

# **Diagnóstico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Vereda Rozo ubicada en el Municipio de Cota, Cundinamarca - Colombia**



Autora:

Paula Alejandra Guzmán Parra

Director:

Fabio Eduardo Díaz López

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniero Ambiental**

Línea de Investigación:  
Salud y Ambiente

Universidad El Bosque  
Facultad de Ingeniería  
Programa Ingeniería Ambiental  
Bogotá, Colombia

2024

## Índice

<b>1. Resumen</b>	<b>8</b>
<b>2. Introducción</b>	<b>9</b>
<b>3. Planteamiento del problema</b>	<b>10</b>
3.1 Pregunta de investigación	10
<b>4. Justificación</b>	<b>11</b>
<b>5. Objetivo general</b>	<b>12</b>
5.1 Objetivos específicos	12
<b>6. Marco de referencia</b>	<b>13</b>
6.1 Estado del arte	13
6.1.1 Nivel local	13
6.1.2 Nivel global	14
<b>7. Marco teórico - conceptual</b>	<b>15</b>
7.1 Tratamiento del agua	15
7.2 Tratamiento primario	16
7.3 Procesos de tratamiento secundario	17
7.3.1 Crecimiento bacteriano	18
7.4 Principales procesos del tratamiento biológico	23
7.5 Conceptos	26
<b>8. Marco institucional</b>	<b>27</b>
<b>9. Marco legal</b>	<b>28</b>
<b>10. Marco geográfico y descripción del territorio</b>	<b>29</b>
<b>11. Metodología</b>	<b>32</b>
11.1 Enfoque general	32
11.2 Alcance general	32
11.3 Unidad de análisis	33
11.4 Técnicas e instrumentos	33
11.5 Metodología objetivo específico 1	33
11.5.1 Obtención de datos	33
11.5.2 Visita técnica	34
11.6 Metodología objetivo específico 2	34
11.6.1 Obtención de datos	34
11.6.2 Visita técnica	34
11.7 Metodología objetivo específico 3	35
11.7.1 Revisión normatividad vigente colombiana	35
11.8 Diagrama de flujo metodológico general	35

11.9 Resumen técnicas e instrumentos	36
<b>12. Plan de trabajo</b>	<b>37</b>
<b>13. Resultados</b>	<b>40</b>
13.1 Descripción de procesos y operaciones	40
13.2 Resultados objetivo 1	46
13.2.1 Verificación del mantenimiento de la PTAR	46
13.2.2 Verificación de parámetros mínimos de diseño	47
13.2.2.1 Proyección poblacional	47
13.2.2.2 Verificación de diseño tanque de homogenización	53
13.2.2.3 Verificación del desarenador	56
13.2.2.4 Verificación del tratamiento biológico de lodos activados en la PTAR	57
13.2.2.5 Verificación de equipos de mezclado	62
13.3 Resultados objetivo 2	66
13.3.1 Diagnostico de parámetros físico químicos y microbiológicos	66
13.3.1.1 Monitoreo mayo 2023	67
13.3.1.2 Monitoreo Noviembre 2023	67
13.3.1.3 Monitoreo febrero 2024	69
13.3.1.4 Análisis comparativo entre los monitoreos de EMSERCOTA y muestras propias	69
13.4 Resultados objetivo 3	71
13.4.1 Comparación normativa trampa de grasas	72
13.4.2 Comparación normativa diseño del desarenador	72
13.4.3 Verificación de diseño del reactor de lodos activados	73
13.4.4 Verificación de la caracterización del afluente y efluente de la PTAR	74
<b>14. Recomendaciones para el tratamiento de aguas residuales en la PTAR Vereda Rozo</b>	<b>77</b>
<b>15. Conclusiones</b>	<b>79</b>
<b>16. Recomendaciones</b>	<b>80</b>
<b>17. Referencias Bibliográficas</b>	<b>80</b>
<b>18. Anexos</b>	<b>82</b>

## Listado de tablas

Tabla 1. Procesos aplicados al tratamiento primario de aguas residuales

Tabla 2. Coeficientes de temperatura-actividad para diversos procesos biológicos de tratamiento

Tabla 3. Principales procesos del tratamiento biológico

Tabla 4. Parámetros y valores máximos permisibles en los vertimientos a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público

Tabla 5. Marco Legal de normatividad calidad de agua y vertimientos

Tabla 6. Resumen técnicas e instrumentos y análisis de información por objetivo

Tabla 7. Descripción de procesos por unidad PTAR Vereda rozo

Tabla 8. Censos habitantes total en el municipio de Cota, Cundinamarca

Tabla 9. Resultados tasa de crecimiento de la población para cada par de censos

Tabla 10. Resultados proyección poblacional para un periodo de 25 años (2025-2050)

Tabla 11. Muestra de cálculos de la proyección poblacional hasta 2050 para el 30% de los habitantes del municipio de Cota Cundinamarca

Tabla 12. Medidas del tanque de homogenización

Tabla 13. Volúmenes para el tanque de homogeneización según criterio

Tabla 14. Valores promedio de temperatura agua residual afluyente

Tabla 15. Valores coeficientes cinéticos para corrección por temperatura

Tabla 16. Datos de volumen del reactor real

Tabla 17. Comparación entre volumen de reactores

Tabla 18. Comparación del diseño de la trampa de grasas

Tabla 19. Comparación de la geometría recomendada para desarenador de flujo horizontal en el RAS 2000 con la información de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

Tabla 20. Comparación de valores actuales de la PTAR con la reglamentación vigente colombiana.

Tabla 21. Comparación de los resultados de contaminantes con los límites máximos permisibles por la norma

Tabla 22. Comparación de los resultados de contaminantes con los límites máximos permisibles por la norma

Tabla 23. Comparación de los resultados de contaminantes con los límites máximos permisibles por la norma

## **Listado de figuras**

- Figura 1. Curva de crecimiento microbiano en relación al tiempo
- Figura 2. Ubicación PTAR Vereda Rozo y Ubicación PTAR Pueblo Viejo
- Figura 3. Mapa de localización PTAR Vereda Rozo
- Figura 4. Diagrama de flujo actividades generales por objetivo
- Figura 5. Plan de trabajo por fases
- Figura 6. Diagrama de procesos y operaciones PTAR Vereda Rozo
- Figura 7. Histograma tanque de homogenización monitoreo mayo 2023
- Figura 8. Histograma tanque de homogenización monitoreo noviembre 2023
- Figura 9. Representación esquemática de un reactor de mezcla completa sin recirculación
- Figura 10. Eficiencias de remoción de contaminantes mayo 2023.
- Figura 11. Eficiencias de remoción de contaminantes noviembre 2023.
- Figura 12. Eficiencias de remoción de contaminantes febrero 2024.
- Figura 13. Comparación eficiencia de remoción DBO en los 3 monitoreos realizados
- Figura 14. Comparación eficiencia de remoción DQO en los 3 monitoreos realizados
- Figura 15. Comparación eficiencia de remoción Grasas y aceites en los 3 monitoreos realizados

- **1. Resumen**

El proyecto lleva a cabo un diagnóstico integral de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Vereda Rozo, ubicada en Cota, Cundinamarca, con el objetivo de identificar deficiencias y desafíos operativos. El diagnóstico incluye la verificación de los criterios mínimos de diseño basados en la literatura, evaluando operaciones unitarias como el tanque de igualación, la trampa de grasas, los desarenadores, el reactor de lodos activados y los equipos de mezclado. Asimismo, se revisan los monitoreos de la calidad del agua afluente y efluente basados en información obtenida de tres informes. Estos análisis permiten evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes y, en consecuencia, la eficacia del tratamiento de aguas residuales.

Los resultados se comparan con los parámetros y límites máximos permisibles de la normatividad vigente colombiana aplicable para aguas residuales, esta comparación verifica el cumplimiento específico de cada aspecto de la planta para finalmente dar recomendaciones teóricas que optimicen el tratamiento de la planta de lodos activados, con el fin de mejorar su rendimiento y asegurar su conformidad con las regulaciones ambientales.

*Palabras clave: Agua residual, Calidad del agua, Tratamiento.*

### **Abstract**

The project carries out a comprehensive diagnosis of the Vereda Rozo Wastewater Treatment Plant (WWTP), located in Cota, Cundinamarca, with the objective of identifying deficiencies and operational challenges. The diagnosis includes verification of the minimum design criteria based on the literature, evaluating unit operations such as the equalization tank, the grease trap, the sand traps, the activated sludge reactor and the mixing equipment. Likewise, the monitoring of the quality of the influent and effluent water is reviewed based on information obtained from three monitoring. These analyzes allow the evaluation of contaminant removal efficiencies and, consequently, the effectiveness of wastewater treatment.

The results are compared with the parameters and maximum permissible limits of the current Colombian regulations applicable to wastewater, this comparison verifies the specific compliance of each aspect of the plant to finally give theoretical recommendations to optimize the treatment of the activated sludge plant, with in order to improve its performance and ensure its compliance with environmental regulations.

*Keywords: Wastewater, Treatment, Water quality*

## ● 2. Introducción

Con el tiempo se ha evidenciado un aumento en la contaminación de los afluentes del Río Bogotá lo que ha generado una gran problemática ambiental relacionada a la gestión del recurso hídrico que conlleva a impactar negativamente la salud pública, los ecosistemas y en general la calidad de vida de los habitantes de la región. En este contexto la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) como entidad encargada del control ambiental de la cuenca del río de Bogotá determinó mediante el CONPES 3320 del 6 de diciembre de 2004 una “Estrategia para el manejo ambiental del Río Bogotá” la construcción de 28 PTAR en la cuenca de este ecosistema acuífero, de manera que el objetivo de estas construcciones sea el cumplimiento de la normatividad de vertimiento, la protección del ambiente, protección de la salud de los habitantes, prevenir la transmisión de enfermedades, el rehusó principalmente en riego de las aguas residuales tratadas y establecer estándares de calidad de agua a lo largo de la cuenca. Relacionado a lo anterior se encuentra el artículo 72 del Decreto 1594 de 1984 donde se establecen normas de vertimiento a todos los usuarios que lleven afluentes directamente a los cuerpos de agua donde se estipula que debe haber al menos un 80% de remoción de la carga contaminante de DBO y SST (Méndez et al, 2011; EMSERCOTA, 2014. pp 6)

De manera que en búsqueda de oportunidades de mejora para el municipio de Cota en el 2006 se inició la construcción de la PTAR Vereda Roza que beneficiaría a una parte de la población del casco urbano del municipio por lo que el proyecto busco la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales que recibe el caudal por medio de una estación de bombeo elevadora y la capacidad de diseño es de 12 l/s, de modo que el proyecto consiste en captar los residuos generados en el municipio que por gravedad ingresan al proceso desde el casco urbano hasta el primer sistema de pretratamiento, del mismo modo el tratamiento implementado sería una Planta de Tratamiento de Lodos Activados basada en la remoción del sustrato mediante la acción bacteriana que a su vez favorece el crecimiento de biomasa activa o microorganismos que consigue la transformación desde un estado soluble a un estado particulado (EMSERCOTA, 2014)

Por lo cual esta investigación se plantea a partir de la necesidad de un análisis del estado de la PTAR, siendo este una herramienta importante para la toma de decisiones por parte de la Corporación o más puntualmente de EMSERCOTA empresa encargada del funcionamiento de la PTAR relacionándose a la ejecución de proyectos o toma de decisiones respecto a esta construcción. Teniendo en cuenta lo anterior el documento se llevó a cabo en una primera parte como una verificación de diseño de las operaciones unitarias tales como el tanque de homogeneización, el reactor de lodos activados y equipos de mezclado o aireación ; posteriormente, se realizó un análisis de las eficiencias de remoción de contaminantes a partir de los últimos monitoreos realizados por la empresa de manera que se determina si para la fecha de las pruebas realizadas el tratamiento del agua residual cumple o no cumple con los límites permisibles para el vertimiento del agua al cuerpo hídrico del Río de Bogotá; y una última parte que consta de recomendaciones de diseño que se exponen de manera teórica y podrían ser implementadas en la PTAR Vereda Roza con el fin de optimizar el funcionamiento y operación de la infraestructura.

- **3. Planteamiento del problema**

El río Bogotá, en su curso medio al atravesar el municipio de Cota, Cundinamarca, enfrenta serios problemas debido a los vertimientos industriales y residenciales que se registran en esta zona. La calidad del agua se ve comprometida y empeora significativamente al pasar por este municipio. Según el Instituto de Higiene Ambiental S.A.S. (IHA) en 2016, la mayoría de los puntos de monitoreo en Cota, como la PTAR Pueblo Viejo, PTAR Rozo y los afluentes de Q. Los Manzanos, Q. La Culebrera y el Río Chicú, reportaron una calidad de agua deficiente en los vertidos evaluados, incluyendo vertidos domésticos e industriales que podrían ser una fuente importante de contaminación (Peña y Granados, 2019. p 142).

En cuanto al cumplimiento de los parámetros de calidad del agua, se observó que solo un bajo porcentaje cumplió con las normas de vertimiento. Este problema se agrava debido al incremento del caudal de entrada de la PTAR con el tiempo, presentando en la actualidad un caudal afluente mayor al inicialmente definido durante la construcción de la PTAR Vereda Rozo. Esto compromete las eficiencias de remoción de contaminantes, lo que indica una problemática en la gestión del recurso hídrico y afectando la salud pública y generando mayores niveles de contaminación en el río Bogotá.

Ante esta situación, es necesario realizar un diagnóstico del funcionamiento de la PTAR para identificar las necesidades de mejora en el proceso de tratamiento de aguas residuales y evitar devolver las aguas al río prácticamente sin tratar y contribuyendo así a un daño ambiental mayor. Esto permitirá establecer recomendaciones teóricas que contribuyan al progreso del municipio y puedan ser implementadas a mediano plazo por parte de la empresa EMSERCOTA, con el objetivo de garantizar el buen funcionamiento de la planta y mitigar los impactos ambientales en la cuenca media del río Bogotá (Peña y Granados, 2019. p 142).

- **3.1 Pregunta de investigación**

¿Cuáles son los principales retos que se encuentran dentro de la operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en la Vereda Rozo, Cota, Cundinamarca que puedan estar afectando negativamente la correcta remoción de contaminantes, el cumplimiento normativo y ocasionando riesgos ambientales?

#### ● 4. Justificación

La preocupación por la salud pública y el ambiente ha ido adquiriendo una relevancia creciente en relación con la gestión del recurso hídrico, tanto en lo que respecta a la infraestructura de alcantarillado como a las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) como en lo relacionado a la salud pública y bienestar del ecosistema. El agua residual representa una fuente de contaminación significativa, ya que su acumulación o estancamiento en los cuerpos hídricos puede descomponer la materia orgánica, generando condiciones ambientales tóxicas y desfavorables. En este sentido, la evacuación, tratamiento y eliminación inmediata son de vital importancia.

La ingeniería ambiental, como disciplina, se encarga de aplicar los principios fundamentales de la ciencia e ingeniería para abordar los desafíos relacionados con el control de las aguas contaminadas esto implica la gestión integral del agua residual (Metcalf & Eddy. 1996. Pp. 1). Por lo que, la eficacia del tratamiento de aguas residuales es crucial, ya que depende del diseño, la selección adecuada de cada proceso y una implementación óptima. En el caso de la PTAR Rozo, es esencial realizar un diagnóstico preciso e incorporar las recomendaciones sugeridas en los diferentes procesos de tratamiento de modo que se garantice el cumplimiento de los límites establecidos en el Reglamento Ambiental Sectorial (RAS) y demás reglamentaciones compiladas en esta y vigentes. Además, una mejora en los aspectos económicos, como la reducción de los costos operativos y los daños en la maquinaria, puede lograrse al anticipar posibles problemas con el tiempo.

En última instancia, estas mejoras contribuirán a mitigar los impactos ambientales y sanitarios asociados con los vertidos de aguas residuales en el Río Bogotá, reflejando así un avance significativo en la protección de la salud ambiental y el bienestar social en la región. Estas acciones están estrechamente alineadas con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6, que enfatiza la importancia del acceso universal al agua potable, el saneamiento adecuado y la higiene, priorizando así la salud y el bienestar de la población. Además, se vinculan con el ODS 15, que busca preservar y restaurar los ecosistemas terrestres para garantizar la continuidad de la vida en ellos. Estos objetivos subrayan la relevancia crítica de un tratamiento adecuado de las aguas residuales, contribuyendo así a una gestión más integral y sostenible de los recursos hídricos y ambientales.

- **5. Objetivo general**

Elaborar un diagnóstico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Vereda Roza ubicada en el municipio de Cota, Cundinamarca.

- **5.1 Objetivos específicos**

- Examinar los criterios de diseño y las condiciones de operación actual de la PTAR.
- Analizar los parámetros de calidad del agua tratada utilizando los datos obtenidos de los monitoreos realizados.
- Interpretar el cumplimiento de las normativas y regulaciones ambientales colombianas en relación con la capacidad de remoción y las operaciones unitarias.

- **6. Marco de referencia**

- **6.1 Estado del arte**

Este apartado del estado del arte se ha construido a partir de una revisión de publicaciones académicas, tanto locales como internacionales. Se ha llevado a cabo un análisis detallado de los objetivos, metodologías y conclusiones de diversas investigaciones centradas en plantas de tratamiento de aguas residuales. A continuación, se presentan algunos de los estudios más relevantes en este campo de manera general.

- **6.1.1 Nivel local**

- 6.1.1.1 Propuesta para la optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales de Tibú, Norte de Santander.

Este proyecto es una estrategia de mejoramiento para la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Tibú, Norte de Santander, que opera actualmente con un sistema biológico distinto al de lodos activados, lagunas facultativas. Al encontrarse al final de su vida útil, se enfocó en diseñar alternativas de mejora, evaluando aspectos económicos, técnicos y ambientales para cada propuesta.

Una parte crucial del estudio destacó la importancia de explorar una variedad de métodos de tratamiento, más allá de los sistemas de lodos activados, para ampliar el campo de gestión de aguas residuales. Se sugirió la implementación de un tratamiento preliminar que incluye cribado y una canaleta Parshall, además de mejorar el sistema de lagunas existentes mediante la construcción de mamparas en cada módulo para reducir los cortocircuitos causados por zonas muertas, optimizando así la eficiencia del tratamiento primario (Arias, 2020).

- 6.1.1.2 **Plan de mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del corregimiento de Chambimbal - San Antonio municipio de Guadalupe de Buga**

La planta en estudio presentó una problemática de carácter social, referente a la afectación que se está generando a raíz de fuertes olores relacionado a la deficiente calidad del agua tratada pues la carga contaminante es demasiado alta además que la planta se encuentra sobre su límite de capacidad debido al gran crecimiento poblacional que tuvo el municipio por lo que las aguas son vertidas río abajo generando afectaciones en la calidad de vida de comunidades aledañas (Rodríguez, 2020).

Como resultado del estudio se rediseño la planta donde teniendo en cuenta los valores resultantes de la proyección poblacional se obtuvieron nuevas medidas para:

- Las rejillas del tratamiento preliminar
- Tanque séptico (captación de volumen, separación de sólidos)
- Filtro anaeróbico de flujo ascendente (FAFA)

El rediseño de la planta puede incluir programas de mejora en el rendimiento y la eficiencia, cumplimiento normativo, optimización de recursos, mayor capacidad de la infraestructura de manera que permita disminuir los olores ofensivos mejorando la calidad de vida de los habitantes de Guadalajara de Buga (Rodríguez, 2020).

