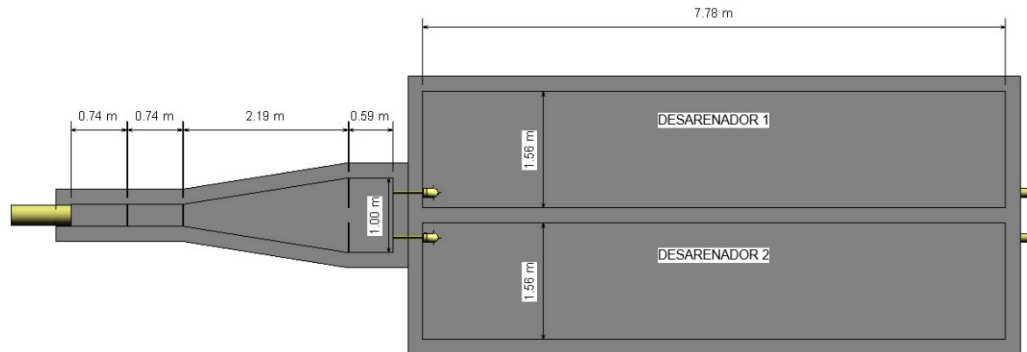
$$A_s = V/H \quad A_s = \frac{8,484 \text{ m}^3}{0,70 \text{ m}} = 12,12 \text{ m}^2$$

- Dimensiones del tanque

$$\text{Ancho } B = \left(\frac{A_s}{X}\right)^{0,5} = \left(\frac{12,12}{5}\right)^{0,5} = 1,56 \text{ m}$$

$$\text{Largo } L = X * B = 5 * 1,56 = 7,78 \text{ m}$$

A continuación, se presenta el detalle del desarenador.

**Figura 11***Desarenador*

*Nota.* La figura evidencia el diseño del desarenador, indicando algunas de sus dimensiones.

### 6.2.5.3. Trampa de grasas

Por motivos de eficiencia en el proceso, es recomendable el uso de dos trampas de grasas con diseño en paralelo para evitar paros de aguas cuando sea necesario trabajar con una sección, para poder realizar mantenimiento o limpieza. Por tal motivo el dimensionamiento establecido a continuación se tendrá en cuenta para ambas trampas de grasa.

El caudal disponible para el dimensionamiento es:

$$Q_{tg} = 12,7 \text{ L/s} = 0,0127 \text{ m}^3/\text{s}$$

Con el diseño se tomó el tiempo de retención que se indica en la siguiente tabla:

**Tabla 11**

*Tiempos de retención hidráulica para trampa de grasas*

Tiempo de retención (minutos)	Caudal de entrada (L/s)
3	2-9
4	10-19
5	20 o más

*Nota.* La tabla muestra los tiempos de retención hidráulico establecidos normativamente para diferentes cantidades de caudal.

Según la tabla 10, al tener un caudal de 12,7 l/s, se toma un tiempo de retención de 4 minutos, teniendo en cuenta que, a mayor tiempo, mayor efecto de la gravedad para producir una separación efectiva de la grasa.

Se calcula el Volumen de la trampa de grasa utilizando el caudal de diseño y el tiempo de retención:

$$V = Q_{tg} * tr$$

$$V = 0,01271 m^3/s * \left(\frac{60 s}{1 min}\right) * 4 min = 3,05 m^3$$

El área superficial de la trampa de grasas ( $A_s$ ) se calcula a partir de la velocidad ascendente ( $V_a$ ) y el Caudal de diseño ( $Q_{tg}$ ):

El valor de la velocidad ascendente ( $V_a$ ) está dado por la resolución 0330 de 2017 y es de 0,004 m/s.

$$A_s = \frac{Q_{tg}}{v_a} = \frac{0,01271 m^3/s}{0,004 m/s} = 3,1775 m$$

Para las dimensiones de la trampa de grasas se tiene en cuenta los siguiente: de acuerdo con la relación largo: ancho que propone la resolución 0330 de 2017 la cual es 1:1 hasta 3:1, por lo cual se tomara una relación de 1:1,5 para dimensionamiento.

*Asumiendo un ancho del canal de 1,1 m*

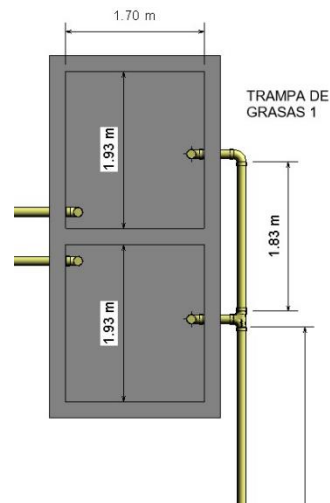
$$A = L * B$$

$$L = 1,5 * B = 1,5 * 1,1 = 1,7 m$$

Altura de trampa de grasas:

$$H = \frac{\text{Volumen trampa}}{\text{Area trampa}} = \frac{3,0504 m^3}{3,177 m^2} = 0,96 m$$

A continuación, se presenta en figura trampa de grasas del sistema.

**Figura 12***Trampa de grasas*

*Nota.* La figura evidencia el diseño de la trampa de grasas, indicando las longitudes definidas.

#### **6.2.6. Diseño el reactor anaeróbico de flujo ascendente (UASB)**

Esta fase del tratamiento busca remover un gran porcentaje de la DQO presente en el agua, disminuyendo los requerimientos de diseño en el tratamiento primario.

El diseño del Reactor Anaeróbico de Flujo ascendente (UASB) se fundamenta en el tiempo de retención hidráulico, siendo el periodo de tiempo que el agua permanece en la unidad de tratamiento, desde la captación hasta la entrega del efluente final. Para este diseño se trabajará con un TRH de 6-9 horas, tomando como referencia el caudal medio diario según la tabla 31 del artículo 191 de la resolución 0330/2017.

**Tabla 12***Tiempo de retención hidráulica para reactores UASB*

<b>Temperatura del agua residual (°C)</b>	<b>Tiempo de retención hidráulica(horas)*</b>
16 a 19	10-14
20 a 26	6-9
>26	>6

*Nota.* La tabla indica el tiempo de retención hidráulica dependiendo de la temperatura del agua residual. Tomado de la *resolución 330 de 2017*.

Para el diseño de UASB se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

**Tabla 13**

*Criterios de diseño reactor UASB*

<b>Numero de reactores</b>	2	-
<b>Tiempo de retención hidráulico (TRH)</b>	7	Horas
<b>Altura del reactor (H)</b>	5	m
<b>Numero de sedimentadores</b>	1	-
<b>Ancho sedimentador</b>	2	m
<b>Numero de campanas</b>	1	-
<b>Ancho de campanas</b>	0,3	m
<b>Velocidad de sedimentación (Vs)</b>	0,7	$\frac{m^3}{m^2} * dia$

*Nota.* La tabla evidencia los factores asumidos para el diseño del reactor UASB teniendo en cuenta la velocidad de sedimentación en el proceso.

El diseño se hará para un solo reactor y se sugiere replicarlo en caso de mantenimiento para que el sistema no limite su trabajo. El caudal de diseño será 1,59 L/s (5,72 m<sup>3</sup>/h).

**Volumen del reactor:**

$$V_{REACTOR} = Q * TRH$$

$$V_{REACTOR} = \frac{5,72m^3}{h} * 7 \text{ horas} = 40,02 m^3$$

**Área superficial:**

$$A = \frac{V_{REACTOR}}{H} = \frac{40,02m^3}{5m} = 8 m^2$$

**Área de sedimentación:**

$$A_{SED} = \frac{5,72m^3/h}{0,7 (m^3 * m^2)/h} = 8,16 m^2$$

El área por sedimentador se determina dividiendo el área total de sedimentación sobre el número de sedimentadores. En este caso se tiene un área por sedimentador de  $8,16 \text{ m}^2$ .