## 6.1.2 Nivel global

### **6.1.2.1 Evaluación de funcionamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales de un municipio del sureste de México**

En el estudio se realizó un Pre-Diagnóstico Técnico Integral para evaluar los lineamientos y estrategias de acuerdo a las necesidades actuales de operación y mantenimiento del sistema de agua y saneamiento de un municipio del sureste del país, mostrando en este trabajo la evaluación de las cinco plantas de tratamiento de aguas residuales más grandes de este municipio con el fin de determinar si se encuentran diseñadas adecuadamente (Ronces, 2018).

La metodología usada de evaluación se basó en la recolección de información de funcionamiento de 5 Plantas de tratamiento de Aguas Residuales en México mediante fichas de datos generales de las PTAR s, se usaron métodos de investigación tales como recorridos en la planta, operación y una evaluación de las unidades de proceso, infraestructura civil e infraestructura eléctrica - equipos electromecánicos de manera que se plantea una evaluación de las unidades de proceso dentro de las que se encuentra el análisis de (Infraestructura de llegada, pretratamiento, sedimentación primaria, filtros percoladores, lodos activados, sedimentación secundaria, cloración y la línea de lodos en general) (Ronces, 2018).

De lo que se obtuvo principalmente que solo ocupan el 70% de su capacidad y no todas cumplen con la eficiencia requerida de acuerdo al tipo de tratamiento del 90% (resultado mínimo para la remoción de contaminantes) además que indica en general que las unidades de procesos como Tratamiento preliminar, lodos activados y sedimentadores se encuentran bien diseñados y si presentan fallas es por parte de la operación o falta de mantenimiento (Ronces, 2018).

Los tres artículos presentan enfoques y soluciones para mejorar plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) que enfrentan desafíos similares a los de la PTAR en Cota, Cundinamarca. El estudio sobre la PTAR de Tibú, Norte de Santander, ofrece estrategias de mejoramiento considerando aspectos económicos, técnicos y ambientales. La evaluación de PTAR en el sureste de México proporciona un análisis detallado del funcionamiento de las plantas, identificando áreas de mejora operativa y de mantenimiento. Por su parte, el plan de mejora de la PTAR en Guadalajara de Buga aborda problemas de calidad del agua y capacidad de la planta, proponiendo medidas específicas de rediseño e implementación de programas de mejora. Los 3 artículos de investigación concluyen en buenas prácticas para la gestión de capacidad, calidad del agua tratada y eficiencia operativa.

## ● 7. Marco teórico - conceptual

La elaboración de esta sección se llevó a cabo mediante el análisis de teorías sobre el tratamiento de agua y su evolución a lo largo de la historia, así como los conceptos relacionados con el proceso de remoción de contaminantes en aguas residuales mediante el tratamiento primario y secundario, destacando su importancia y las distintas tipologías de cada uno incluyendo el marco conceptual a medida que se da el desarrollo de las grandes teorías.

### ○ 7.1 Tratamiento del agua

El tratamiento biológico de aguas residuales (AR) inicio de manera empírica en el siglo XIX luego de evidenciar que la acción de los microorganismos descomponedores de la materia orgánica lograban una reducción de la contaminación en un corto tiempo si se efectuaba en condiciones controladas este proceso se lleva a cabo en sistemas conocidos como reactores en los que accionan los microorganismos, para este caso se encuentran diferentes tipos tales como tanques de aireación de lodos activados, filtro percolador, lagunas aireadas y demás (Orozco, 2014. p 7).

Dentro de la historia del tratamiento de aguas residuales se destaca el tanque Imhoff que se basaba en la digestión anaerobia propuestos por Clark en 1899 y modificado por K Imhoff años después ya que separó las cámaras de sedimentación, hidrólisis y descomposición de los lodos recogidos que hasta el día de hoy se utiliza como un sistema de tratamiento primario ya que se destacó por tener reducciones de  $DBO_5$  en un 15-25% y Sólidos Suspendidos ( $SS$ ) hasta en un 60% (Orozco, 2014. pp 8) aunque después de la aparición de los lodos activados estos procesos se detuvieron y hasta los años 80 el único uso del tratamiento anaerobio fue la digestión, estabilización y reducción de lodos producidos en sistemas convencionales aerobios.

Este proceso de lodos activados se llevó a cabo primeramente en Reino Unido mediante un reactor de llenado y vaciado y sería denominado el ensayo de la  $DBO$  donde se evidencio que una gran concentración de microorganismos descomponedores metabolizando daban paso al crecimiento de las bacterias durante la oxidación de la materia orgánica en aguas residuales en un corto tiempo, por lo que se estableció un requerimiento de cinco días para la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO$ ), esté argumentos da puesto que era el tiempo en Inglaterra, Reino Unido (donde se llevó a cabo este descubrimiento) que tomaban los ríos y lagos antes de llegar al mar según el octavo reporte de la "Royal Commission on Sewage Disposal", a partir de lo cual se empezó a entender la naturaleza de la remoción de oxígeno a causa de bacterias aerobias aunque para obtener una degradación completa de la materia orgánica se establece un requerimiento mínimo de 20 a 30 días (Orozco, 2014. pp 10; López et al, 2017. pp 3).

El tratamiento biológico de aguas residuales tiene sus raíces en descubrimientos empíricos del siglo XIX, donde se controla que la actividad de microorganismos descomponedores podría reducir la contaminación en un corto período bajo condiciones controladas. Esta metodología se lleva a cabo en

reactores biológicos, como tanques de aireación de lodos activados o filtros percoladores, donde los microorganismos desempeñan un papel crucial (Orozco A, 2014. p 7).

Desde entonces se desarrolló con frecuencia el tratamiento aerobio mediante sistemas de lodos activados, aireación extendida, zanjones de oxidación, lagunas de estabilización, filtros percoladores, biodiscos rotatorios y demás tecnologías que han alcanzado altas eficiencias en la eliminación de materia orgánica y amortiguaron el crecimiento de las ciudades que conlleva a un aumento de contaminación en los afluentes de los ríos (Orozco A, 2014. pp 10; López et al, 2017. pp 3).

Dentro de los principales procesos y operaciones unitarias en el tratamiento del agua residual se emplean operaciones físicas donde se utilizan procesos como la separación de sólidos de gran tamaño, sólidos suspendidos y flotantes, grasas y compuestos orgánicos volátiles y paralelamente se encuentran los procesos químicos que se emplean para la precipitación de sólidos suspendidos y coloidales, desinfección del agua residual y control de olores; por otro lado, se encuentran los procesos unitarios que se mencionan a continuación:

- **7.2 Tratamiento primario**

**Tabla 1.**

*Procesos aplicados al tratamiento primario de aguas residuales*

<b>Operación o proceso</b>	<b>Función</b>
Desbaste grueso	Eliminación de sólidos gruesos por intercepción, se considera una operación de pretratamiento
Desarenado	Eliminación de arenas y gravas, generalmente a continuación del desbaste. Se considera una operación de pretratamiento
Homogeneización del caudal	Homogeneización del caudal y cargas de DBO y sólidos en suspensión aplicadas a las instalaciones subsiguientes de tratamiento
<b>Otras operaciones de pre tratamiento</b>	
Preaireación	Suministro de oxígeno disuelto. Mejora de la distribución hidráulica
Floculación	Mejora de las características de sedimentación de los sólidos en suspensión
Sedimentación	Eliminación de sólidos sedimentables y materia flotante. Principal operación del tratamiento primario del agua residual
<b>Otras operaciones y unidades de eliminación de sólidos</b>	

Flotación	Utilizada en lugar de la sedimentación por gravedad o como unidad de tratamiento previo a la decantación primaria para mejorar la eliminación de sólidos suspendidos o flotantes
Desbaste fino	Utilizado en lugar de la sedimentación por gravedad; también se puede emplear para la eliminación de arenas en las operaciones de pretratamiento
Precipitación química	Eliminación de sólidos sedimentables o coloidales y de fósforo. Utilizado como primera etapa en el tratamiento físico químico independiente del agua residual
<b>Desinfección como compuestos de cloro</b>	
Cloración	Utilizada principalmente para la desinfección del agua residual; también se usa para el control de olores
Decloración	Decoloración de efluentes tratados clorados
Otros medios de desinfección	Desinfección con bromuro de cloro, ozono, o por radiación ultravioleta
Post Aireación	Adición de oxígeno disuelto al efluente tratado

*Nota. Los tratamientos encontrados en la Tabla 1. hacen parte del pretratamiento o tratamiento primario Adaptado de Metcalf & Eddy, 1996. p 508.*

### ○ 7.3 Procesos de tratamiento secundario

En una segunda fase del tratamiento biológico de aguas residuales, se emplean diversas operaciones con el fin de convertir la materia orgánica disuelta en flóculos biológicos sedimentables y sólidos orgánicos que puedan ser eliminados en los lodos de sedimentación (Metcalf & Eddy, 1996. p 604). Este proceso tiene como objetivo la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables en el agua, con distintos enfoques dependiendo del uso final del agua tratada. En el caso de aguas destinadas a uso agrícola, se busca principalmente la eliminación de nitrógeno y fósforo, mientras que, para aguas industriales, el objetivo es reducir tanto compuestos orgánicos como inorgánicos (Metcalf & Eddy, 1996. p 410).

#### ■ 7.3.1 Crecimiento bacteriano

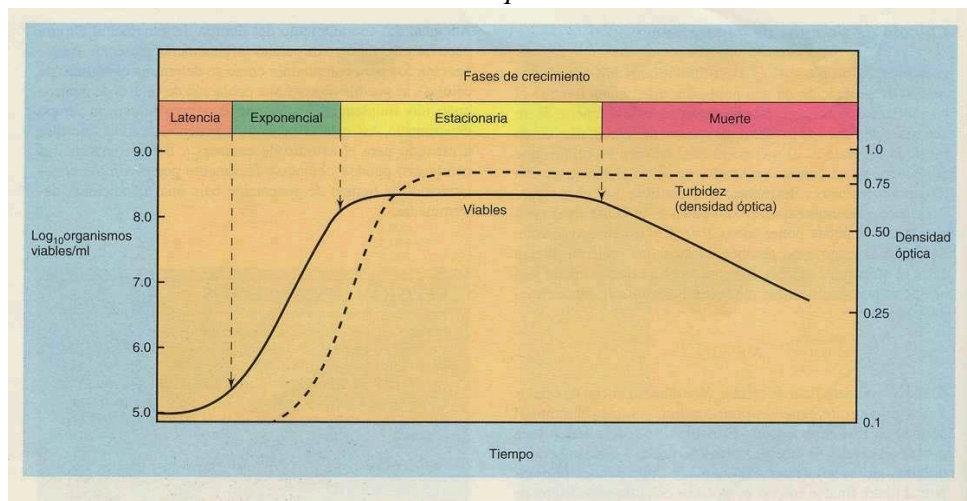
Los microorganismos desempeñan un papel fundamental en la eliminación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), la coagulación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica. Por lo tanto, cualquier proceso de tratamiento biológico debe tener en cuenta ciertos criterios, como la disponibilidad de una fuente de energía y carbono para la

síntesis de nueva materia celular, así como elementos orgánicos como nitrógeno, fósforo, azufre, potasio, calcio y magnesio. (Metcalf & Eddy, 1996). El control efectivo del entorno en el que se desarrolla el tratamiento es crucial para elaborar una curva de crecimiento bacteriano, como se observa en la *figura 1*.

Las bacterias pueden reproducirse por fisión binaria, sexualmente o por gemación, generalmente se da por fisión binaria lo que quiere decir que se reproducen por división donde la célula original se transforma en dos nuevos organismos, el tiempo necesario para cada fisión, recibe el nombre de tiempo de generación y puede variar entre días y menos de 20 minutos.

**Figura 1.**

*Curva de crecimiento microbiano en relación al tiempo*



*Nota. La figura representa el crecimiento microbiano en función del tiempo. Tomado de Metcalf & Eddy, 1996.*

Según Metcalf & Eddy, 1996 el modelo de crecimiento celular consta de 4 fases que serán descritas a continuación.

1. *Fase de retardo:* Luego de la adición del inóculo a un medio de cultivo, esta fase representa el tiempo necesario para que los organismos se aclimaten a las nuevas condiciones ambientales y empiezan la fase de crecimiento.
2. *Fase de crecimiento celular:* Durante esta fase, la célula se divide a una velocidad determinada luego de que los microorganismos se encuentran adaptados al cultivo, empiezan a consumir la materia orgánica por lo que hay un crecimiento constante debido a la cantidad de sustrato.
3. *Fase estacionaria:* La población permanece constante, esto debido a que las células han agotado el sustrato o los nutrientes además que la generación de las células nuevas se compensa con la muerte de las células viejas.
4. *Fase de muerte celular:* Para este punto del proceso la tasa de mortalidad excede la de generación de células nuevas, es decir que corresponde a la fase inversa del crecimiento celular.

## Cinética del crecimiento bacteriano

La cinética del crecimiento bacteriano en el tratamiento de aguas residuales biológicas destaca la necesidad de mantener un entorno controlado mediante factores como, la temperatura, el pH, el suministro de nutrientes, la presencia o ausencia de oxígeno y una adecuada agitación del medio, estos sean regulados de manera precisa. Estas condiciones son fundamentales para promover una actividad bacteriana óptima y garantizar una eliminación eficiente de los contaminantes presentes en las aguas residuales, tanto orgánicos como inorgánicos (Metcalf & Eddy, 1996. p 419).

De este modo garantizar el crecimiento de los microorganismos en el medio es fundamental también mediante un tiempo adecuado de permanencia en el sistema de manera que consuman todo el sustrato disponible y se produzca un crecimiento bacteriano efectivo (Metcalf & Eddy, 1996. p 421).

## Crecimiento celular

Este se define como el aumento de todos los componentes químicos en un sistema biológico, y la tasa de crecimiento de dichas células bacterianas se pueden expresar mediante la siguiente expresión:

$$r_g = \mu X \text{ Ec 1.}$$

Tomado de: (Metcalf & Eddy, 1996, p 422)

Donde

$r_g$  = tasa de crecimiento bacteriano, masa/volumen unitario, tiempo

$\mu$  = tasa de crecimiento específico, tiempo<sup>-1</sup>

X = concentración de microorganismos, masa/Volumen unitario

## Crecimiento con limitación de sustrato

La restricción en la disponibilidad de sustrato es un factor limitante para el crecimiento microbiano. Se ha evidenciado que el impacto de tener cantidades limitadas de nutrientes puede describirse mediante la siguiente expresión desarrollada por Monod:

$$\mu = \mu_m \frac{S}{K_s + S} \text{ Ec 2.}$$

Tomado de: (Metcalf & Eddy, 1996)

Donde

$\mu$  = tasa de crecimiento específico, tiempo<sup>-1</sup>

$\mu_m$  = máxima tasa de crecimiento específico, tiempo<sup>-1</sup>

S = concentración del sustrato que limita el crecimiento, masa/unidad de volumen

$K_s$  = constante de velocidad mitad, concentración de sustrato a la mitad de la máxima tasa de crecimiento, masa/ unidad de volumen

De modo que si se sustituye la ecuación 1 en la ecuación 2. la expresión de la tasa de crecimiento que resulta es

$$r_g = \frac{\mu_m X S}{K_s + S} \text{ Ec 3.}$$

Ecuación 3. Tasa de crecimiento microbiano.  
Tomada de: (Metcalf & Eddy, 1996)

Donde

$r_g$  = tasa de crecimiento bacteriano

$\mu_m$  = máxima tasa de crecimiento específico, tiempo<sup>-1</sup>

X = concentración de microorganismos, masa/Volumen unitario

S = concentración del sustrato que limita el crecimiento, masa/unidad de volumen

$K_s$  = constante de velocidad mitad, concentración de sustrato a la mitad de la máxima tasa de crecimiento, masa/ unidad de volumen

### **Crecimiento celular y utilización del sustrato**

En los sistemas de cultivo de alimentación continua como en los de alimentación discontinua hay una parte del sustrato que se transforma en células nuevas mientras que otra parte se oxida y da paso a los productos finales orgánicos e inorgánicos, esa relación de utilización de sustrato y la tasa de crecimiento es representada mediante la siguiente ecuación encontrada en Metcalf & Eddy:

$$r_g = - Y r_{su} \text{ Ec 4.}$$

Ecuación 4. Tomada de (Metcalf & Eddy, 1996)

Donde

$r_g$  = tasa de crecimiento bacteriano, masa / unidad de volumen

Y= coeficiente de producción máxima medido durante cualquier periodo finito de la fase de crecimiento exponencial, definido como la relación entre la masa de células formadas y la masa de sustrato consumido, masa/masa

$r_{su}$  = tasa de utilización de sustrato, masa / volumen \* tiempo

Y de este modo, reemplazando la ecuación 3 en la ecuación 4. se obtiene que el grado de utilización del sustrato se define como:

$$r_{su} = - \frac{\mu_m X S}{Y(K_s + S)} \text{ Ec 5.}$$

Ecuación 5. Utilización del sustrato

Para la ecuación 5 el término  $\mu_m / Y$  se sustituye por el término  $k$

$$k = \frac{\mu_m}{Y} \text{ Ec 6.}$$

### Ecuación 6. Tasa máxima de utilización de sustrato

Si se sustituye la ecuación 6 en la ecuación 5 la expresión resultante es:

$$r_{su} = - \frac{k X S}{K_s + S} \text{ Ec 7.}$$

Ecuación 7. Cálculo tasa máxima de crecimiento del sustrato  
Tomada de Metcalf & Eddy, 1996. P 424.

### Efectos del metabolismo endógeno

En sistemas bacterianos usados para tratar aguas residuales, no todas las células están en fase de crecimiento exponencial. Se ajusta la tasa de crecimiento para considerar la energía requerida para el mantenimiento celular y otros factores como la muerte y la depredación. Estos se agrupan en uno solo, donde la disminución en la masa celular se supone proporcional a la concentración de organismos presentes, denominada descomposición endógena y se fórmula en la siguiente expresión

$$r_d (\text{descomposición endógena}) = - k_d X \text{ Ec (8)}$$

Donde

$k_d$  = coeficiente de descomposición endógena, tiempo<sup>-1</sup>

X = concentración de células, masa/unidad de volumen

Cuando la ecuación 6 se reemplaza en la ecuación 3 y 4 se obtiene qué para la tasa neta de crecimiento se puede representar en la siguiente ecuación

$$r'g = \frac{\mu_m X S}{K_s + S} - k_d X \text{ Ec 9.}$$

$$r'g = - Y r_{su} - k_d X \text{ Ec 10.}$$

Tomado de Metcalf & Eddy. 1996. pp 425

donde

$r'g$  = tasa neta de crecimiento bacteriano. masa/unidad de volumen.

La expresión entonces correspondiente a la tasa neta de crecimiento específico con ajustes es la ecuación 11.

$$\mu' = \mu_m \frac{S}{K_s + S} - k_d \text{ Ec 11.}$$

Donde

$\mu'$  = tasa neta de crecimiento específico, tiempo<sup>-1</sup>

### Efectos de la temperatura

La temperatura es vital en las reacciones biológicas del tratamiento, impactando en el metabolismo microbiano, la transferencia de gases y la sedimentación de sólidos. Su influencia en la velocidad de estas reacciones resalta la necesidad de control y comprensión para garantizar la efectividad del proceso. El efecto de la temperatura sobre la velocidad de la reacción se expresa en la siguiente ecuación.

$$r_T = r_{20} \theta^{(T-20)} \text{ Ec 12.}$$

Ecuación 10. Efecto de la temperatura sobre la velocidad de reacción

Tomada de: Metcalf & Eddy, 1996, pp 425.