**Ancho del reactor:**

$$a_{reactor} = (N^{\circ}campanas * ancho\_campana) + (N^{\circ}sediment.* ancho\_sediment.)$$

$$a_{reactor} = (2 * 0,3m) + (1 * 2)$$

$$a_{reactor} = 2,3 \text{ m}$$

**Longitud del reactor:**

$$L_{reactor} = \frac{A_{SED}}{Ancho\_se\ dim e ntador} = \frac{8,16 \text{ m}^2}{2m} = 4,1m$$

**6.2.6.1. Deflector**

Para el diseño del deflector se asumirá una velocidad de paso de  $110 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{dia}$ , valor que está dentro del rango recomendado, el cual varía entre  $80$  y  $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{dia}$ .

**Área de paso deflector:**

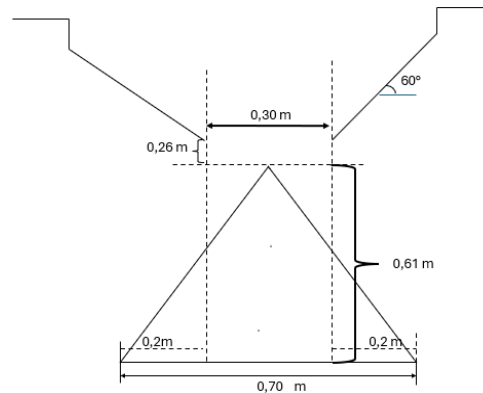
$$A_{paso} = \frac{Q \text{ por sedimentador}}{Velocidad \text{ de paso}} = \frac{\left(\frac{5,72 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{1 \text{ sed}}\right) * \left(\frac{24 \text{ h}}{1 \text{ dia}}\right)}{110 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{dia}} = 1,24 \text{ m}^2$$

Teniendo en cuenta un ángulo de inclinación de las paredes del sedimentador de  $60^\circ$ , y utilizando las relaciones geométricas se tienen las siguientes dimensiones para el deflector:

- Ancho área de paso: 0,30m
- Traslado pantalla deflector: 20 cm
- Ancho deflector: 0,70 m
- Altura deflector (A1): 0,61m
- Separación deflector y zona de reacción (A2): 0,26m

**Figura 13**

*Dimensiones para el deflector UASB*



*Nota.* La imagen muestra una demostración grafica con dimensiones, para el deflector actuante dentro del reactor UASB.

#### 6.2.6.2. Sedimentador

El diseño del sedimentador se basa en el ángulo de inclinación de la pantalla (60°), mediante relaciones geométricas se obtienen los siguientes valores:

- Altura sedimentador (A3) = 1,467 m

#### 6.2.6.3. Campanas recolectoras de Biogás

Se ha determinado que para aguas residuales domésticas se tiene una producción de biogás de 0.06 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/m<sup>3</sup> A.R tratada. Además, debe asumirse que hay un 40 – 30% del biogás que está compuesto por otros gases.

De acuerdo con lo establecido, el volumen de biogás producido puede determinarse mediante la siguiente expresión:

$$V_{BIOGAS} = 0.06 * Q * 1.3$$

$$V_{BIOGAS} = 0.06 * 0,0016 \text{ m}^3/\text{s} * 86400 * 1.3$$

$$V_{\text{BIOGAS}} = 10,70 \text{ m}^3/\text{día}$$

El área de la campana se determina así:

$$A = \text{Long. Campana} * \text{Ancho campana} * N.^{\circ} \text{campanas}$$

$$A = 0.31 \text{ m}^2$$

El criterio de velocidad del biogás se cumple con este valor de área de campana. El cálculo de la velocidad de salida del biogás debe oscilar entre 1-5 m/hora.

$$\begin{aligned} \text{Velocidad}_{\text{BIOGAS}} &= \frac{\text{Volumen}_{\text{BIOGAS}}}{A} \\ \text{Velocidad}_{\text{BIOGAS}} &= \frac{10,705 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * \left(\frac{1}{24}\right)}{0,31\text{m}^2} = 1,46 \text{ m/h} \end{aligned}$$

#### 6.2.6.4. Eficiencia de remoción del reactor

La eficiencia de remoción de DQO, será calculada mediante una expresión planteada por Van Andel, así:

$$E = 1 - 0.88 * TRH^{-0.68}$$

$$E = 1 - 0.88 * 8,21^{-0.68} = 0,79$$

Se tendrá una eficiencia del 79%

#### 6.2.6.5. Producción de lodo

De acuerdo con lo reportado en la literatura, se tiene una producción de lodo de 0.075 KgSSV/Kg DQO<sub>removida</sub> y 0.150 Kg SST/ Kg DQO<sub>removida</sub>.

Teniendo en cuenta la eficiencia de remoción del reactor, los valores anteriores de producción y asumiendo una concentración de DQO del efluente de 500 mg/L para el caudal de diseño se tiene:

- 0,02080 kg SSV/día

- 0,00813 kg SST/día

### **Purga de lodos 1**

Se ubica una purga en el fondo de los reactores UASB, con el fin de eliminar el lodo inerte presente, con lo cual se recomienda hacer dos veces al año este proceso para sacar un 30% del volumen total del lodo, y conducirlo por gravedad a los lechos de secado.

### **Purga de lodos 2**

Se ubica una purga en los reactores UASB ubicada a 1.8 del reactor con el fin de eliminar el lodo floculento presente en la parte superior del reactor. Esta purga se recomienda hacerla según producción del reactor y puede descargarse a gravedad a los lechos de secado.

### **6.2.6.6. Canaleta de distribución**

Existirán una canaleta la cual transportarán la mitad del caudal que tratará la planta. La canaleta fue diseñada teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Caudal =  $QM_H / 2$  (0.0064 m<sup>3</sup>/s)
- Pendiente = 0.015 m/m
- Ancho = 0.2 m

A partir de la ecuación de Manning puede hallarse las dimensiones de la canaleta y la lámina de agua. De la siguiente manera:

$$Q = \frac{A * R^{2/3} * S^{1/2}}{n}$$

- Q = caudal max / 2
- A = área de la canaleta
- R = radio hidráulico
- S = pendiente del canal

$$Q = \frac{a * h * \left( \frac{a * h}{2a + h} \right) * S^{1/2}}{n}$$

- a = ancho del canal
- h = profundidad

Las dimensiones útiles serían: a = 0,2 m y b = 0,2 m. Asumiéndose una caja de 0.2m\*0.2m.

El agua deberá ser conducida hacia dos tuberías de 3” que permitirán repartir equitativamente el caudal a través de la tubería de alimentación.

#### **6.2.6.7. Vertedero de control caja de distribución**

La caja de distribución deberá contar con dos cajas de distribución que garantice la repartición de la cuarta parte del caudal máximo horario (4.18 L/s) el ancho de este vertedero se calculó teniendo en cuenta los siguientes criterios:

$$Q = 1.83 * L * H^{3/2}$$

Donde:

- L = 0.2m
- Q = 0.00317 m<sup>3</sup>/s
- H = 0.025m (2.5cm), se puede ubicar el vertedero a mitad del canal para garantizar la distribución del caudal.

#### **6.2.6.8. Tubería de alimentación**

Dado que la adecuada alimentación del reactor es fundamental para evitar líneas preferenciales y zonas muertas dentro del reactor, se ha dispuesto una caja de distribución en la parte superior del reactor, cuya área de influencia es de 2m<sup>2</sup>. A partir de esta área se determinaron el número de salidas necesarias, obteniéndose 5 salidas, se asumen 6.

A partir de la caja de distribución principal se divide en dos, donde cada una distribuye directamente hacia un reactor UASB mediante una flauta. El diámetro de esta tubería fue determinado así:

La diferencia de lámina de agua entre la caja de distribución y la salida de la tubería se estima en 0.3m con diferencia se tendría una velocidad de salida en el tubo determinada a partir de Bernoulli así:

$$V = \sqrt{2 * g * H} = 3.13 \text{ m/s}$$

- V = velocidad de salida en el tubo
- g = gravedad
- H = lámina de agua sobre la tubería

El diámetro se calcula así:

$$A = Q / V = 0.000128\text{m}^2$$

- Q = Caudal de salida por tubería (Q = 0.31L/s en época seca)
- A = área de la tubería

Diámetro = se asume 4"