Donde

$$r_T = \text{velocidad de reacción a } T^\circ\text{C}$$

$r_{20}$  = velocidad de reacción a 20°C

$\theta$  = coeficiente de actividad-temperatura

T= temperatura en °C

De modo que en la tabla 2. Se encuentran los valores típicos de temperatura según los diferentes procesos biológicos de tratamiento.

**Tabla 2.**

*Coefficientes de temperatura-actividad para diversos procesos biológicos de tratamiento*

Valor de $\theta$		
Proceso	Intervalo	Valor Típico
Lodos activados	1.00 - 1.08	1.04
Lagunas aireadas	1.04 - 1.10	1.08
Filtros percoladores	1.02 - 1.08	1.035

Adaptada de Metcalf & Eddy, 1996

#### ○ 7.4 Principales procesos del tratamiento biológico

El tratamiento biológico de aguas residuales implica la eliminación de contaminantes a través de procesos biológicos. Estos procesos aprovechan la actividad biológica para eliminar principalmente sustancias orgánicas biodegradables, coloidales o disueltas del agua residual, convirtiéndolas en gases que se liberan en la atmósfera y en biomasa que se puede extraer mediante sedimentación. Además, la actividad biológica también se emplea para eliminar nitrógeno y fósforo del agua residual (Romero Jairo, 2013, p 225)

Los sistemas biológicos de mayor aplicación son los mencionados a continuación:

**Tabla 3.**  
*Principales procesos del tratamiento biológico*

<b>Tipo</b>	<b>Proceso</b>
<b>Aerobio</b>	Lodos Activados <ul style="list-style-type: none"> <li>● Convencional</li> <li>● Mezcla Completa</li> <li>● Aireación escalonada</li> <li>● Estabilización y contacto</li> <li>● Oxígeno puro</li> <li>● Tasa alta</li> <li>● Aireación prolongada</li> <li>● Proceso Krauss</li> <li>● Zanjón de oxidación</li> </ul> Lagunas aireadas Digestión Aerobia Lagunas Aerobias Filtros percoladores <ul style="list-style-type: none"> <li>● Tasa baja</li> <li>● Tasa alta</li> </ul> Torres biológicas Unidades rotatorias de contacto biológico Reactores de lecho fijo
<b>Anóxicos</b>	Bardenpho Desnitrificación
<b>Anaerobios</b>	Digestión aerobia Anaerobio de contacto

	Lagunas anaerobias Manto de lodos - flujo ascensional o UASB Filtro anaerobio Lodo expandido
--	---

*Adaptado de Romero, J. 2000.*

### **Aplicación de los procesos de tratamiento biológico**

Las principales aplicaciones de estos procesos consisten en el control del medio ambiente de los organismos

1. Eliminación de Materia orgánica carbonosa del agua residual: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Carbono orgánico total (COT) y Demanda química de oxígeno (DQO)
2. Nitrificación
3. Desnitrificación
4. Eliminación de fósforos
5. Estabilización de lodos

Los principales métodos de tratamiento biológico en cultivo en suspensión para eliminar materia orgánica carbonosa incluyen el proceso de lodos activados, lagunas aireadas, reactor de flujo discontinuo secuencial y digestión anaerobia. De estos, el proceso de lodos activados es el más comúnmente utilizado en el tratamiento secundario de aguas residuales domésticas que es el analizado en este proyecto de investigación y descrito a continuación

### **Lodos activados**

La Asociación Internacional del Agua (IWA) fue responsable del desarrollo del primer modelo integral de lodos activados, que ha evolucionado con el tiempo. Inicialmente, el modelo incluía parámetros como la oxidación de carbono, nitrificación y desnitrificación, pero con el tiempo se han agregado características como la eliminación de DBO y la eliminación de fósforo (Metcalf & Eddy, 1996. p 486). El funcionamiento de este sistema se basa en las interacciones entre bacterias heterótrofas que pueden almacenar o no fósforo, y que también pueden utilizar nitrato como aceptor de electrones. Los modelos se centran en la cinética de crecimiento de estas bacterias, ya sean autótrofas o heterótrofas, en lugar de enfocarse en la utilización del sustrato.

#### ***Lodos activados de flujo pistón***

Este sistema favorece la formación de un lodo bien aireado y con buena capacidad de sedimentación. En el proceso de lodos activados, se emplean tanques de aireación largos y estrechos para lograr un régimen de mezcla similar al flujo pistón, donde las aguas residuales se

mezclan con la biomasa biológica en condiciones aeróbicas. Posteriormente, la biomasa se separa del líquido en un sedimentador secundario, donde una parte del lodo se desecha y el resto se recircula de nuevo al inicio del tanque de aireación (Crites y Tchobanoglous, 2000. p 120).

### ***Lodos activados completamente mezclados***

La mezcla completa en el tanque se logra cuando las partículas se dispersan rápidamente al entrar en el sistema. Para garantizar el funcionamiento efectivo de este sistema, se requiere que el tanque tenga dimensiones adecuadas, ya sea circular o cuadrado, y que esté equipado con sistemas de aireación, ya sean difusores o mecánicos, para mantener una demanda de oxígeno constante y una concentración uniforme de sólidos suspendidos en todo el volumen del licor mixto. Esto significa que tanto la carga orgánica como la demanda de oxígeno deben ser uniformes a lo largo de toda la longitud del tanque. (Crites and Tchobanoglous, 2000. p 120).

### ***Reactor SBR***

El reactor por lotes secuencial (SBR) es un sistema de tratamiento de aguas residuales que opera en ciclos de llenado y vaciado. Aunque es similar al sistema de lodos activados convencional, en el que los procesos se realizan simultáneamente en diferentes reactores, en los SBR todas las fases del tratamiento tienen lugar secuencialmente en un solo tanque (Metcalf & Eddy, 1996). Este sistema combina cinco etapas cíclicas en un único tanque: llenado, reacción, aireación, sedimentación y descarga. El SBR permite un control preciso de las condiciones del proceso (EPA, 1996). Entre las ventajas de este sistema se incluyen su capacidad para manejar altos caudales y su habilidad para retener el efluente hasta que cumpla con los límites establecidos para su disposición segura (EPA, 1996).

Los procesos unitarios que se tienen en cuenta para los sistemas SBR y lodos activados completamente mezclados son los mismos, se basan en sistemas de aireación / sedimentación sin embargo los procesos en plantas convencionales se realizan simultáneamente mientras que en la operación SBR se realizan secuencialmente como se mencionó anteriormente.

### **Lagunas y cuencas de estabilización**

Los sistemas de tratamiento con lagunas se pueden dar teniendo en cuenta la concentración oxígeno disuelto (nivel de aerobividad) o teniendo en cuenta la frecuencia y duración de la descarga del afluente. (Crites y Tchobanoglous, 2000. p 475).

#### ***Lagunas anaerobias***

Son diseñadas mayormente para tratar aguas residuales con alto contenido de materia orgánica, estas no cuentan con zonas aerobias y su profundidad puede estar entre los 5 a 10m (Crites y Tchobanoglous, 2000. p 478). Así como la profundidad de un estanque anaeróbico se selecciona para dar una relación superficie/volumen mínimo de modo que se pueda retener una máxima retención de calor durante el clima frío (Eckenfelder, W. p 322).

El funcionamiento del sistema se da a partir de dos grupos de bacterias formadoras de ácidos y formadoras de metano de manera que se garantice la conversión del carbono en metano y así el correcto tratamiento de las aguas residuales, algunos criterios de diseño se basan en la tasa de carga orgánica superficial, la tasa de carga orgánica volumétrica y el tiempo de retención hidráulico (Crites y Tchobanoglous, 2000, p 492).

### ***Lagunas aireadas o lagunas de alta tasa***

Las lagunas aerobias son bastante profundas de modo que permiten la penetración de la luz del sol a lo largo de toda la columna de agua por lo que presentan una alta actividad fotosintética que además presenta algas dentro de su tratamiento por lo que el oxígeno producido por estos organismos permite una degradación de las bacterias y demás compuestos orgánicos presentes en el agua residual (Crites y Tchobanoglous, 2000. p 477). Este sistema de tratamiento biológico es un depósito en el que el agua residual se trata como un flujo continuo donde puede o no haber recirculación de sólidos y dependiendo del tiempo de retención, el agua efluente deberá contener entre un 50-80% menos DBO que el afluente (Metcalf & Eddy, 1996. p 687). Se deben tener en cuenta criterios tales como la eliminación de DBO, las características del efluente, demanda de oxígeno, el efecto de la temperatura, demanda energética para el mezclado y la separación de sólidos (Metcalf & Eddy, 1996. p 687).

Asimismo, el efluente de una laguna aireada estará compuesto por sólidos suspendidos entrantes, los sólidos biológicos generados en la conversión de los residuos y pequeñas cantidades de algas, y se puede ver afectado por características como la temperatura debido a que la variabilidad genera una reducción de la actividad biológica y disminuye la eficiencia del tratamiento (Metcalf & Eddy, 1996. p 689).

### ***Lagunas facultativas o lagunas de estabilización***

Son diseñadas con base en la tasa de descarga de DBO estas pueden variar ya que algunas tienen altos tiempos de retención por lo cual el aporte de oxígeno para tratamiento de las aguas residuales se da por la fotosíntesis y de manera natural además de la acción de bacterias aerobias en la capa superior y con bacterias anaerobias o anóxicas en la capa inferior, su profundidad generalmente oscila entre 1,5 a 2,5 m (Crites y Tchobanoglous, 2000. Pp 476).

Este sistema se caracteriza por tener altos tiempos de retención y bajas cargas orgánicas y los sólidos sedimentables, estos se depositan en el fondo de la laguna por lo cual estas lagunas pueden funcionar como lagunas con descargas controladas, lagunas de retención total unidades de almacenamiento para un tratamiento posterior sobre el suelo (Crites y Tchobanoglous, 2000. pp 477).

#### **○ 7.5 Conceptos**

Algunos conceptos importantes para entender la remoción de contaminantes se desarrollarán a continuación

El tratamiento de aguas residuales se puede dar mediante medios aerobios o anaerobio, los procesos aerobios involucran la presencia de oxígeno durante el proceso, permitiendo la descomposición de materia orgánica. Mientras que, los anaeróbicos se llevan a cabo en ausencia de oxígeno, facilitando la descomposición biológica de los residuos (Metcalf & Eddy, 1996. p 430).

La eliminación biológica de nutrientes es un proceso en el que el nitrógeno presente en los nitratos se transforma en nitrógeno gaseoso en condiciones de falta de oxígeno. La eliminación de la demanda biológica de oxígeno (DBO) mediante la nitrificación convierte la materia carbonosa del agua residual en tejido celular y diversos procesos gaseosos mientras que la desnitrificación es un proceso en el que el nitrato se transforma en nitrógeno gaseoso, reduciendo así la concentración de compuestos nitrogenados en el agua efluente. La nitrificación, por su parte, es un proceso biológico que convierte el amoníaco en nitrito y luego en nitrato y finalmente el sustrato se refiere a la conversión de la materia orgánica o nutrientes que pueden ser un factor limitante en el tratamiento biológico de aguas residuales (Metcalf & Eddy, 1996. p 430).

- **8. Marco institucional**

La Alcaldía Municipal de Cota desempeña un papel crucial en atender las necesidades de la población mediante el desarrollo de programas y proyectos. Presenta un Departamento de Ambiente y Planeación, dedicado a garantizar la preservación del medio ambiente y la gestión sostenible de los recursos naturales. Este departamento también tiene la responsabilidad de fomentar el crecimiento y el desarrollo sostenible del territorio municipal, asegurando que todas las iniciativas urbanísticas y rurales se alineen con los principios de sostenibilidad (Alcaldía de Cota, 2022).

EMSERCOTA S.A.S, la empresa de Servicios Públicos de Cota, opera desde 2006 y se encarga de la gestión de los servicios de acueducto y alcantarillado, incluyendo el tratamiento de aguas residuales domésticas. Esta entidad realiza esfuerzos en mantener la eficiencia y calidad en la prestación de estos servicios esenciales para la comunidad.

La Corporación Autónoma Regional (CAR) es la autoridad ambiental con jurisdicción sobre políticas, planes, programas y proyectos de ámbito ambiental en la región. Desde agosto de 2016, la CAR ha asumido la responsabilidad sobre la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Vereda Roza, asegurando que su operación y mantenimiento se realicen conforme a los estándares ambientales requeridos, contribuyendo así a la protección del ecosistema local (DESCA, 2023).

- **9. Marco legal**

Límites permisibles en los vertimientos a cuerpos de aguas superficiales o sistemas de alcantarillado público.

**Tabla 4.**

*Parámetros y valores máximos permisibles en los vertimientos a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Resolución 0631 de 2015</b>
$DBO_5$	mg/L	90
DQO	$mgO_2/L$	180
Grasas y Aceites	mg/L	20
pH	N/A	6,0-9,0
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	90
Sólidos Sedimentables (SSED)	ml/L	5
Sustancias Activas al azul de metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y reporte
Fósforo Total	mg/L	Análisis y reporte
Nitrógeno Total	mg/L	Análisis y reporte

Tomado de Resolución 0631 de 2015

**Tabla 5.**

*Marco Legal de normatividad calidad de agua y vertimientos*

<b>Norma</b>	<b>Artículo</b>	<b>Observaciones</b>
--------------	-----------------	----------------------

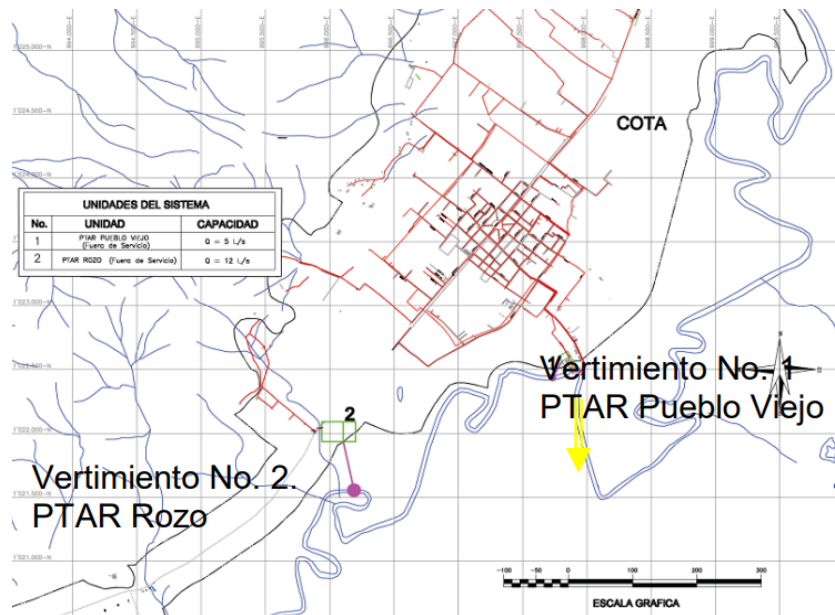
Resolución 0631 de 2015	Artículo 5 y 8	Parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas.
Resolución 2811 de 1974		Se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
Resolución 1096 de 2000		Se adoptó el Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS.
Decreto 3930 de 2010	Capítulo II	Materia de aprovechamiento de aguas y residuos, líquidos y otras sustancias.
Decreto del 6 de febrero de 2012	Artículo 64 del Decreto Ley 2811 de 1974	Regula parcialmente el registro de usuarios del recurso hídrico para el componente de concesión de abastecimiento de agua y el componente de licencia de descarga de agua y otras normas relacionadas con su ámbito de aplicación, forma de registro, plazo, presentación de informes y síntesis de la información.
Decreto 1594 del 22 de diciembre de 1984		Regular el uso del agua y el manejo de residuos líquidos.

*Nota. Elaboración propia*

- **10. Marco geográfico y descripción del territorio**

El municipio de Cota, Cundinamarca, se encuentra ubicado en la sabana de Bogotá, este limita al norte con Chía, al sur con Funza, al oriente con la localidad de Suba y al occidente con Tenjo. Su altitud en la cabecera municipal es de 2,566 metros sobre el nivel del mar (Alcaldía de Cota, 2023).

**Figura 2.**  
*Ubicación PTAR Vereda Rozo y Ubicación PTAR Pueblo Viejo*



*Nota. Tomado del Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado Latin Consult.*

**Figura 3.**  
*Mapa de localización PTAR Vereda Rozo*



*Nota. Se evidencia satelitalmente la PTAR Vereda rozo se puede ver ampliamente la ubicación de los 2 reactores de lodos activados y señalando la tubería afluente y efluente hacia el río de Bogotá.  
Elaboración propia.*

## 10.1 Clima

El municipio de Cota experimenta un clima con temperaturas que oscilan entre 5 y 14°C. Las precipitaciones son más intensas en los meses de abril y mayo, alcanzando un promedio de 110 mm/mes, y en los meses de octubre y noviembre. Por otro lado, las temporadas secas se presentan entre enero y febrero, así como entre julio y agosto (PBOT, 2023). La distribución de la precipitación en la región está determinada por la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), donde se unen vientos húmedos provenientes de los trópicos. Esta confluencia genera una franja de bajas presiones que da lugar a condiciones climáticas únicas y afecta de manera significativa los patrones de lluvia en el territorio (PBOT, 2023).

En cuanto a la hidrografía, Cota forma parte de la cuenca del río Bogotá, que abarca 45 municipios además del Distrito Capital. Esta cuenca recibe aguas residuales de municipios como Villapinzón, así como vertimientos de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Chocontá, Suesca, Tocancipá, Cajicá, Chía y Cota, este sistema hídrico alberga aproximadamente al 20% de la población colombiana y es responsable del 28% de la actividad económica del país. Además, cuenta con embalses como Sisga, Tominé, Muña, Neusa, Regadera y Chisacá (PBOT, 2023).

## ● 11. Metodología

### ○ 11.1 Enfoque general

Considerando la finalidad del proyecto de investigación se planteó un método mixto esta metodología permite al investigador responder preguntas a través del análisis de datos cuantitativos y explorar su causa teniendo en cuenta la investigación de campo como entrevistas siendo este un método cualitativo (Tashakkori y Teddlire, 2003), para este caso se inició con un recorrido en campo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales con la finalidad de evaluar las condiciones de operación y mantenimiento, esto basado en la observación de manera que permite identificar puntos críticos y posteriormente pasar a la recolección de información facilitada por la empresa a cargo de la operación para evaluar las condiciones mediante el desarrollo de cálculos siendo esta una técnica cuantitativa que permitió evaluar los criterios de diseño para un eficiente tratamiento de aguas residuales y las condiciones actuales del tratamiento primario y secundario en el sistema de lodos activados.

### ○ 11.2 Alcance general

El proyecto adoptó un alcance descriptivo para especificar las propiedades observadas a través de técnicas cualitativas. Esto permitió describir las operaciones unitarias utilizadas en el tratamiento de aguas residuales, así como los procesos de funcionamiento de la planta (Hernández, Fernández y Baptista, 2012). Además, se implementó un enfoque correlacional mediante el análisis de cada variable encontrada, incluyendo el tratamiento primario y secundario de aguas residuales, junto con su verificación cuantitativa a partir de lo encontrado en la literatura (Hernández, Fernández y Baptista, 2012).

Este enfoque correlacional permitió evaluar distintos conceptos y determinar si existían relaciones entre las variables analizadas y las operaciones de la planta. Al examinar estas relaciones, se logró obtener una comprensión más profunda del rendimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, lo que a su vez facilitó la formulación de recomendaciones y mejoras para optimizar su funcionamiento.

- 11.3 Unidad de análisis

El proyecto de investigación centró su análisis en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Vereda Roza, esta fue la unidad de estudio principal. A partir de este enfoque, se realizaron las verificaciones de diseño necesarias para evaluar y mejorar el funcionamiento de la planta, permitiendo así un análisis más específico y detallado de su desempeño.

- 11.4 Técnicas e instrumentos

Según Hernández, Collado y Baptista (2012) las técnicas e instrumentos que pueden ser tomados para la investigación son la observación directa y entrevistas, este instrumento se adoptó mediante una entrevista de tipo no estructurada que se desarrolló a lo largo de la visita técnica, otro instrumento de observación directa donde se evidenciaron las operaciones unitarias de la planta, su modo de operación y el mantenimiento que se le realiza así evaluar otra información de interés que aportó con el desarrollo de la investigación tal como tiempos de funcionamiento, llenado, descarga y limpieza del reactor de lodos activados.

Por último, se realizó el análisis documental mediante información facilitada por la empresa a cargo de la operación tales como manual de operaciones, planos de infraestructura e informes de monitoreos realizados por parte de un laboratorio certificado.

A continuación, se encuentra la metodología seleccionada para el desarrollo de cada objetivo específico

- 11.5 Metodología objetivo específico 1

El desarrollo de este objetivo se dio inicialmente mediante una proyección poblacional específica para la PTAR, con el propósito de verificar los caudales de entrada actuales y a futuro, se continuó con la revisión bibliográfica de autores tales como Metcalf & Eddy, 1996, Romero Rojas, 2000 y Environmental Protection Agency, 1996 a partir de los cuales se tomaron las metodologías establecidas para el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales para un adecuado funcionamiento, se realizó un cálculo de las dimensiones de los distintos componentes de la planta como el tanque de homogenización, desarenadores, y reactor de lodos activados para posteriormente ser comparado con el estado actual. Este análisis inicial permitió verificar el diseño estructural de la PTAR, proporcionando así un primer resultado relevante para el proyecto de investigación.

#### ■ 11.5.1 Obtención de datos

La recopilación de datos se llevó a cabo mediante la colaboración del ingeniero a cargo de la PTAR, Se obtuvieron el manual de operaciones, los planos detallados de la planta (Véase anexo 1,6-10).

#### ■ 11.5.2 Visita técnica

Se coordinaron visitas técnicas con la presencia del ingeniero para evaluar in situ la estructura de la PTAR y su funcionamiento. Durante estas visitas, se realizó una entrevista con los operarios para entender los procedimientos de mantenimiento necesarios para el óptimo funcionamiento de la planta. La visita técnica se realizó el 24 de octubre del 2023 donde se conoció la infraestructura.

#### ○ 11.6 Metodología objetivo específico 2

Para este objetivo, se empleó información obtenida de los monitoreos de mayo y noviembre del 2023, realizados y verificados en el laboratorio H2O es vida S.A.S acreditado NTC-ISO/IEC-17025. Además, para motivos académicos se llevó a cabo una visita técnica durante la cual se tomaron muestras de agua tanto en el punto de entrada como en el punto de salida de la PTAR, estas muestras fueron analizadas en el Laboratorio de la Universidad El Bosque el 20 de febrero del 2024. Este enfoque permitió obtener tres conjuntos de resultados: uno correspondiente a mayo del 2023, otro a noviembre del 2023 y el último en febrero del 2024.

El análisis de estos resultados proporcionó una visión integral de las eficiencias de remoción de contaminantes de la PTAR en diferentes períodos temporales. Este enfoque permitió evaluar de manera exhaustiva el desempeño de la planta y determinar un diagnóstico preciso la eficiencia del tratamiento respecto a la remoción de los contaminantes enfocándose en la remoción de materia orgánica o biomasa.

### ■ 11.6.1 Obtención de datos

La recopilación de datos se llevó a cabo mediante la colaboración del ingeniero a cargo de la PTAR, Se obtuvieron el manual de operaciones, los planos detallados de la planta (Véase anexo 1,6-10).

### ■ 11.6.2 Visita técnica

El muestreo se realizó el 20 de febrero, tomando una muestra del afluente y efluente para su posterior análisis en el laboratorio de la Universidad El Bosque.

### ○ 11.7 Metodología objetivo específico 3

### ■ 11.7.1 Revisión normatividad vigente colombiana

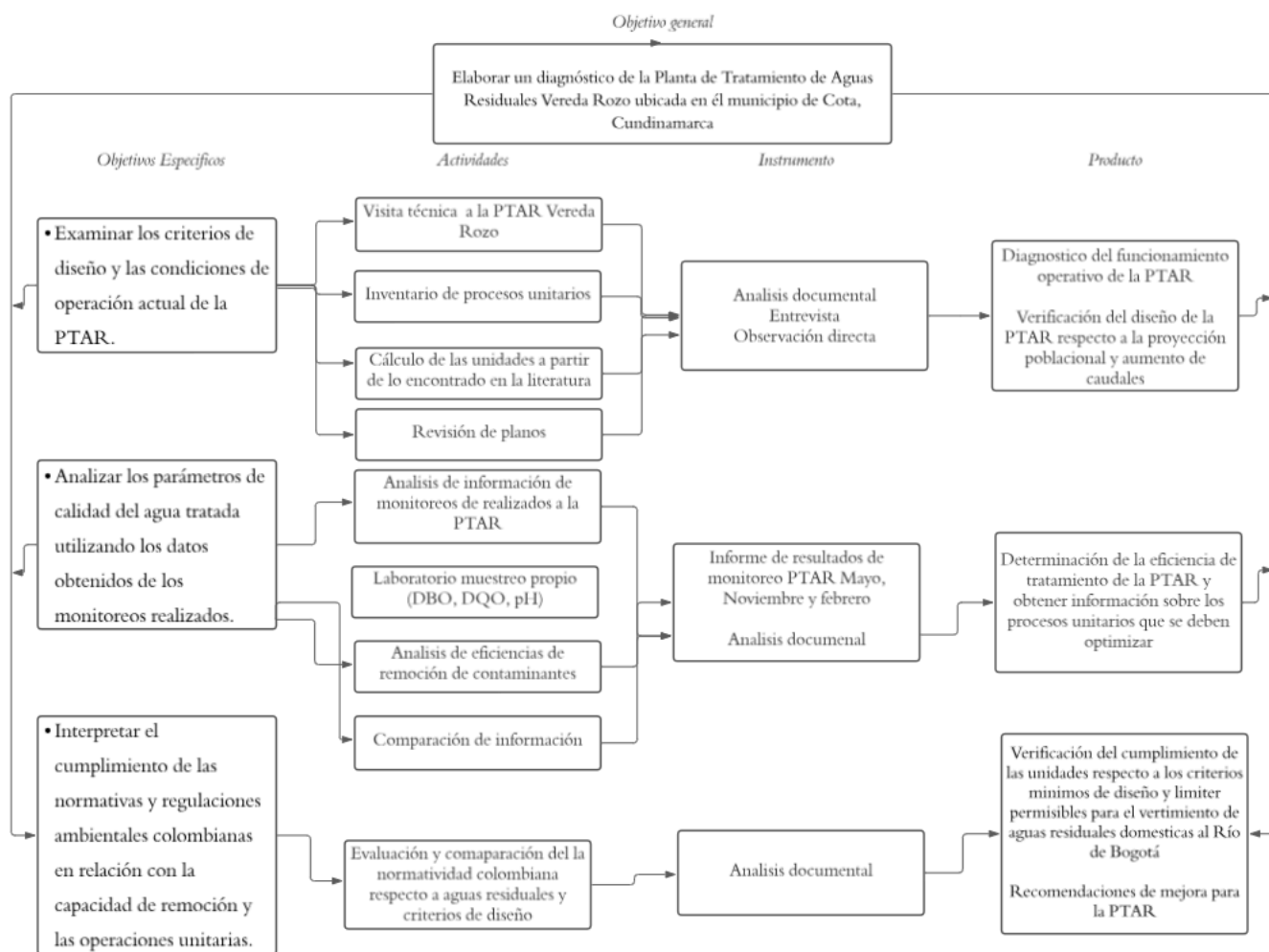
A partir de las condiciones obtenidas y calculadas del objetivo 1 y objetivo 2 se procedió a hacer un análisis comparativo respecto a la normatividad vigente colombiana y verificar su cumplimiento con los criterios de diseño y límites máximos permisibles para generar recomendaciones que optimicen el tratamiento de aguas resi duales.

A continuación, un diagrama de flujo con la metodología aplicada al proyecto por objetivo

- **11.8 Diagrama de flujo metodológico general**

**Figura 4.**

*Actividades generales por objetivo*



Elaboración propia

○ **11.9 Resumen técnicas e instrumentos**

**Tabla 6.**

*Resumen técnicas e instrumentos y análisis de información por objetivo*

Objetivo General	Objetivos específicos
------------------	-----------------------

Elaborar un diagnóstico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Vereda Roza ubicada en el municipio de Cota, Cundinamarca	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
	Examinar los criterios de diseño y las condiciones de operación actual de la PTAR	Analizar los parámetros de calidad del agua tratada utilizando los datos obtenidos de los monitoreos realizados.	Interpretar el cumplimiento de las normativas y regulaciones ambientales colombianas en relación con la capacidad de remoción y las operaciones unitarias.
<b>Instrumento</b>	Planos de la PTAR Manual de operaciones Diario de campo (Visita técnica)	Informe monitoreo laboratorio verificado  Para pruebas realizadas en la Universidad -Implementos de laboratorio	Análisis de documental de resultados
<b>Resultados esperados</b>	Verificación del diseño estructural de la PTAR y conclusiones respecto a la operación actual.	Determinación de la eficiencia de tratamiento de la PTAR	Verificación de cumplimiento con la normatividad colombiana Recomendaciones

Elaboración propia

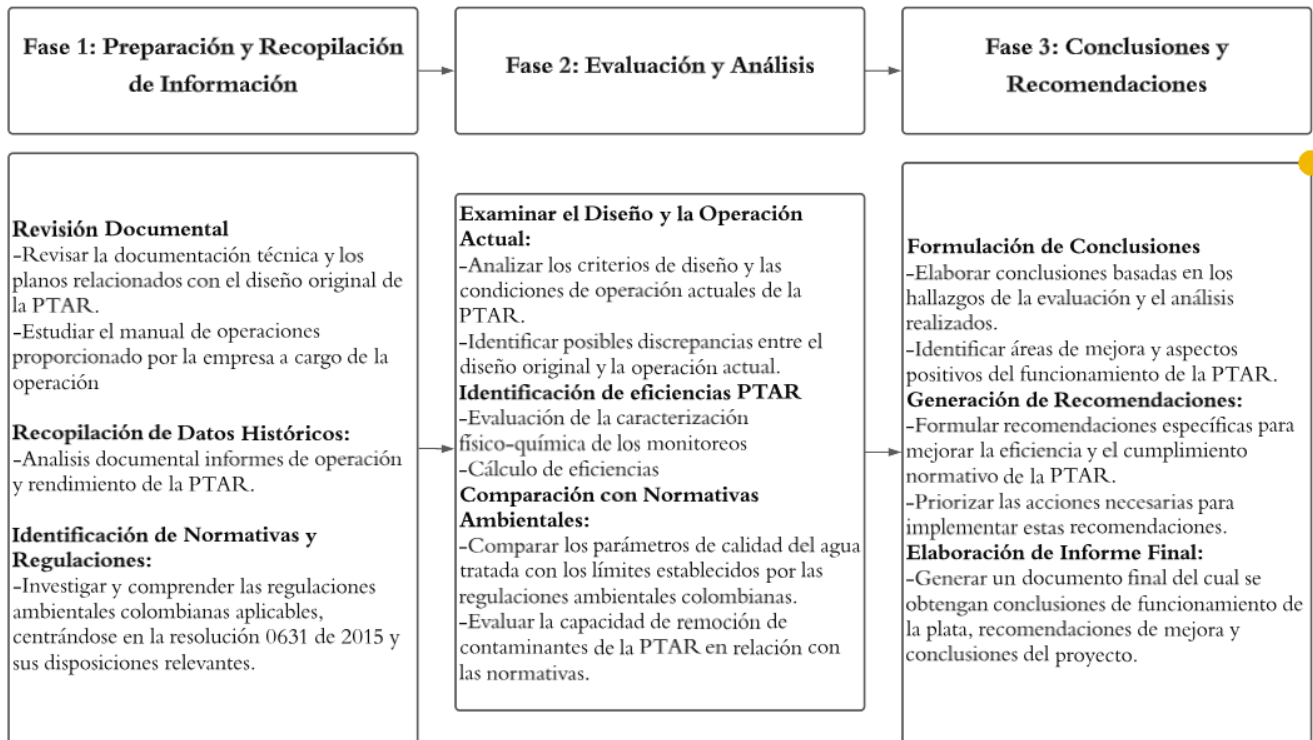
## ● 12. Plan de trabajo

El presente plan de trabajo está diseñado para llevar a cabo el proyecto de diagnóstico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Vereda Roza, ubicada en el municipio de Cota, Cundinamarca. Este proyecto se divide en tres fases claramente definidas, cada una dirigida hacia objetivos específicos que permitirán una evaluación completa del funcionamiento de la PTAR para su tratamiento primario y secundario de modo que permita la formulación de recomendaciones teóricas para su mejora. A través de este enfoque estructurado, se busca no solo identificar áreas de oportunidad, sino también proponer soluciones concretas para optimizar el tratamiento de aguas

residuales y garantizar el cumplimiento de las regulaciones ambientales vigentes en Colombia, particularmente la resolución 0631 de 2015 sobre vertimientos y la resolución 0330 de 2017 (Compilada en el RAS 2000) de la cual se tomaron los criterios de diseño. Con este plan, se espera contribuir significativamente a la eficiencia operativa y sostenibilidad ambiental de la PTAR Vereda Roza, beneficiando tanto a la comunidad local como al ecosistema circundante.

**Figura 5.**  
*Plan de trabajo por fases*

Plan de trabajo por fases PTAR Vereda Roza Cota, Cundinamarca



Elaboración propia

**Figura 6.**  
*Cronograma de actividades*

Cronograma de actividades - Proyecto Diagnostico PTAR Vereda Rozo ubicada en Cota, Cundinamarca - Colombia																																		
Actividades	Meses	junio/23			julio/23			agosto/23			septiembre			octubre/23			noviembre/23			diciembre/23			enero/24			febrero/24			marzo/24			abril/24		
	Semanas	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Selección área de estudio	X																																	
Revisión bibliográfica		X	X	X	X	X	X	X	X																									
Reuniones con director proyecto				X			X			X			X			X			X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
Recolección de información de interes (Vista técnica, Entrevista)															X	X							X											
Planteamiento de la metodología									X	X	X	X	X	X	X																			
Recolección de muestras de entrada y salida de la planta																										X								
Analisis en laboratorio de muestras de calidad de agua																										X	X							
Recorrido técnico a la PTAR													X												X	X								
Realización del diagnostico																	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X				
Informe diagnostico final																												X	X	X				
Planteamiento de mejoras																												X	X	X				
Entregable final																												X	X					

Nota. Elaboración propia

Figura 7.  
Presupuesto proyecto de investigación

Nombre del proyecto:		Diagnóstico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Vereda Rozo ubicada en el Municipio de Cota, Cundinamarca - Colombia					
Responsable del proyecto							
Área responsable:		Ingeniería ambiental					
Fecha de inicio y terminación del proyecto:		2023-2024					
Presupuesto general							
Rubros	Desembolso nuevo		Total desembolso nuevo	Desembolso en especie		Total desembolso en especie	Total proyecto
	Año 2023	Año 2024		Año 2023	Año 2024		
1. Personal				10.569.472	5.478.080	16.047.552	16.047.552
2. Equipos especializados	0	0	0	0	0	0	0
2.1. Equipos propios				6.500.000	0	6.500.000	6.500.000
3. Materiales y reactivos	0	0	0	0	0	0	0
4. Salidas de campo	250.000	0	250.000	0	0	0	250.000
5. Refrigerios	0	0	0	0	0	0	0
6. Servicios técnicos	0	0	0	0	0	0	0
7. Capacitaciones	0	0	0	0	0	0	0
8. Adquisición o actualización de software	0	0	0	0	0	0	0
9. Evaluación	0	0	0	0	0	0	0
10. Otros (PRUEBAS LABORATORIO UEB)	0	764.378	764.378	0	0	0	764.378
<b>TOTALES</b>	250.000	764.378	1.014.378	17.069.472	0	22.547.552	23.561.930

Nota. Elaboración propia

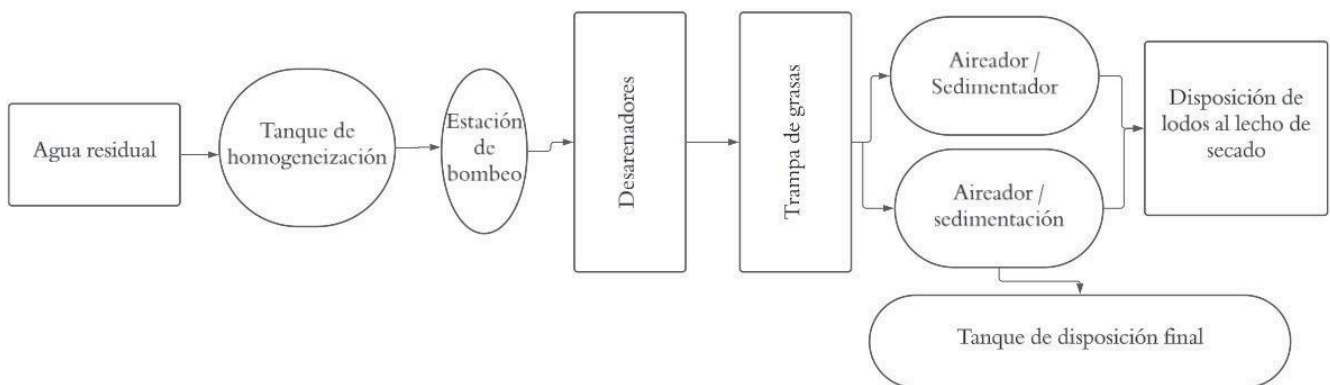
- **13. Resultados**

- **13.1 Descripción de procesos y operaciones**

**Planta de tratamiento de aguas residuales Vereda Roza, Cota - Cundinamarca**

**Figura 6.**


*Diagrama de procesos y operaciones PTAR Vereda Roza*





*Nota. En la Figura 6. Se evidencian las operaciones unitarias encontradas en la PTAR. Elaboración propia.*


**Tabla 7.**

*Descripción de procesos por unidad PTAR Vereda rozo*

Etapa	Unidad	Descripción
Tratamiento preliminar	Tanque de homogenización	Un (1) tanque construido en concreto de las siguientes dimensiones <ul style="list-style-type: none"><li>● Largo 6,00 m</li><li>● Ancho 6,00 m</li><li>● Altura total 3,95 m</li><li>● Altura útil 2,60 m</li></ul>
		