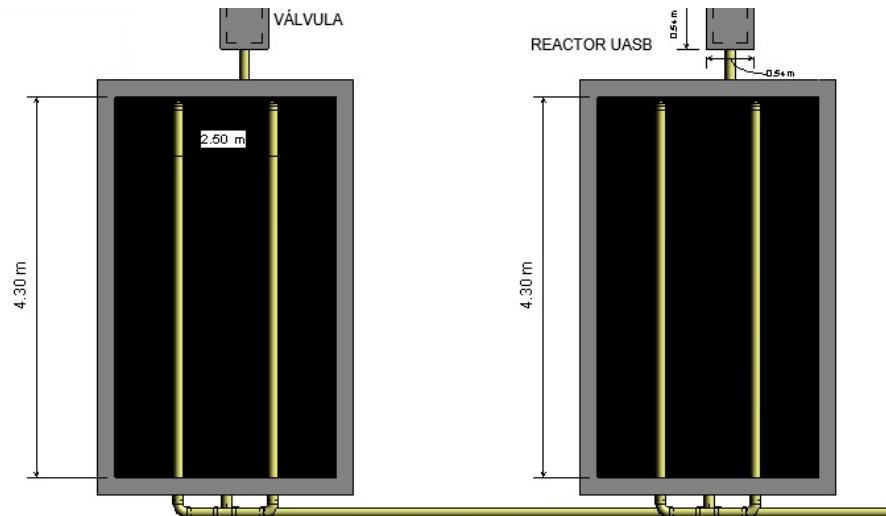
Verificación del funcionamiento de la flauta con el caudal máximo horario.

$$Q = \text{Caudal de salida por tubería (Q = 1.35 L/s)}$$

$$A = 0.000558\text{m}^2$$

Diámetro = se asume de 4"

A continuación, se presenta una figura donde se observa el reactor UASB.

**Figura 14***Reactor UASB.*

*Nota.* La imagen evidencia el diseño del reactor UASB, indicando algunas de sus dimensiones.

### **6.2.7. Tratamiento de lodos**

Para la disposición del lodo purgado de los reactores se ha seleccionado lechos de secado.

#### **Diseño Lechos de Secado:**

El área requerida para los lechos de secado fue determinada mediante el cálculo del caudal de purga del reactor UASB.

#### **Caudal de purga:**

Se asume una concentración de 20g/L del lodo en el fondo del reactor UASB, de donde puede obtenerse el caudal de purga de la siguiente manera:

$$Q_{\text{PURGA}} = \text{Masa total digerida} / \text{concentración lodo}$$

$$Q_{\text{PURGA}} = 0.00041 \text{ m}^3/\text{dia}$$

En base a este caudal de purga pueden dimensionar los lechos de secado, así:

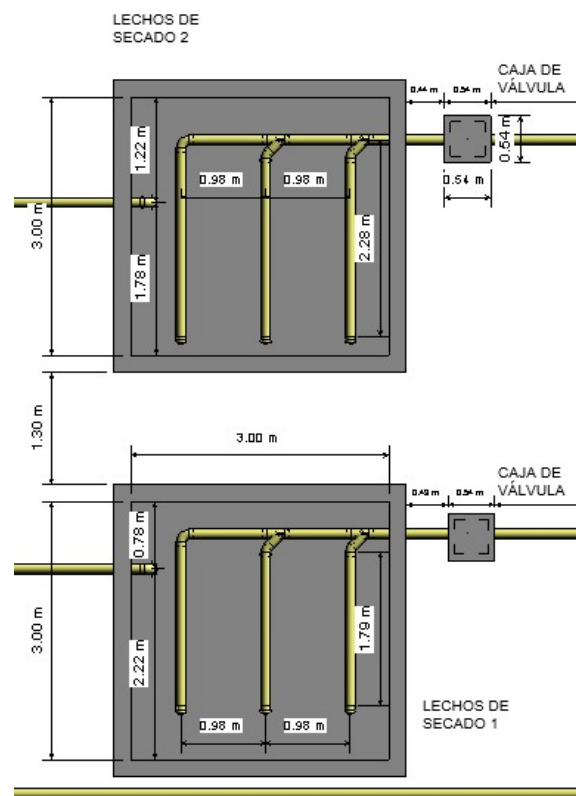
- Período de secado = 17 días
- Volumen a purgar = 0.0069 m<sup>3</sup>

- Altura de lodo en el lecho de secado = 0.10 m
- Número de lechos = 1
- Dimensiones = 1.0 m \* 1.0 m

A continuación, se presenta una ilustración del sistema de lechos de secado.