Etapa	Unidad	Descripción
	Bombeo inicial	<p>Dos (2) bombas sumergibles, una en operación y una en stand-by, con las siguientes características:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Caudal unitario 43,2 m<sup>3</sup>/h</li> <li>● Altura dinámica total 10.00 m</li> <li>● Marca GOULDS PUMPS 7</li> <li>● Referencia WS2032BHF</li> <li>● Diámetro descarga 4"</li> <li>● Potencia 2,0 HP</li> <li>● Velocidad 3500 RPM</li> <li>● Voltaje 230 V</li> </ul>
		
	Canales	Dos (2) canales rectangulares construidos en concreto cada uno de las

Etapa	Unidad	Descripción
	desarenadores	<p>siguientes dimensiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Longitud 5,50 m</li> <li>● Ancho 0,50 m</li> <li>● Altura total 0,50 m</li> </ul> <p>Equipos: Dos (2) rejillas de limpieza manual en varilla de 1/2" con espaciamiento entre barros de 2,0 cm. Dos (2) compuertas de aislamiento para facilitar la limpieza de cada canal. Un conjunto de extracción de arenas y desocupación de cada canal compuesto por tuberías de acero al carbono, accesorios y válvulas.</p>
		
	Trampa de grasas	<p>Una (1) cámara de desaceitado y remoción de grasas en concreto de las siguientes dimensiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Longitud 2,50 m</li> <li>● Ancho 1,10 m</li> <li>● Altura total 3,70 m</li> <li>● Tiempo de retención 10 minutos</li> </ul> <p>Un (1) rebose circular regulable construido en lámina de acero al carbono.</p>
Tratamiento	Tanques de	Dos (2) tanques construidos en concreto de las siguientes

Etapa	Unidad	Descripción
secundario	aireación/sedimentación	<p>dimensiones.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Longitud 13,50 m</li> <li>● Ancho 13,50 m</li> <li>● Altura total 3,60 m</li> <li>● Altura útil 3,10 m</li> </ul> <p>El comienzo del ciclo comienza con un período de llenado de una hora sin mezcla ni aireación, seguido de ocho horas de reacción con un ciclo de aireación de diez minutos por hora y la adición diaria de dos litros de microorganismos. Posteriormente, se lleva a cabo una hora de sedimentación, seguida de once horas de vaciado del reactor y cuatro horas de fase inactiva.</p>
		
	Aireador. Impulsor superficial	<p>Dos (2) aireadores superficiales con todos los accesorios para su adecuado funcionamiento electromecánico de las siguientes características.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Modelo RN 5512</li> <li>● Potencia 30 HP</li> <li>● Velocidad 55 RPM</li> <li>● Diámetro de la turbina 1,53 m</li> <li>● Motor Siemens Reductor Ramfe</li> <li>● Referencia PGR 09.161.4183.V1.IP65</li> </ul>

Etapa	Unidad	Descripción
		
		Un conjunto vertederos y tabiques en lámina galvanizada
	Válvulas neumáticas	Cantidad Cuatro (4) Marca DOSAPRO MILTON ROY Tipo PINCH Diámetro 6"
	Transferencia de lodos a los lechos de secado	Un conjunto (1) de tuberías, válvulas y accesorios para conducción y descarga de los lodos en exceso a los lechos de secado.
	Desinfección Final	<p>El agua clarificada pasa al tanque de contacto construido en concreto de las siguientes dimensiones. Largo 8,00 m Ancho 1,20 m Altura 2,00 m</p> <p>Este tanque dispone de baffles con el fin de asegurar un tiempo de retención de 10 minutos.</p> <p>Una (1) bomba dosificadora de diafragma con las siguientes características: Marca EMEC Serie FCO 0703 Alimentación eléctrica 110 V</p>

*Nota. Adaptada del Manual de Operaciones. Elaboración propia.*

### ○ 13.2 Resultados objetivo 1

En la primera sección se realizaron los cálculos de los parámetros mínimos de diseño mediante una revisión a la literatura que permita conocer cuáles son estos criterios requeridos para un adecuado funcionamiento de la planta iniciando con un cálculo del caudal de diseño máximo horario según la proyección poblacional, la verificación del volumen requerido del tanque de homogenización o igualación de caudales y demás operaciones de pretratamiento, la sección continúa con el cálculo del volumen requerido del reactor de tratamiento biológico de lodos activados sugiriendo el volumen necesario para este proceso desde dos puntos de vista tales como reactor de mezcla completa así como reactor SBR mediante el diseño de parámetros sugeridos para dar cumplimiento a la correcta remoción

de contaminantes según lo encontrado en la literatura. Del mismo modo el capítulo finaliza con la comprobación de las necesidades de oxígeno para verificar las condiciones de aireación en el proceso.

### ■ 13.2.1 Verificación del mantenimiento de la PTAR

A partir de la información obtenida por parte de la empresa encargada de la planta, se llevan a cabo labores de mantenimiento diario que abarcan la limpieza y eliminación de maleza tanto dentro como fuera del área de la planta. Se aplican 2 litros de bacterias digestoras de materia orgánica para reducir la carga contaminante, y se dosifica hipoclorito de sodio como desinfectante para disminuir el número de colonias de coliformes vertidas al río. Además, se realiza limpieza de canaletas, desarenadores y trampas de grasa cada tres días, así como la extracción de lodos secos desactivados cada cinco a seis días según lo indicado por el operario de la PTAR, se llevan a cabo mantenimientos periódicos o correctivos en equipos mecánicos, eléctricos y en el panel de control.

Durante las visitas realizadas a la PTAR, se observó que las bitácoras no están completadas de manera adecuada, presentando días sin registrar y planillas incompletas por parte del personal encargado, pero no fue posible obtener evidencias de estas planillas. Por consiguiente, se recomienda la implementación de capacitaciones con el objetivo de mejorar la organización del funcionamiento de la planta. Esto garantizará que cualquier persona externa pueda acceder a información precisa sobre las operaciones unitarias de la PTAR.

### ■ 13.2.2 Verificación de parámetros mínimos de diseño

#### 13.2.2.1 Proyección poblacional

Teniendo en cuenta los datos proporcionados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística “DANE” se procede a calcular el número de habitantes de un lugar para años futuros.

#### **Tabla 8.**

*Censos habitantes total en el municipio de Cota, Cundinamarca*

<b>Año censo</b>	<b>Población total</b>
1938	1.986
1951	2.414
1964	4.048
1973	4.827
1985	8.080

1993	11.471
2005	19.664
2018	31.868
2048	43.074

Adaptado del Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE

La realización del cálculo de proyección poblacional se hizo con base en el método exponencial considerando que el municipio de Cota presenta un alto flujo de población estacionaria además de que el sector industrial está en constante crecimiento a los alrededores y presenta gran cercanía a Bogotá D.C

### Método exponencial

$$Pf = P_{CI} * e^{k * (T_f - T_{CI})} \quad \text{Ec. (13)}$$

Ecuación 13. Cálculo proyección poblacional por método exponencial  
Tomado de Ospina B (1981)

Donde:

$T_f$  = Año al que se quiere proyectar la población

$T_{CI}$  = Año correspondiente al censo inicial con información

$K$  = Tasa de crecimiento de la población para cada par de censos

$$K = \frac{\ln(P_{cp}) - \ln(P_{ca})}{T_{cp} - T_{ca}} \quad \text{Ec (14)}$$

Ecuación 14. Cálculo tasa de crecimiento anual  
Tomada de Ospina B (1981)

Donde:

$P_{ca}$  = Población del censo anterior

$P_{cp}$  = Población del censo posterior

$T_{cp}$  = Año correspondiente al censo posterior

$T_{ca}$  = Año correspondiente al censo anterior

Reemplazando los valores de la tabla 8 en la ecuación 13 se obtienen los valores correspondientes a K y su promedio mostrados en la tabla 9.

### Tabla 9.

*Resultados tasa de crecimiento de la población para cada par de censos*

<b>Año censo</b>	<b>Kg. Exponencial</b>
1938	0,01501250439
1951	0,03976444687
1964	0,01955580274
1973	0,04293055965
1985	0,04380377985
1993	0,04491395346
2005	0,03713944759
2018	0,01004371304
<b>Promedio</b>	<b>0,03164552595</b>

*Nota. Elaboración propia*

**Cálculo de población flotante**

Teniendo en cuenta que Cota es un municipio transitorio por su cercanía a la ciudad de Bogotá D.C además de contar con zonas industriales hacia el suroriente del municipio.

$$P_{ff} = P_o(1 + r)^n \text{ Ec (15)}$$

Ecuación 15. Cálculo población flotante futura

Donde:

$$P_{ff} = \text{Población flotante futura}$$

$$P_o = \text{Población futura inicial}$$

$$r = \text{Tasa de crecimiento poblacional}$$

$$n = \text{Periodo de diseño (años)}$$

Se procede a hacer el cálculo de la población a futuro basado en la ecuación 13. y los resultados se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 10.**

*Resultados proyección poblacional para un periodo de 25 años (2025-2050)*

<b>Población final (Pf)</b>	<b>Población M. Exponencial</b>
2024	39.770,33
2025	41.049,00
2026	42.368,79
2027	43.731,02
2028	45.137,04
2029	46.588,26
2030	48.086,15
2031	49.632,20
2032	51.227,95
2033	52.875,01
2034	54.575,02
2035	56.329,70
2036	58.140,78
2037	60.010,10
2038	61.939,52
2039	63.930,97
2040	65.986,45
2041	68.108,02
2042	70.297,80
2043	72.557,99
2044	74.890,84
2045	77.298,70
2046	79.783,97
2047	82.349,15
2048	84.996,81
2049	87.729,59
2050	90.550,23

A partir de la información suministrada del censo de 2018 sobre la población total en la cabecera y la zona rural del municipio de Cota, se tendrá en cuenta el 30% <sup>1</sup> de la población debido a que el 70% de aguas residuales restantes son dirigidas a la PTAR Vereda Pueblo Viejo de las veredas El Abra, La Moya, Cetime y Pueblo Viejo que tiene una mayor capacidad aunque en la actualidad no se encuentra en funcionamiento razón por la cual no hay un caudal de ingreso a la PTAR, pues existe un bypass por el cual se realiza el vertimiento directo al río de Bogotá (Acueducto, 2022) mientras que la PTAR Vereda Roza, recibe las redes de alcantarillado combinado de las veredas el Hoyo, Vereda Roza y el conjunto Residencial Palo E Monte (Acueducto, 2022).

### Dotación Neta

Teniendo en cuenta que según la resolución 0330 de 2017 indica que la altura del municipio permite establecer la dotación neta para el municipio donde para el municipio de Cota, Cundinamarca es de 2566 msnm y una temperatura media de 12°C por lo que se adopta una dotación neta de 120 L/s.

### Dotación Bruta

Corresponde a la cantidad mínima de agua para satisfacer las necesidades básicas de un habitante, la resolución 0330 determina que se debe calcular con la ecuación 16.

$$D_{bruta} = \frac{d_{neta}}{(1 - \%P)} \text{ Ec (16)}$$

Ecuación 14. Cálculo de dotación bruta  
Tomado de la resolución 0330 de 2017. Art 134

Donde:

$$d_{neta} = \text{Dotación neta}$$

$\%P$  = Porcentaje de pérdidas técnicas máximas de diseño = 25%

$$D_{bruta} = \frac{120 \frac{L}{Hab * dia}}{(1 - 0.25)} = 173,33 \frac{L}{Hab * dia} \text{ Ec (17)}$$

Ecuación 17. Cálculo dotación bruta  
Tomado de la resolución 0330 de 2017

### Caudal Medio Diario

Según el artículo 134 de la resolución 0330 de 2017 el caudal medio diario de aguas residuales domésticas se calcula con la siguiente ecuación.

$$Q_{MD} = \frac{Población * Dotación bruta * R}{86400} + Q_{inf} \text{ Ec (18)}$$

Ecuación 18. Cálculo de caudal medio diario  
Tomado de la resolución 0330 de 2017.

---

<sup>1</sup> Véase anexo 1.

Se toman los valores según la resolución de caudal de infiltración de 5 L/s y un coeficiente de retorno de 0.85 debido a que no se cuentan con valores de campo.

$$Q_{MD} = \frac{11.931 \text{ Hab} * 173,33 \frac{L}{\text{Hab} * \text{día}} * 0.85}{86400} + 5L/s \quad \text{Ec (19)}$$

$$Q_{MD(2024)} = 25,35 \text{ L/s}$$

Ecuación 19. Cálculo de caudal medio diario  
Tomado de la resolución 0330 de 2017.

### Caudal Máximo Horario

Según la resolución 0330 de 2017 en el artículo 134 este caudal debe ser calculado al multiplicarse por un factor de mayoración que su valor debe superar 1,4 de modo que

$$Q_{MH} = F * qmd \quad \text{Ec (20)}$$

Ecuación 20. Cálculo del caudal máximo horario  
Tomado de la resolución 0330 de 2017.

Donde

$$F = \text{factor de mayoración } 1,4$$

$$qmd = \text{Caudal medio diario}$$

$$Q_{MH(2049)} = 49,88 \text{ L/s} * 1,4 = 69,832 \text{ L/s}$$

De modo que el valor calculado anteriormente corresponde a el caudal de diseño que debe haber en el 2049 considerando los 25 años de proyección poblacional, este es el tiempo a tener en cuenta para que el funcionamiento de la PTAR sea funcional en el tiempo.

**Tabla 11.**

*Muestra de cálculos de la proyección poblacional hasta 2050 para el 30% de los habitantes del municipio de Cota Cundinamarca*

Población final	Población M.Exponencial	Población servida (30%)	qmd (L/s)	QMH (L/s)
2024	39.770,33	11.931,10	25,35	35,48
2025	41.049,00	12.314,70	26,00	36,40

2026	42.368,79	12.710,64	26,67	37,34
2027	43.731,02	13.119,31	27,37	38,32
2028	45.137,04	13.541,11	28,09	39,33
2029	46.588,26	13.976,48	28,83	40,37
2030	48.086,15	14.425,85	29,60	41,44
2031	49.632,20	14.889,66	30,39	42,55
2032 <sup>2</sup>	51.227,95	15.368,38	31,21	<b>43,69</b>
2033	52.875,01	15.862,50	32,05	44,87
2034	54.575,02	16.372,51	32,92	46,09
2035	56.329,70	16.898,91	33,82	47,34
2036	58.140,78	17.442,23	34,74	48,64
2037	60.010,10	18.003,03	35,70	49,98
2038	61.939,52	18.581,86	36,69	51,36
2039	63.930,97	19.179,29	37,71	52,79
2040	65.986,45	19.795,94	38,76	54,26
2041	68.108,02	20.432,41	39,84	55,78
2042	70.297,80	21.089,34	40,96	57,35
2043	72.557,99	21.767,40	42,12	58,97
2044	74.890,84	22.467,25	43,31	60,64
2045	77.298,70	23.189,61	44,54	62,36
2046	79.783,97	23.935,19	45,82	64,14
2047	82.349,15	24.704,75	47,13	65,98
2048	84.996,81	25.499,04	48,48	67,88
2049	87.729,59	26.318,88	49,88	<b>69,83</b>

### 13.2.2.2 Verificación de diseño tanque de homogenización

Las variaciones tanto de caudal como de carga se pueden presentar en todas las plantas de tratamiento de aguas residuales dado que la homogeneización de caudales es una medida utilizada para amortiguar las variaciones por lo que su uso genera un flujo de salida constante (Crites Tchobanoglous, p 256).

<sup>2</sup> Proyección de diseño de la PTAR teniendo en cuenta que su funcionamiento inició en 2007.

Dicho lo anterior se pasa a hacer la verificación del volumen del tanque de homogeneización de la PTAR teniendo en cuenta las medidas entregadas en las diferentes fuentes que se pueden ver en la tabla 12, contiene la información de los planos y los datos obtenidos del Manual de operaciones.

**Tabla 12.**

*Medidas del tanque de homogenización*

	<b>Planos</b>	<b>Manual de operaciones</b>
Altura útil	4,1 m	3,95 m
Ancho	7 m	6 m
Largo	7 m	6 m
<b>Volumen</b>	<b>200,9 m<sup>3</sup></b>	<b>142,2 m<sup>3</sup></b>

Elaboración propia

De este modo se puede establecer que no hay concordancia entre las medidas del tanque de homogeneización entregadas en los planos de diseño y el manual de operaciones lo cual no permite establecer el volumen del tanque de homogeneización en la actualidad y verificar el cumplimiento en la igualación del caudal afluente durante la operación de la planta, en vista de esto, se procede a utilizar las medidas encontradas en los planos entregados por la empresa en marzo del 2005. Se resalta que esta estrategia es frecuentemente utilizada en plantas de tratamiento pequeñas como la PTAR Vereda Roza por lo que teniendo en cuenta los datos de caudal tomados en 24 intervalos de tiempo mostrados del anexo 3, que fue realizado en mayo del 2023 y el monitoreo realizado en noviembre del 2023 se hace la verificación que el diseño al pasar de los años aún sea funcional para el caudal de entrada. De este modo desarrolló una hoja de cálculo donde se determinó el volumen acumulado o drenado necesario para el agua afluente que resulta descrito en el anexo 11.

$$\text{Volumen afluente durante el periodo} - \text{Volumen promedio horario} = \text{Acumulación (+) o Drenaje (-)}$$

Ecuación (21). (Crites and Tchobanoglous, 2000).

### **Histograma de volumen acumulado**

A partir de lo anterior, se generaron dos histogramas que muestran los volúmenes acumulados necesarios, basados en los monitoreos realizados en la PTAR. Uno corresponde a la época de lluvia en mayo de 2023, y el otro se realizó en época de lluvia también en noviembre de 2023<sup>3</sup>. Estos histogramas se presentan en las figuras 7 y 8 respectivamente. Los datos específicos se detallan en el

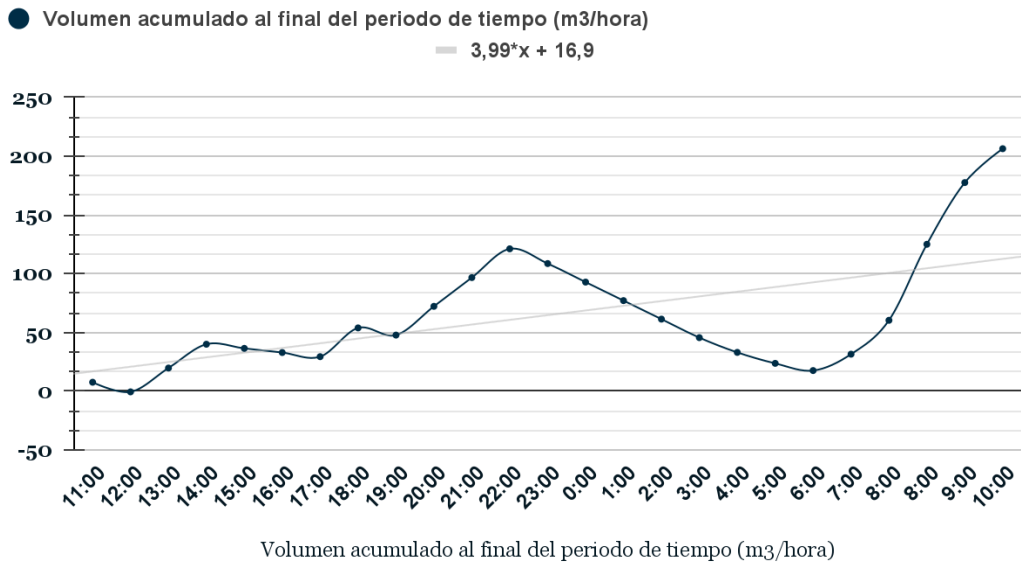
<sup>3</sup> Véase anexo 3 y 5

anexo 11, donde se proporciona una explicación detallada sobre cómo se determinó el volumen requerido para el tanque de igualación de caudales en función de registros.

**Figura 7.**

*Histograma tanque de homogenización monitoreo mayo 2023*

**Histograma volumen acumulado**

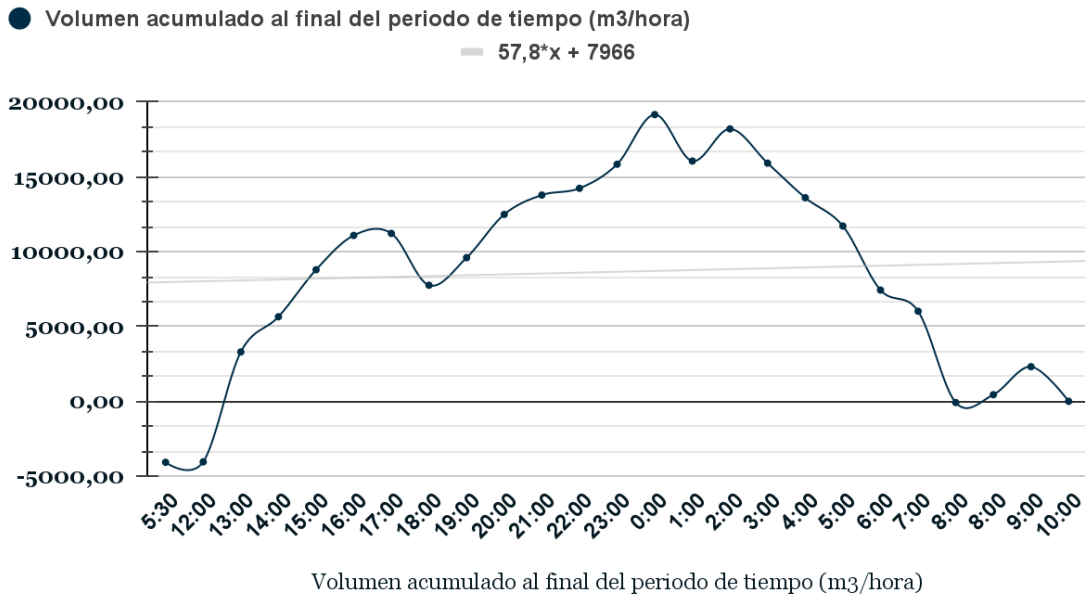


*Nota. Se evidencia el requerimiento de volumen acumulado teniendo en cuenta la variación de flujo a lo largo del día. Elaboración propia.*

**Figura 8.**

*Histograma tanque de homogenización monitoreo noviembre 2023*

## Histograma volumen acumulado



*Nota. Se evidencia el requerimiento de volumen acumulado teniendo en cuenta la variación de flujo a lo largo del día. Elaboración propia.*

Los resultados se presentan en la *tabla 13*, se derivan de los datos del histograma de volúmenes acumulados. En ella, se puede observar la diferencia requerida para el volumen del tanque de homogeneización según el caudal evaluado en diferentes periodos de tiempo, en comparación con el volumen real del tanque, obtenido de los planos proporcionados por la empresa a cargo de la operación de la planta.

**Tabla 13.**

*Volúmenes para el tanque de homogeneización según criterio*

Volumen Real Tanque de Homogeneización <sup>4</sup>	Volumen tanque de homogeneización según datos de caudal mayo 2023	Volumen tanque de homogeneización según datos de caudal noviembre 2023
200,9 m <sup>3</sup>	258,75 m <sup>3</sup>	29,062 m <sup>3</sup>

Para el cálculo del volumen del tanque de homogeneización, realizado a partir del monitoreo efectuado en mayo de 2023, es crucial destacar que dicho mes coincide con la temporada de lluvias en el municipio de Cota, Cundinamarca. Se determinó un requerimiento de volumen mayor de 57,58 m<sup>3</sup>

<sup>4</sup> Manual de operaciones

en comparación con el volumen real, como se detalla en la tabla 13. En contraste, durante el monitoreo realizado en noviembre de 2023, el cálculo arrojó un volumen de  $29,062 \text{ m}^3$ . Esto indica que, según los caudales estudiados, la necesidad de almacenamiento fue notablemente mayor durante el mes de mayo de 2023. Esta circunstancia ha generado desbordamientos en el tanque en determinadas horas del día, lo que resulta en un nivel de agua que supera la capacidad de la tubería y dificulta la toma adecuada de muestras, como se observa en el anexo 3, donde algunos datos no pudieron ser obtenidos debido a desbordamientos sobre las tuberías in situ. Por consiguiente, se procederá a comparar este volumen, centrándonos en el escenario más desfavorable, que es la temporada de lluvias registrada en mayo del 2023.

### 13.2.2.3 Verificación del desarenador

Dentro del proceso de tratamiento de aguas residuales, siempre surge la discusión sobre la carga de arenas. El problema es que no hay información clara sobre cómo medirlas, básicamente están compuestas por arenas, gravas, y otros materiales que son difíciles de descomponer por sus características inorgánicas (INGESAM, 2014). En Colombia, los sistemas de alcantarillado son de tipo combinado, lo que significa que la cantidad de arenas que llegan a las plantas de tratamiento suele ser bastante alta (INGESAM, 2014). Además, no existen medidas específicas para controlar que tipo de material llega a través de las redes. En este contexto la presencia de estos compuestos es indudable en la PTAR Vereda Roza además de qué cómo se mencionó anteriormente el alcantarillado del municipio también registra ser combinado, por lo anterior se recomienda aplicar medidas de mantenimiento diario a los desarenadores.

El desarenador de la PTAR es de flujo horizontal, a continuación, se realiza el cálculo del tiempo de retención hidráulico para su comparación con el reglamento técnico, así como la verificación de las dimensiones. Según el manual de operaciones, se establece que la unidad está conformada por dos canales de flujo horizontal cada uno con una longitud de 5,50 m, un ancho de 0,50 metros y una altura de lámina de agua de 0,50 metros. Comprobando las dimensiones tomadas en la visita técnica con lo encontrado en el plano donde cada canal está equipado con dos rejillas de limpieza manual, compuestas por varilla de 1/2" con espaciamiento entre barrotes de 2,0 cm y dos compuertas de aislamiento para facilitar la limpieza de cada canal.

#### Cálculo tiempo de retención hidráulico

$$TR = \frac{\text{Ancho máximo del canal} * \text{Longitud del canal} * \text{Profundidad del canal}}{\frac{Q}{2}} \quad \text{Ec (22)}$$

Ecuación 22. Tiempo de retención cámara desarenadora.

Tomado de Romero Rojas (2000) Pp. 301.

Donde

Q = Caudal Máximo Horario

$$TR = \frac{0,50 \text{ m} * 2\text{m} * 0,50 \text{ m}}{\frac{0,03548 \text{ m}^3/\text{s}}{2}}$$

$$TR = 28,18 \text{ S}$$

### Velocidad horizontal

$$V_H = \frac{Q}{A} \text{ Ec (23)}$$

Ecuación 23. Cálculo velocidad horizontal

Donde

A= Área de la sección,  $0,25 \text{ m}^2$

Q= Caudal promedio<sup>5</sup>

$$V_H = \frac{849,491 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{0,25 \text{ m}^2} = 3400 \frac{\text{m}}{\text{día}} = 0,039 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

### Carga superficial

Para el cálculo del área superficial el caudal se debe dividir teniendo en cuenta que hay dos unidades desarenadoras

$$CS = \frac{Q/2}{\text{Área superficial}} \text{ Ec (24)}$$

Ecuación 24. Cálculo carga superficial

Donde

Área superficial = Longitud \* Ancho

$$CS = \frac{424,74 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{1 \text{ m}^2} = 424 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$$

En la sección 13.4 se hizo la comparación de los valores calculados con los criterios establecidos en la norma además de exponer las recomendaciones para mejorar el funcionamiento del sistema.

#### 13.2.2.4 Verificación del tratamiento biológico de lodos activados en la PTAR

Para verificar el diseño del tratamiento biológico de la planta, se emplearon las expresiones para el modelo de lodos activados completamente mezclado, sin recirculación, utilizando valores cinéticos típicos obtenidos de la literatura según Metcalf & Eddy (1996). Los coeficientes cinéticos se corrigieron a partir de la temperatura promedio con valores típicos calculados en la *ecuación 12*, como se detalló previamente. Se consideró la temperatura promedio registrada durante los monitoreos realizados en mayo y noviembre de 2023, cuyos valores están disponibles en la Tabla 14 y se pueden consultar en el anexo 5 y 3. Posteriormente, se aplicó la *ecuación 12* para evaluar el impacto de la temperatura en los coeficientes cinéticos de lodos activados, y los resultados se presentan en la *Tabla 15*.

#### Tabla 14.

---

<sup>5</sup> Véase anexo 11

Valores promedio de temperatura agua residual afluyente

Promedio T °C mayo 2023	Promedio T °C noviembre 2023
18,04 °C	17,99°C

Elaboración propia

**Tabla 15.**

Valores coeficientes cinéticos para corrección por temperatura

Coeficiente	Unidades	Intervalo		Típico	Valor adaptado	Corrección° May	Corrección T° Nov
$\mu_{\text{máx}}$	dia-1	2	10	5	5	<b>4,38</b>	<b>4,37</b>
KS	mg/L DBO5	25	100	60	100	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>
Y	mg SSV/mg DBO5	0,4	0,8	0,6	0,6	<b>0,525</b>	<b>0,600</b>
kd [ke]	dia-1	0,0025	0,02	0,1	0,1	<b>0,093</b>	<b>0,050</b>

Adaptada de Metcalf & Eddy, 1996.

Teniendo en cuenta la verificación del tanque de homogeneización, se utilizó la información del mes de mayo, considerado el peor escenario según los datos proporcionados. Para este cálculo, también se emplearon los coeficientes obtenidos del promedio de temperatura de dicho mes.

En relación con la aplicación de la cinética del crecimiento y la eliminación de sustrato en el tratamiento biológico, es esencial tener en cuenta que el sistema de tratamiento biológico en la PTAR Vereda Roza tiene un sistema de operación en una graduación de 8 horas alternando el proceso de aireación y sedimentación entre los tanques para balancear la producción de lodos. El sistema puede funcionar de forma manual o automática, controlando el ciclo de aireación, sedimentación, y las válvulas de entrada y salida para cada tanque. El aireador opera intermitentemente, modulando su aporte de oxígeno en función de los niveles de oxígeno en la zona de aireación. La profundidad del aireador y el nivel de agua se regulan para optimizar la aireación y minimizar el consumo de energía. La concentración de lodos se controla diariamente para mantener un equilibrio óptimo y extraer lodos cuando sea necesario (Véase anexo 1).

Por lo anterior, basándose en los criterios de diseño dados por EPA, 1996, el modelo operativo del reactor que alterna entre aireación y sedimentación permite que, al operar un número infinito de ciclos ya que no es especificado en el manual de operaciones, el Reactor Secuencial por Lotes (SBR) funcione como un reactor de continuo. Este modo de operación es equivalente a un reactor de mezcla completa o flujo continuo por lo que en este apartado se han evaluado los criterios de diseño del volumen requerido para el reactor a partir de estos dos conceptos.

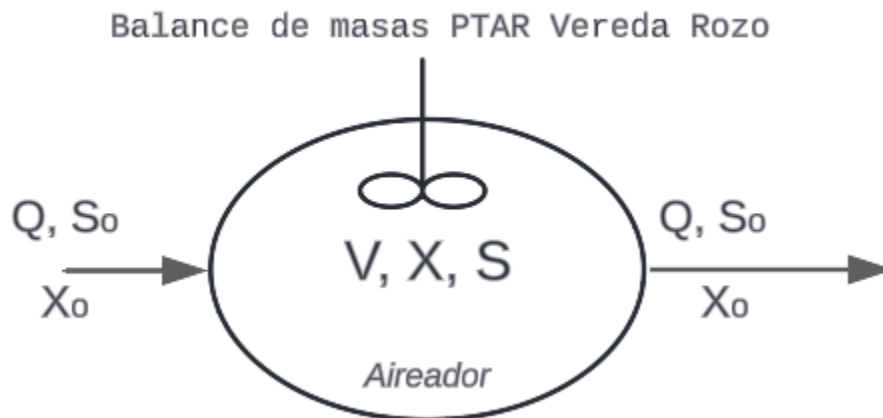
Según Metcalf & Eddy (1996) y la EPA (1996), los parámetros de diseño más comunes en sistemas de lodos activados incluyen la carga volumétrica, la relación alimento-microorganismo (F/M) y el tiempo de retención hidráulico. Estos parámetros son fundamentales y aplicables a diversas configuraciones de este tipo de tratamiento biológico, lo que justifica su uso en el análisis de esta sección para calcular el tiempo de retención hidráulico del reactor de lodos activados. Este tiempo se determinó a partir de los coeficientes cinéticos y la DBO esperada en el efluente.

### Verificación volumen reactor

A continuación, el sistema empleado para realizar el análisis.

**Figura 9.**

*Representación esquemática de un reactor de mezcla completa sin recirculación*



*Nota. Balance de masa para microorganismos y sustrato. Elaboración propia. Adaptado de Metcalf & Eddy, p 427.*

Asimismo, como lo representado en el gráfico anterior se puede establecer el balance de masas para microorganismos y sustrato en el reactor de mezcla completa planteado de manera simplificada en el siguiente apartado.

$$\text{Acumulación} = \text{Entrada} - \text{Salida} + \text{Crecimiento neto}$$

Tomada de Metcalf & Eddy, 1996, p 427.

A partir de la información anterior se realizó un balance de masas a partir del cual se verificó el volumen del reactor de lodos activados completamente mezclado.

$$\theta = QX_0 - QX + \left(\frac{Q \cdot S}{X}\right) \text{ Ec (25)}$$

Ecuación 25. Cálculo para la biomasa en E.E

El cálculo de tiempo de retención hidráulico se obtuvo mediante el despeje de la ecuación obteniendo como resultado la ecuación 26.

$$\frac{1}{\theta} = \frac{\mu_{max} S}{K_s + S} - K_d \text{ Ec (26)}$$

Ecuación 26. Cálculo del valor de retención hidráulica

Donde el DBO de salida se calcula en la ecuación 27 teniendo en cuenta que la eficiencia en un reactor de mezcla completa de lodos activados debe ser del 85% según la literatura (Reynolds, 1996, p 429).

$$S_{final} \leq S_o - (S_o * 0,85) \text{ Ec (27)}$$

Ecuación 27. Determinación DBO esperado

$$S_{final} \leq 129 \frac{mg}{L} - (129 \frac{mg}{L} * 0,85)$$

$$S_{final} \leq 19,65 \approx 20$$

De modo que el resultado del tiempo de retención hidráulico a partir de la ecuación 26 teniendo en cuenta el  $S$  efluente que debería resultar del proceso de tratamiento es calculado en la ecuación 27 y está en función a las condiciones de temperatura actuales en la PTAR.

$$\frac{1}{\theta} = \frac{4,38 * 20}{100 + 20} - 0,093^6$$

$$\frac{1}{\theta} = 0,73$$

$$\theta = \mathbf{1,369 \text{ días}}$$

$$\theta = \mathbf{32,856 \text{ horas}}$$

Por lo cual la determinación del volumen del reactor se da teniendo en cuenta la siguiente fórmula

$$\theta = \frac{V}{Q} \text{ Ec (28)}$$

Ecuación 28. Volumen del caudal reactor completamente mezclado  
Tomada de Metcalf & Eddy, 1996.

$$V = 849,312 \frac{m^3}{dia} * 1,369 \text{ días}$$

$$V = \mathbf{1162,7 m^3}$$

---

<sup>6</sup> Véase anexo 12

El volumen requerido para el reactor completamente mezclado a partir de la DBO afluente y la eficiencia de remoción esperada es de  $1162,7m^3$ .

En tal sentido el volumen para un reactor SBR está dado en la siguiente ecuación tomado de los criterios de diseño de Environmental Protection Agency (EPA, 1996).

$$Vr_{(SBR)} = \frac{Q_o * S_o}{\left(\frac{F}{M}\right) * X} \text{ Ec (29)}$$

Ecuación 29. Cálculo volumen reactor SBR

Donde

$Q_o$  = Caudal de entrada

$S_o$  = DBO afluente

$\frac{F}{M}$  = Relación alimento/microorganismo<sup>7</sup>

$X$  = MLSS, 4000 mg/L<sup>8</sup>

$$\frac{F}{M} = \frac{S_o}{\theta X} \text{ Ec (30)}$$

Ecuación 30. Relación alimento/Microorganismo  
Tomado de EPA, 1996.

$$\frac{F}{M} = \frac{129 \frac{mg}{L}}{1,369 \text{ días} * 4000 \frac{mg}{L}} = 0,0235 d^{-1}$$

Reemplazando F/M en la ecuación 29 el volumen necesario del reactor SBR se muestra a continuación.

$$Vr_{(SBR)} = \frac{849,312 \frac{m^3}{día} * 129 \frac{mg}{L}}{0,0235 d^{-1} * 4000 \frac{mg}{L}}$$

$$Vr_{(SBR)} = 1165,5 m^3$$

Para los volúmenes obtenidos anteriormente para un reactor sea de flujo continuo o SBR en función a parámetros como temperatura, el caudal obtenido en el peor escenario y el volumen requerido para una remoción eficiente se pueden ver comparados en la tabla 17 con el volumen real del reactor tomado de los planos entregados por EMSERCOTA S.A.S.

### Tabla 16.

<sup>7</sup> Calculado con el tiempo de retención hidráulico que debería tener el reactor de lodos activados para cumplir una eficiencia de remoción de contaminantes de un 85% mínimo

<sup>8</sup> Valor asumido para cumplir los requerimientos de la resolución 0330 de 2017.

*Datos de volumen del reactor real*

<b>Cálculo volumen real reactor de mezcla completa</b>		
Largo	13,5	m
Ancho	13,5	m
Profundidad	3,9	m
<b>Volumen real</b>	<b>710,775</b>	<b>m<sup>3</sup></b>

Ver anexo 8 y 9.

**Tabla 17.**

*Comparación entre volumen de reactores*

<b>Volumen real</b>	<b>Volumen reactor mezcla completa</b>	<b>Reactor SBR</b>
<b>710,775 m<sup>3</sup></b>	<b>1162,7 m<sup>3</sup></b>	<b>1165,5 m<sup>3</sup></b>

Tabla 20. Comparación entre volumen de reactores  
Elaboración propia

Considerando la información presentada en la tabla 20 se observa que para garantizar la eficiencia operativa del reactor y lograr una remoción de DBO superior al 85% para cumplir con los requerimientos mínimos de remoción de DBO para este proceso es necesario un volumen mayor para el reactor de lodos activados (Reynolds, T. 1996).

Del mismo modo, al proyectar el caudal hacia 2049, el volumen necesario del reactor aumenta significativamente a 8259,60 m<sup>3</sup> para el caso de mezcla completa. Este hallazgo sugiere que el reactor no será funcional para el periodo de diseño, como se demuestra en el siguiente análisis detallado.

$$V_{(2049)} = 6033 \frac{m^3}{dia} * 1,369 \text{ días}$$

$$V_{(2049)} = 8259,60 m^3$$

La muestra de cálculo anterior indica que el volumen actual del reactor de mezcla completa no satisface las dimensiones necesarias para asegurar un funcionamiento óptimo y una eliminación eficaz de contaminantes. Esto es especialmente crítico ya que se espera que la PTAR alcance una eliminación mínima del 85% de DBO. Además, no se identificaron en los planos proyectos de ampliación de la planta a futuro.