**Figura 15**

*Lechos de secado*

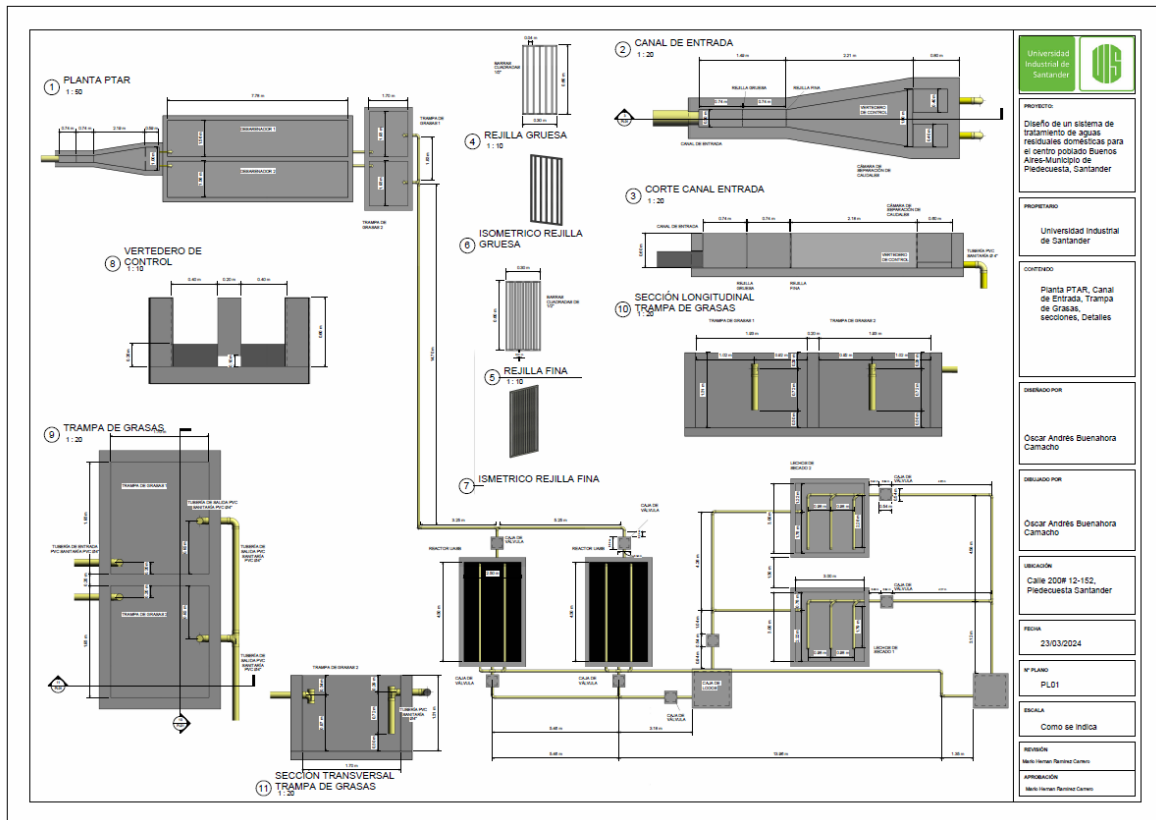


*Nota.* La imagen evidencia el diseño del tratamiento de lechos de secado.

Los datos presentados en el cálculo tipo se evidencian en el Apéndice D, presentándose el documento en Excel, donde se realizó todo el cálculo del diseño y los planos resultantes del diseño se encuentran en el Apéndice E.

**Figura 16**

*Plano de detalles*



*Nota.* La imagen presenta el plano de detalles del diseño del sistema de tratamiento de agua residual.