### 13.2.2.5 Verificación de equipos de mezclado

En la siguiente sección, se llevan a cabo los cálculos necesarios para evaluar el diseño de aireación del reactor. Este análisis tiene como objetivo determinar la eficiencia adecuada del equipo para cumplir con las condiciones de oxígeno necesario en el proceso biológico y para contribuir a la remoción efectiva de contaminantes.

#### Cálculo de la demanda bioquímica de oxígeno

La demanda bioquímica de oxígeno soluble en el reactor, con las condiciones esperadas, para cumplir con la remoción de la materia orgánica biodegradable, se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$\text{Masa de } DBO_L \left(\frac{kg}{d}\right) = \frac{Q * (S_o - S) * (10^3 \frac{g}{kg})^{-1}}{f} \text{ Ec (31)}$$

Ecuación 31. Determinación de la masa de oxígeno  
Tomada de Metcalf & Eddy, 1996.

Donde:

Q: Caudal

So: DBO afluente

S: DBO efluente

f: Factor de conversión

Asumiendo que el factor de conversión de  $DBO_5$  en  $DBO_L$  es 0,68

$$\text{Masa de } DBO_L \left(\frac{kg}{d}\right) = \frac{849,312 \frac{m^3}{dia} * (129 \frac{mg}{L} - 20 \frac{mg}{L}) * (10^3 \frac{g}{kg})^{-1}}{0.68} = 136,14 \frac{Kg}{dia}$$

Tomado de Metcalf & Eddy, 1996.

La cantidad prevista de oxígeno debe ser suficiente para cumplir con las demandas respiratorias de los microorganismos presentes en el lodo, asegurando al mismo tiempo una mezcla adecuada y una concentración mínima de oxígeno disuelto en todo el tanque de aireación (Metcalf & Eddy, 1996).

#### Producción de lodos activados

Para este cálculo se determinó inicialmente el coeficiente real de lodos a purgar

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + k_d \theta} \text{ Ec (32)}$$

Ecuación 32. Producción de sustrato observada  
Tomado de Metcalf & Eddy, 1996.

$$Y_{obs} = \frac{0,525 \text{ mg/mg}}{1 + \left(\frac{0,093}{d} * 1,369 d\right)}$$

$$Y_{obs} = 0,466$$

De este modo la producción de lodos activados para el caso en el que el sustrato soluble ( $S$ ) en el efluente fuera el esperado se calculó a partir de la siguiente ecuación.

$$P_x = Y_{obs} * Q * (S_o - S) * \left(1 * 10^3 \frac{g}{Kg}\right)^{-1} \text{ Ec (33)}$$

Ecuación 33. Producción de lodos  
Tomado de Metcalf & Eddy, 1996.

$$P_x = \frac{0,466 * 849,312 \frac{m^3}{dia} * \frac{(129 - 20) \text{ mg}}{L}}{1000 \frac{g}{Kg}}$$

$$P_x = 43,14 \frac{Kg}{dia}$$

### Cálculo para el oxígeno requerido en el aireador

De modo que el oxígeno necesario para mantener buenas condiciones en el tanque de aireación, donde se demuestre un suministro adecuado de aire se calculó a partir de la ecuación 34 reemplazando el valor obtenido en la ecuación 31 y 33.

$$Kg O_2/d = DBO_L - 1,42 * P_x \text{ Ec (34)}$$

Ecuación 34. Necesidad de oxígeno  
Tomada de Metcalf & Eddy (1996).

$$Kg O_2/d = 136,14 \frac{Kg}{dia} - \left(1,42 * 43,14 \frac{Kg}{dia}\right)$$

$$Kg O_2/d = 74,88 \frac{kg}{dia}$$

$$Kg O_2/hora = 3,12 \frac{kg}{hora}$$

$$Kg O_2/seg = 0,0008667 \frac{kg}{seg}$$

## Verificación del aireador mecánico

De acuerdo a Metcalf & Eddy, 1996. La creación del ambiente aeróbico óptimo en el reactor se logra a través de la implementación de difusores o aireadores mecánicos. Estos equipos son responsables de mantener el licor de mezcla con los requerimientos de oxígeno necesarios, lo que facilita la generación de nuevas células mientras las antiguas después del proceso se sedimentan por tal razón se procede a hacer la verificación de la potencia del aireador mecánico actual.

### Potencia del aireador mecánico

El aireador superficial por cada HP de potencia genera  $1,27 \text{ Kg } O_2 / \text{hora}$  De modo que la potencia requerida del aireador mecánico superficial es de 2,46 HP (Crites Tchobanoglous, 2000, p 409).

$$HP = 3,12 \frac{\text{Kg } O_2}{\text{hora}} * \frac{1 \text{ HP}}{1,27 \frac{\text{Kg } O_2}{\text{hora}}} = 2,46 \text{ HP}$$

Lo anterior indica que la potencia del aireador mecánico con el que cuenta la PTAR Vereda Roza es suficiente para la remoción de materia orgánica biodegradable, de acuerdo a lo encontrado en el Manual de Operaciones de la planta donde se evidencia que los aireadores superficiales mecánicos actuales de referencia RN 5512 tienen una potencia de 30 HP.

### Potencia requerida para el compresor de aire difuso

En el siguiente apartado, se presenta la fórmula de la potencia requerida por un aireador difuso o un compresor, que se considera más adecuada para la PTAR Vereda Roza. Esto se debe a que proporciona una reducción en la demanda de potencia, al tiempo que cumpliría con el caudal de oxígeno necesario para garantizar la eficiencia en la remoción de los contaminantes.

$$P = \frac{WRT}{8,41 * E} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{0,283} - 1 \right] \text{ Ec (35)}$$

Ecuación 29. Cálculo de potencia  
Tomada de Romero R, 2000, pp 408

Donde

W= Caudal de Oxígeno requerido. Kg/s

R: Constante de los gases para aire, 8,314 kJ/ mol °K

$\frac{P_2}{P_1}$  = Relación entre presión final y presión inicial de la succión del gas =1,1

T = Temperatura ambiental, 19°C en Cota

E = Eficiencia fraccional del compresor, 0,70 - 0,90

$$P = \frac{0,0008607 * 8,314 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}^\circ\text{K}} * 292,15^\circ\text{K}}{8,41 * 0,7} \left[ (1,1)^{0,283} - 1 \right]$$

$$P = 9,709 \cdot 10^{-3} \text{ kW}$$

$$P = 0.030 \text{ HP}$$

Esto sugiere que, para suministrar la cantidad de aire requerida para la reacción, se requiere un sistema de aireación con la potencia calculada mediante la ecuación 29, la cual demuestra que el consumo de energía es menor con los difusores en comparación con los aireadores superficiales mecánicos.

Lo anterior teniendo en cuenta que dentro de las ventajas de implementar sistemas de aireadores difusos se encuentra que estos consumen aproximadamente la mitad de energía. También ofrecen mayor transferencia de oxígeno debido al aumento de área superficial de contacto entre las dos fases (aire/agua). Como se evidenció en los cálculos previos, esta reducción en el consumo de energía con los aireadores difusos conlleva a un ahorro de energía.

### ○ 13.3 Resultados objetivo 2

El capítulo a continuación se basa en la información recolectada por la empresa a cargo del funcionamiento de la planta sobre los monitoreos realizados a la planta de tratamiento de aguas residuales y el análisis de las muestras tomadas por el autor para calcular las eficiencias en la remoción de los contaminantes en estos 3 escenarios en la remoción de biomasa.

#### ■ 13.3.1 Diagnostico de parámetros físico químicos y microbiológicos

Para el análisis de eficiencia en la remoción de contaminantes se aplicó la siguiente fórmula:

$$E = \frac{(S_o - S)}{S_o} \times 100 \text{ Ec. (36)}$$

Ec. (36) Eficiencia de remoción de contaminantes.

Tomado de Romero Rojas, 2000. pp 272

Donde:

$E$  = Eficiencia de remoción de carga contaminante (%)

$S$  = concentración contaminante del efluente (mg/L)

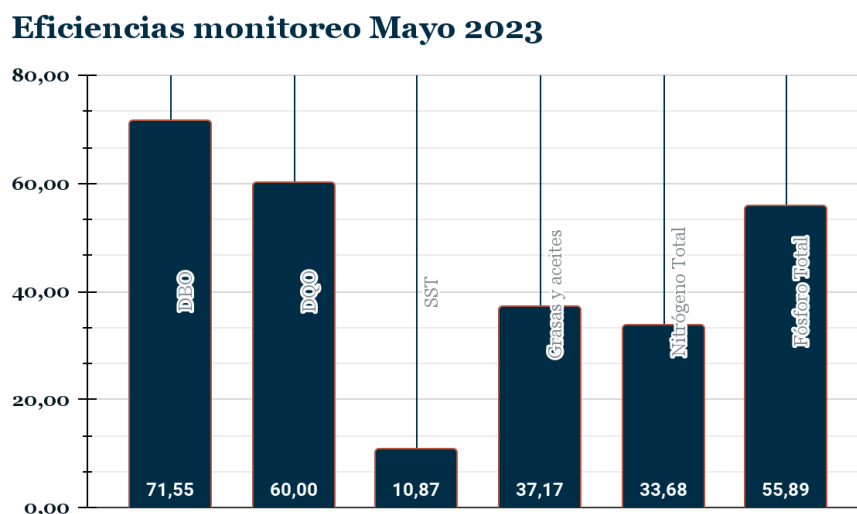
$S_o$  = concentración contaminante del afluente (mg/L)

El análisis se basó en los últimos monitoreos realizados uno en mayo del 2023 y el otro en noviembre del mismo año como se había mencionado anteriormente. Por parte del autor se realizó un muestreo en campo a partir del cual se obtuvo un tercer resultado para hacer un análisis más completo de la eficiencia de la planta.

### 13.3.1.1 Monitoreo mayo 2023

En la figura 10 se puede observar los datos de los parámetros obtenidos en el monitoreo de mayo donde se calcula la eficiencia a partir de la ecuación 36.

**Figura 10.**  
*Eficiencias de remoción de contaminantes mayo 2023.*



Elaboración propia  
Ver Anexo 2

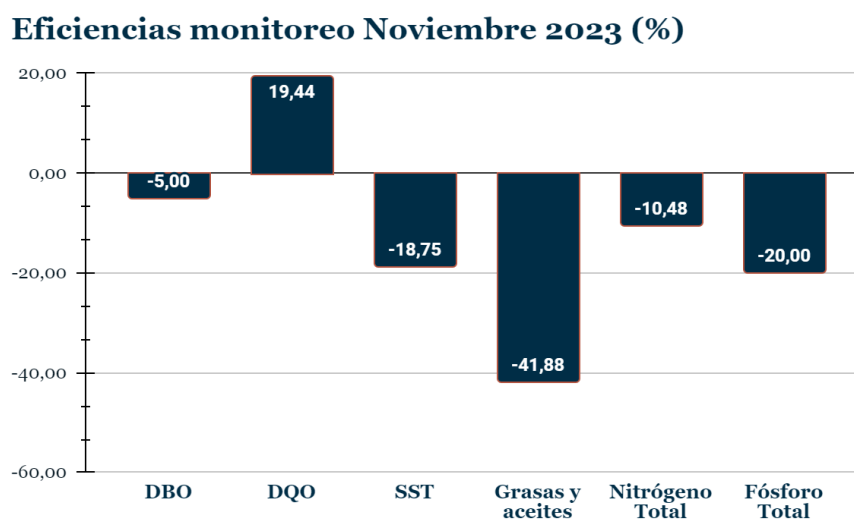
En la figura 10. Se evidencia que la mayor eficiencia obtenida fue en el parámetro de DBO lo que concuerda con la teoría según Romero, 2000, que indica que los tratamientos biológicos de tipo aerobio, suspendido logran la mayor remoción en la disminución de la Demanda Biológica de oxígeno debido a que este proceso supone una remoción de contaminantes mediante el aprovechamiento de sustancias orgánicas biodegradables, coloidales o disueltas del agua residual.

### 13.3.1.2 Monitoreo noviembre 2023

En la figura 11 se observan las eficiencias calculadas para el monitoreo de noviembre en el 2023.

#### Figura 11.

*Eficiencias de remoción de contaminantes noviembre 2023.*



Elaboración propia  
Ver Anexo 3

Para la figura 11 se evidencia que las eficiencias resultan negativas teniendo en cuenta que el proceso no presenta un curso de desnitrificación completo de manera que cuando hay aireación aumenta la producción de nitratos en vez de disminuir, en este contexto, es válido resaltar que la nitrificación y desnitrificación son procesos claves en el tratamiento de aguas residuales. La nitrificación es un proceso aerobio donde el amonio se convierte primero en nitrito y luego en nitrato, involucrando bacterias con metabolismo anóxico (Tchobanoglous, 2000, p 384). En cambio, la desnitrificación es el proceso donde el nitrato si completa el ciclo debería reducirse a nitrógeno molecular, un proceso anaerobio que depende de la materia orgánica disponible, como la DBO o la DQO, para proveer los electrones necesarios (Orozco, 2014, pp 316).

Según Orozco (2014) para los sistemas de lodos activados, es crucial que haya suficiente materia orgánica para que la desnitrificación sea completa puesto que si la proporción de biomasa (DBO o DQO) es menor que la de nitrato, el nitrato no se reducirá completamente a nitrógeno molecular. Esto puede llevar a la acumulación de nitritos o incluso óxido nitroso, un gas tóxico para la atmósfera.

Debido a que una gran parte de la DQO se elimina en el tanque de aireación como se evidencia en los resultados presentados en la figura 11, a menudo no hay suficiente materia orgánica disponible para una desnitrificación eficaz. Este desbalance puede causar un aumento en los compuestos de nitrógeno tales como nitrato o a emisiones de óxido nitroso a la atmósfera, un aspecto preocupante

dado que la regulación actual no limita lo que se libera al aire, lo que podría resultar contraproducente al limpiar el agua, pero contaminar la atmósfera (Orozco, 2014).

Teniendo en cuenta lo anterior es importante destacar que la adecuada comprensión del ciclo del nitrógeno y las condiciones ambientales de los microorganismos es vital para manejar estos procesos de manera que se minimicen los residuos y se maximice la eficacia del tratamiento. Por lo tanto, se recomienda monitorear y ajustar las condiciones del proceso para asegurar la reducción eficiente de contaminantes inorgánicos y prevenir problemas tanto en el tratamiento de aguas como en el impacto ambiental mediante una evaluación estequiométrica inicial que evalúe que la carga orgánica de DBO y DQO sea suficiente para el proceso de nitrificación y desnitrificación.

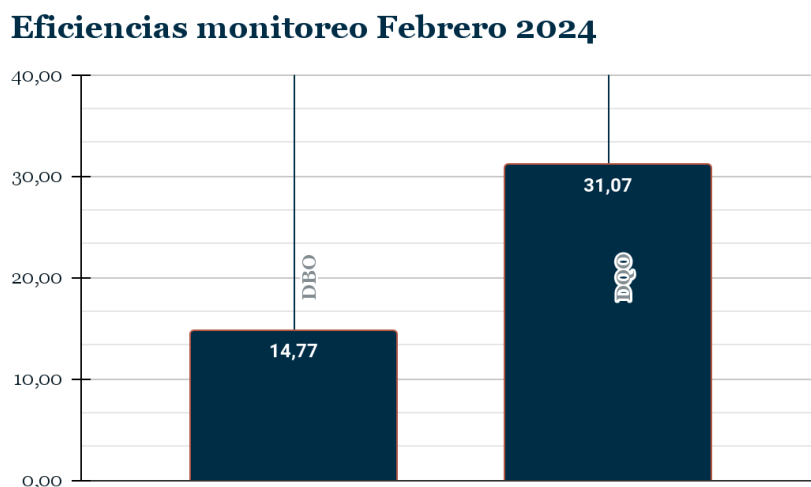
### 13.3.1.3 Monitoreo febrero 2024

A continuación, se evidencian los resultados de eficiencia obtenidos a partir de la visita de campo realizada el 20 de febrero a la PTAR y analizada en el laboratorio de la Universidad El Bosque.

El muestreo fue realizado a las 10:30 am y con un clima soleado y los análisis realizados fueron para parámetros como DBO y DQO esto teniendo en cuenta que la remoción de biomasa es de los parámetros más regulados por la normativa colombiana y con base en los cuales se realizó el diagnóstico para la eficiencia respecto a la remoción de contaminantes.

#### Figura 12.

*Eficiencias de remoción de contaminantes febrero 2024.*



*Nota. Se evidencia la comparación de DQO y DBO para el muestreo propio. Ver Anexo 13*

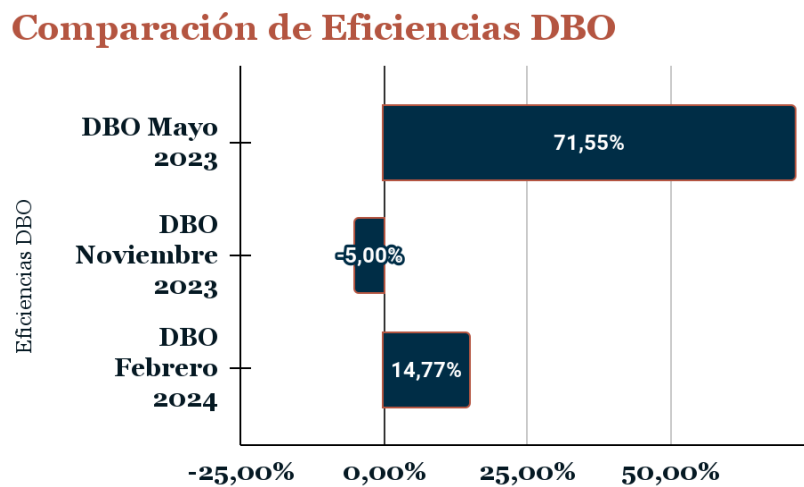
La figura 12 muestra las eficiencias de biomasa, indicando nuevamente que la remoción de los contaminantes no fue efectiva y el tratamiento biológico en la planta no cumple con su objetivo para la remoción de DBO y DQO. y es muy inferior al 85% esperado mínimamente.

### 13.3.1.4 Análisis comparativo entre los monitoreos de EMSERCOTA y muestras propias

Teniendo en cuenta el análisis de resultados obtenidos anteriormente a continuación se pueden evidenciar las eficiencias de los parámetros comparando los 3 monitoreos realizados en la PTAR como un resumen diagnóstico de remoción de contaminantes a lo largo del tratamiento actual en la planta.