### 6.3. Fase 3: Socialización del proyecto

Una vez realizados los diseños, se programó la socialización en el centro poblado, con el objetivo de asegurar aceptación, participación y apoyo por parte de la comunidad. Durante la reunión, se proporcionó una presentación de manera general del sistema de tratamiento de agua residual que se implementará, destacando los objetivos y los beneficios que representará el proyecto.

Como se observa en la siguiente imagen, se contó con la participación de la junta de acción comunal, la cual fue crucial en la reunión, puesto que fueron quienes recibieron los diseños y planos, demostrando compromiso e interés en el desarrollo del proyecto. Los detalles de la reunión se documentaron mediante el acta respectiva, la cual se encuentra adjunta en el Apéndice F.

### **Figura 17**

#### *Socialización del proyecto*



*Nota.* Las imágenes evidencian la socialización realizada con el centro poblado Buenos Aires.

## **7. Resultados**

Una vez aplicada la metodología propuesta para el desarrollo del proyecto, se obtuvieron resultados que reflejaron el cumplimiento de los objetivos del proyecto, los cuales son indicados en la siguiente tabla.

**Tabla 14***Resultados obtenidos*

<b>Resultado</b>	<b>Indicador</b>	<b>Objetivo relacionado</b>
Este diseño responde a la mitigación de las infiltraciones y la generación de vertimientos que están contaminando las fuentes hídricas del centro poblado.	- Diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas adecuado para el centro poblado buenos Aires, Piedecuesta. En efecto se eliminará el manejo de estas aguas por medio de pozos sépticos.	Objetivo específico 1
Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas acorde a las características de la zona en estudio.	- Análisis de estudios técnicos previos, plan básico de ordenamiento territorial y área de proyección, con el propósito de cumplir con la normativa existente. -Desarrollo de cálculos tipo que permiten determinar la metodología correcta para el tratamiento preliminar (Cribado, desarenador y trampa de grasas) y primario (Reactor UASB-Lodos activados) de la PTAR. -La población se proyectó a 25 años de acuerdo con la Res 0330 de 2017, asimismo, mediante el método aritmético esta será de 2484 habitantes. -El caudal máximo de diseño para el sistema es de 12,7 L/s (0, 00127 m <sup>3</sup> /s). -El porcentaje de eficiencia de remoción del reactor UASB es óptimo, de acuerdo con los requerimientos de la Res. 0330 de 2017, dado que elimina el 79% de materia orgánica que ingresa en el sistema y viaja a través de él, en un tiempo de retención hidráulica real de 8,21 horas.	Objetivo específico 2
Socialización y aceptación del proyecto por las partes interesadas.	-Reunión en el salón comunal del centro poblado Buenos Aires, en el cual se expuso el proyecto final con cálculos y planos, donde asistieron 30 personas, además de representantes de la secretaria de planeación y medio ambiente, que resolvieron sus inquietudes acerca del diseño planteado para mitigar la problemática existente.	Objetivo específico 3

*Nota.* La tabla presenta un resumen de los resultados obtenidos, de acuerdo con los objetivos planteados en el proyecto.

## 8. Conclusiones

La vulnerabilidad de las comunidades veredales en Colombia respecto a los servicios públicos es compleja, dado que son áreas dispersas y a menudo remotas, que se ven obligadas a enfrentar desafíos diarios en términos de acceso a servicios básicos, en este caso por el inexistente sistema de saneamiento, el cual aumenta el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua, que involucran a niños, jóvenes y adultos. Razón por la cual se debe incentivar a las autoridades gubernamentales y la sociedad en conjunto, a implementar programas y políticas que promuevan el acceso equitativo a servicios básicos en este tipo de áreas olvidadas.

Se observó la importancia del tratamiento de las aguas residuales, para la mitigación de impactos ambientales adversos. Dicho esto, en el estudio de diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, es necesario aplicar una metodología que permita identificar cada problema específico, caracterizarlo, definir los criterios y establecer el proceso de tratamiento óptimo para lograr los requerimientos de la zona en investigación.

La eficiencia generada del reactor UASB en la remoción de la materia orgánica es de 79%, es decir, la calidad del agua y el grado de contaminación orgánica se disminuyó en un alto porcentaje antes de ser entregado a la fuente hídrica, cumpliendo con los estándares ambientales y regulaciones relacionadas con la descarga de aguas residuales tratadas, establecidas por el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico, específicamente la resolución 0330 de 2017.

## 9. Recomendaciones

Implementar un sistema de limpieza de pozos sépticos mientras se desarrolla el proyecto en su totalidad, con el fin de disminuir el impacto negativo ocasionado en la zona por la filtración de aguas contaminadas, garantizando una gestión óptima de acuerdo con las condiciones actuales, donde se contribuya a la preservación del medio ambiente y la salud pública.

Continuar con fases posteriores del proyecto que incluyan diseños estructurales, ejecución, mantenimiento u otros aspectos. Una estrategia efectiva implicaría la búsqueda de recursos mediante entidades públicas o privadas que puedan contribuir al desarrollo integral del proyecto. Es por ello, que se recomienda delegar la gestión a una persona que se encargue de coordinar y dirigir las actividades relacionadas con el avance del proyecto.

Fomentar entre los estudiantes de ingeniería civil el apoyo a las comunidades de bajos recursos, mediante practicas sociales que beneficien el desarrollo de estas zonas vulnerables, puesto que, al involucrarse en este tipo de proyectos que presentan impactos positivos, los estudiantes no solo contribuyen en la mejora de calidad de vida de las personas, sino que también tienen la oportunidad de aplicar los conocimientos aprendidos y a su vez adquirir habilidades que permiten su crecimiento personal y profesional.

### Referencias Bibliográficas

- Agencia para la Reincorporación y la Normalización (ARN). (01 de 11 de 2013). *Colombia potencia de la vida*. Obtenido de [https://www.reincorporacion.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias/Paginas/2013/11/354\\_HABITANTES\\_DE\\_LA\\_VEREDA\\_B.aspx#:~:text=LA%20VEREDA%20BUENOS%20AIRES%20CUENTA,A%2025%20Y%2050%20MINUTOS](https://www.reincorporacion.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias/Paginas/2013/11/354_HABITANTES_DE_LA_VEREDA_B.aspx#:~:text=LA%20VEREDA%20BUENOS%20AIRES%20CUENTA,A%2025%20Y%2050%20MINUTOS).
- Conde Anzola, A. F., Vega Godoy, D. S., & Pinilla Herrera, E. A. (2021). ELABORACION DE UNA GUIA PARA EL DISEÑO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. *CORPORACION UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS*.
- Contreras Lino, M. (2022). Análisis del funcionamiento de la PTAR de Izúcar de Matamoros y propuesta preliminar del proceso Fenton como tratamiento terciario para disminuir la contaminación ambiental de sulfametoxazol . *BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA*.
- Lledó, L. C. (2002). Contaminación de las aguas subterráneas: tipo doméstico e industrial. *Dep. de Ingeniería del Terreno y Geociencias-UPC*.
- Lorenzo, Y., & Obaya, C. (2006). La digestión anaerobia y los reactores UASB. *Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar*.
- Naciones Unidas. (19 de marzo de 2023). *Naciones Unidas- Noticias ONU*. Obtenido de Naciones Unidas: <https://news.un.org/es/story/2023/03/1519412>
- Naranjo Agudelo, D. C. (2019). Pozos sépticos en el departamento del Quindío y solución alternativa con humedales subsuperficiales. *Universidad de los Andes*.

- Nieto Salas , M. (2016). MANEJO DEL SOFTWARE REVIT Y SU INCIDENCIA EN EL MODELADO DE INFORMACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES EN LA CIUDAD DE AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA. *UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO* .
- Pérez Camargo, S. (2018). Aplicación de vermifiltros para reducir el DQO y DBO del agua residual de un Laboratorio de Análisis Químico. *Universidad César Vallejo*.
- Rodriguez Miranda, J. P., García Ubaque, C. A., & Pardo Pinzón, J. (2015). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*.
- Rojas, R. (2002). Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente*.