**Figura 13.**

*Comparación eficiencia de remoción en los 3 monitoreos realizados*

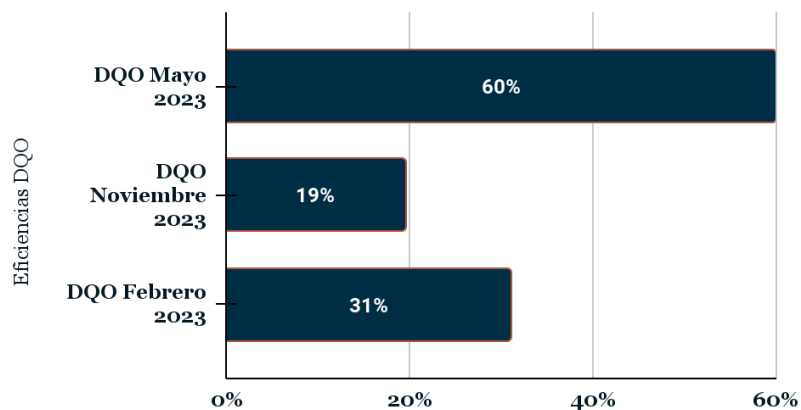


*Nota. Se evidencia un comparativo de remoción de DBO en los 3 periodos evaluados. Elaboración propia*

**Figura 14.**

*Comparación eficiencia de remoción DQO en los 3 monitoreos realizados*

## Comparación Eficiencias DQO



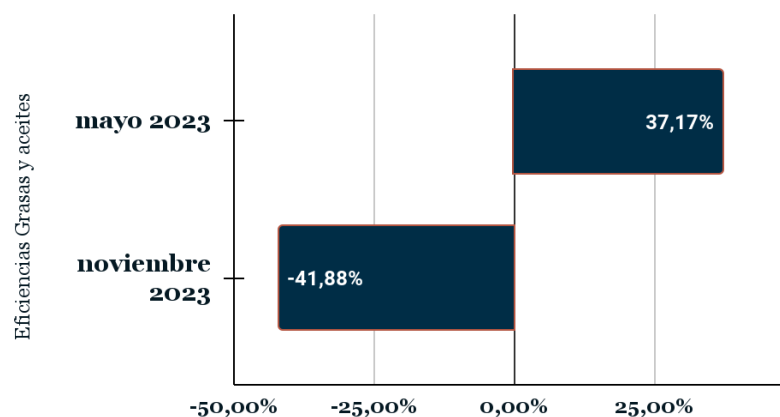
*Nota. Se evidencia un comparativo de remoción de DQO en los 3 periodos evaluados. Elaboración propia*

En la figura 13 y 14 se pueden observar las remociones para DBO y DQO, en este caso la investigación se centró en la remoción de biomasa teniendo en cuenta que, para los criterios de diseño en Colombia respecto al tratamiento de aguas residuales domésticas, en este caso, los esfuerzos de remoción se centran en estos parámetros según la resolución 0631 de 2015. Por lo anterior se evidencia que, aunque las mayores remociones se evidencian en el mes de mayo del 2023 de igual manera no se cumple con la remoción mínima esperada como se había mencionado anteriormente, y por el contrario para el monitoreo de noviembre del 2023 se evidencia que el agua efluente respecto a la DBO salió más contaminada, esto según el informe entregado por la planta y realizado en un laboratorio verificado (Véase anexo 5)

### Figura 15.

*Comparación eficiencia de remoción de grasas y aceites en los 3 monitoreos realizados*

## Comparación Eficiencias Grasas y aceites



*Nota. Se evidencia un comparativo de remoción de grasas y aceites en los 2 informes entregados por la entidad encargada de la planta.*

En la figura 15 se evidencia el escenario de grasas y aceites, donde la remoción no es eficiente por lo cual la presencia de estas en relación al tratamiento de biomasa puede afectar el proceso y evitar su eliminación (Tchobanoglous, 2000). Esto sugiere una relación con las bajas eficiencias evidenciadas para DBO y DQO en los escenarios expuestos anteriormente de modo que, en el siguiente capítulo se revisará el cumplimiento de las características de la unidad para la remoción de grasas y aceites.

### ○ 13.4 Resultados objetivo 3

A continuación, se hará la comparación entre los resultados obtenidos y analizados en los capítulos anteriores con los criterios de diseño de la PTAR y las eficiencias de remoción de contaminantes. Esta comparación se hará en relación con la normativa de vertimientos vigente y otras normas compiladas a partir del Reglamento Técnico de Agua y Saneamiento Básico (RAS, 2000). Se realizará un análisis detallado para evaluar el cumplimiento de los estándares de calidad y proponer recomendaciones para mejorar la eficiencia del tratamiento de cada una de las operaciones unitarias encontradas dentro de la planta.

#### 13.4.1 Comparación normativa trampa de grasas

Los valores comparados en la siguiente tabla se tomaron de la información suministrada por la empresa a cargo de la operación en la planta (Véase anexo 1)

**Tabla 18.**

*Comparación del diseño de la trampa de grasas*

Parámetro	Valor	Unidades	Valor establecido	Norma	Cumplimiento
Tiempo de retención hidráulico	10	minutos	2,5	Resolución 0330 de 2017, Artículo 172	SI
Relación largo: ancho	2:1	N/A	1:1 a 3:1		SI
Profundidad	3,70	metros	> 0,35		SI

útil					
------	--	--	--	--	--

Tomado de la Resolución 0330 de 2017.

### 13.4.2 Comparación normativa diseño del desarenador

Los valores analizados en la siguiente tabla se evidencian en el manual de operaciones (Véase anexo 1) además de otros valores calculados en la sección 13.2.2.3

**Tabla 19.**

*Comparación de la geometría recomendada para desarenador de flujo horizontal en el RAS 2000 con la información de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales*

Parámetro	Valor	Unidades	Valor establecido	Norma	Cumplimiento
Longitud	2	m	2m-5m	RAS Título E, pág 52.	SI
Relación Largo: Ancho	5:1	N/A	2,5:1 / 5:1		SI
Relación ancho: profundidad	0,8:1	N/A	1:1 a 5:1		NO
Número de canales	2	Unidades	Mínimo 2		SI
Tiempo de retención	28	segundos	20 segundos a 3 minutos		SI
Velocidad mínima del agua	0,039	m/s	0,2 y 0,4		NO
Carga superficial	424	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /día	700 y 1600		NO

En la Tabla 19, el cumplimiento de la normativa se realizó teniendo en cuenta la información obtenida en el RAS 2000 esto ya que la resolución 0330 de 2017 no compila información específica sobre los criterios de diseño para esta operación unitaria.

Asimismo, se observa que los parámetros relacionados con la velocidad mínima del agua y la carga superficial de sedimentación no cumplen con los estándares requeridos. Los cálculos realizados

muestran que la velocidad mínima del agua es significativamente inferior al límite establecido, lo que puede provocar la sedimentación de partículas distintas a las arenas. Esto resultaría en una acumulación excesiva de sedimentos, incrementando la necesidad de mantenimiento y mano de obra en el desarenador.

De lo anterior se puede determinar que para la operación del desarenador y mejorar la eficiencia en la remoción de arenas, se recomienda utilizar únicamente una de las unidades mientras la otra permanece libre. Esto permitiría alternar el mantenimiento entre las unidades, asegurando una gestión más eficiente de los recursos y reduciendo los riesgos de obstrucción y acumulación excesiva de sedimentos de esta manera se duplicarán estos criterios y se asemejan a la estipulado en la normativa.

### 13.4.3 Verificación de diseño del reactor de lodos activados

El siguiente análisis comparativo se dio con base en los criterios actuales<sup>9</sup>, los valores de tiempo de retención hidráulico, F/M, carga volumétrica, se pueden verificar en el anexo 14, mientras que los datos de SSLM y SSVLM tomados para la comparación se evidencian en las condiciones actuales de la planta consultados del Manual de Operaciones.

**Tabla 20.**

*Comparación de valores actuales de la PTAR con la reglamentación vigente colombiana.*

Parámetro	Valor	Unidad	Valores referencia completamente mezclado	Cumple	Valores de referencia reactor SBR	Cumple	Norma
Tiempo de retención hidráulico	20	Horas	3-5	NO	15-40	SI	Resolución 0330 de 2017, Artículo 193
Carga volumétrica	0,153	kg DBO5/m3/d	0,3 - 1,6	NO	0,1 - 0,3	SI	
Relación F/M (Alimento microorganismo)	0,022	$d^{-1}$	0,2 - 0,6	NO	0,04 - 0,1	NO	
SSLM	3000	mg/L	3000 - 6000	SI	2000 - 5000	SI	

<sup>9</sup> En los anteriores capítulos los valores calculados son diferentes teniendo en cuenta que son los estimados para una correcta remoción de contaminantes.

(Sólidos suspendidos en él Licor de mezcla)							
SSVLM (Sólidos suspendidos volátiles en él licor de mezcla)	2000	mg/L	1,500 - 4,000	SI	2,000 - 5,000	SI	

Elaboración propia

En la Tabla 20 se observa que, aunque la planta cumple principalmente con los parámetros establecidos para un reactor SBR, existen discrepancias significativas con respecto a las normas de diseño y operación. Según Orozco (2014), este tipo de reactores debe operar al menos cinco ciclos diarios; sin embargo, actualmente sólo se realizan tres. Adicionalmente, la Resolución 0330 de 2017 estipula que los reactores SBR deben estar equipados con aireadores difusos, requisito que la planta tampoco cumple. Esto subraya la necesidad de una evaluación exhaustiva de los tiempos de operación y la infraestructura del reactor de lodos activados para asegurar el cumplimiento normativo y la eficiencia del tratamiento.

#### 13.4.4 Verificación de la caracterización del afluente y efluente de la PTAR

Los valores comparados en las siguientes tablas surgen de los monitoreos para mayo 2023, noviembre 2023 y febrero 2024, se pueden evidenciar en los anexos 3, 5 y 13 respectivamente donde se encontrarán los cálculos e imágenes de verificación.

**Tabla 21.**

*Comparación de los resultados de contaminantes con los límites máximos permisibles por la norma*

Parámetro	Unidades	Límites resolución 0330 de 2017. Art 169	Concentraciones monitoreo			Cumple	
			Mayo		% Eficiencia de remoción	Si	No
			Afluente	Efluente			
DBO	mg O <sub>2</sub> /L	90	129	36,7	71,55%	X	
DQO	mgO <sub>2</sub> /L	180	368,64	147,46	60,00%	X	
Grasas y aceites	mg AyG/L	20	41,78	26,25	37,17%		X

pH	Unidades	6,00 - 9,00	6,69-8,26	6,84-8,25	N/A	X	
Sólidos sedimentables	ml SS/L	5	0,3-3,4	0,5-1,5	55,88%		X
SST	mg-SST/L	90	72,04	64,21	10,85%	X	
Nitrógeno total	mg/L	12	54,04	35,84	33,68%		X
Nitratos	mg NO <sub>2</sub> -/L	Análisis y reporte	33,5	24,2	27,76%		
Fósforo total	mg P/L	Análisis y reporte	4,92	2,17	55,89%		

En la *Tabla 21* se muestra que la planta cumple con los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 0330 de 2017 para los parámetros de DBO, DQO, pH y SST. Sin embargo, la remoción eficiente de biomasa es inferior al mínimo requerido del 85%. En cuanto a los compuestos inorgánicos, aunque se alcanzan los límites permisibles de nitrógeno total, la eficiencia de remoción de nitratos y fósforo si cumple con los estimados de remoción con valores entre el 15-50% y el 10-25%, respectivamente (Romero R, 2000).

**Tabla 22.**

*Comparación de los resultados de contaminantes con los límites máximos permisibles por la norma*

Parámetro	Unidades	Límites resolución 0330 de 2017. Art 169	Concentraciones monitoreo			Cumple	
			Noviembre		% Eficiencia de remoción	Si	No
			Afluente	Efluente			
DBO	mg O <sub>2</sub> /L	90	60	63	-5,00%		X
DQO	mgO <sub>2</sub> /L	180	225,88	181,96	19,44%		X
Grasas y aceites	mg AyG/L	20	8	11,35	-41,88%		X
pH	Unidades	6,00 - 9,00	6,69 - 7,24	6,74 - 7,57	N/A	X	
Sólidos sedimentables	ml SS/L	5	<0,1-0,4	<0,1-0,1	75%	X	
SST	mg-SST/L	90	32	38	-18,75%	X	

Nitratos	mg NO <sub>2</sub> -/L	Análisis y reporte	8,6	5	41,86%		X
Nitrógeno total	mg P/L	N. E	34,72	38,36	-10,48%		X
Fósforo total	mg P/L	Análisis y reporte	1	1,2	-20,00%		X

Respecto a los límites permisibles evidenciados en la *Tabla 22*. se evidencia que los parámetros de pH, Sólidos Sedimentables y SST si cumplen con lo requerido, aunque las eficiencias en su remoción son inferiores a los rendimientos obtenibles en los procesos de tratamiento, puesto que para Sólidos sedimentables la remoción debe ser entre 80-90%, DBO y DQO 85-95%.

En el caso del proceso de desnitrificación esperado, la cantidad de nitratos si disminuye lo que indica que hubo una conversión a nitrógeno gaseoso como se espera más el aumento de Nitrógeno Total puede deberse a un proceso ineficiente de nitrificación lo que condujo a la acumulación de otras formas de nitrógeno como nitritos (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) que son intermediarios en la conversión de amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) a nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) (Tchobanoglous G, 2000).

**Tabla 23.**

*Comparación de los resultados de contaminantes con los límites máximos permisibles por la norma*

Parámetro	Unidades	Límites resolución 0330 de 2017. Art 169	Concentraciones monitoreo			Cumple	
			Resultados UEB		% Eficiencia de remoción	Si	No
			Afluente	Efluente			
DBO	mg O <sub>2</sub> /L	90	199	169,6	14,77%		X
DQO	mgO <sub>2</sub> /L	180	309	213	31,07%		X
pH	Unidades	6,00 - 9,00	7,22	7,41	N/A	X	
Nitratos	mg NO <sub>2</sub> -/L	Análisis y reporte	0,01	0,06	-500,00%		

Los resultados del monitoreo realizado en febrero de 2024 muestran una remoción de biomasa, con porcentajes de reducción de DBO y DQO del 14,77% y 31,07%, respectivamente. Sin embargo, estos valores no cumplen con los límites permisibles establecidos para estos contaminantes, lo que sugiere que la eficiencia del tratamiento biológico en la planta de lodos activados no alcanza los estándares mínimos requeridos.

En cuanto a los nitratos, se analizaron los niveles tanto en el afluente como en el efluente, y los datos indican que hubo un proceso de nitrificación efectivo, transformando el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) en nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). En este contexto, no se logró un proceso de desnitrificación completo, que hubiera reducido los nitratos a nitrógeno gaseoso. Esto puede deberse a la falta de condiciones anóxicas necesarias para que las bacterias desnitrificantes actúen eficazmente, resultando en la acumulación de nitratos en el efluente tratado. Este resultado evidencia la necesidad de revisar y optimizar las condiciones operativas de la planta para mejorar los procesos de nitrificación y desnitrificación.

- **14. Recomendaciones de mejora para el tratamiento de aguas residuales en la PTAR Vereda Rozo**
- Con respecto a la ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), la Resolución 0330 de 2017, en su artículo 183, establece las distancias mínimas para la localización de estos sistemas. Según dicha normativa, se requiere una distancia mínima de 100 metros respecto a centros poblados para PTAR con reactor aeróbico y aireación superficial, como es el caso de la planta Vereda Rozo. Por lo tanto, se sugiere considerar la reubicación de la infraestructura, ya que actualmente se encuentra en proximidad a un centro poblado, específicamente el conjunto Amarillo, que consta de más de 20 viviendas y se ubica a menos de 50 metros de la planta. En este contexto, se recomienda la implementación de un sistema de aireación difusa, dado que, para este tipo de sistema, la distancia mínima requerida respecto a centros poblados, según la normativa, disminuye a 50 metros.
- Dada la evidencia de desbordamientos durante la temporada de lluvias, se hace necesario adoptar medidas para optimizar la capacidad del Tanque de Homogenización en la PTAR. Los datos actuales muestran que la capacidad de almacenamiento no satisface las demandas durante picos de caudal en época de lluvia, lo que compromete la eficiencia del tratamiento y potencialmente la calidad del efluente de modo que una solución viable es la expansión o construcción de un tanque de igualación de caudales adicional o la implementación de sistemas automatizados que permitan un ajuste en las dinámicas del flujo del afluente dado que la falta de capacidad del tanque pueden afectar la calidad de agua efluente en futuros escenarios.
- Según lo establecido en la Resolución 0330 de 2017, el artículo 188 sugiere que los desarenadores se ubiquen antes de la estación de bombeo. Esta disposición tiene como objetivo prevenir la acumulación de arenas que podrían dañar o interferir con las bombas, evitando así que estos compuestos interfieran en el proceso de la planta y afecten su operación asimismo se sugiere hacer uso de una sola unidad como se mencionó en la sección 1.2.2.3.

- Considerando las disposiciones del Reglamento Técnico de Agua y Saneamiento Básico, se sugiere la instalación de un sistema de aireación difusa el cual reduciría de manera significativa la potencia necesaria para operar la planta en su estado actual conduciendo un menor consumo de energía, y, por ende, un ahorro en los costos de operación además de ser lo recomendado según la literatura.
- La evaluación de las dimensiones del reactor para el tratamiento biológico en la PTAR Vereda Rozo indica que, bajo las condiciones actuales y proyectadas, el volumen del reactor es insuficiente para cumplir con los objetivos mínimos de remoción de DBO. Los cálculos realizados basados en los datos de temperatura y los coeficientes cinéticos ajustados a las condiciones reales, muestran que el volumen necesario para garantizar la eficiencia operativa y cumplir con la remoción de mínima del 85% en DBO y DQO supera el volumen actual del reactor, por lo que se debe ampliar este sistema o la construcción de una nueva línea de tratamiento que pueda llegar a tratar un mayor porcentaje de las aguas residuales del municipio de Cota, Cundinamarca garantizando así una mejor calidad de vida a los mismos además de generar un real impacto positivo al ecosistema receptor, en este caso el Río de Bogotá.
- Con la necesidad de ampliar la planta de tratamiento de aguas residuales Vereda Rozo se sugiere diseñar un tratamiento biológico con las condiciones para un reactor de mezcla completa y con recirculación de lodos, esto teniendo en cuenta que el diseño de tratamiento biológico mediante un reactor SBR es recomendable para caudales diarios inferiores a  $850m^3$  /dia (EPA,1996) teniendo en cuenta la necesidad de cumplir con el caudal para el periodo de diseño.
- La caracterización de los contaminantes realizada muestra que la eficiencia en la remoción de estos, especialmente compuestos de nitrógeno, en la PTAR Vereda Rozo es insuficiente. La falta de una desnitrificación efectiva ha resultado en la acumulación de nitrógeno total. Por lo cual se sugiere realizar un proceso de monitoreo continuo que evalúe la optimización de las condiciones del proceso ya que son esenciales para mejorar la remoción de estos parámetros y minimizar el impacto ambiental ya que el agua efluente de la PTAR se dispone en el Río de Bogotá.

## ● 15. Conclusiones

El análisis del funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Vereda Rozo, en función de los criterios de diseño, reveló deficiencias significativas en la capacidad de tratamiento. Se confirmó que la estructura actual no es adecuada para manejar el caudal y la carga orgánica de entrada, como se evidencia en los análisis fisicoquímicos realizados, asimismo los informes físico químicos indican que la PTAR no cumple con los límites permisibles mínimos según la normativa vigente, lo que podría resultar en sanciones por parte de la Corporación Autónoma Regional (CAR).

A partir del diagnóstico estructural, operativo y funcional, se han formulado recomendaciones teóricas para mejorar el desempeño de la planta. Estas incluyen el mantenimiento de las estructuras hidráulicas, la limpieza adecuada de las mismas, así como la ampliación de estas para satisfacer las necesidades futuras.

La gestión del tratamiento de aguas residuales es un proceso complejo que enfrenta desafíos para determinar las necesidades adecuadas de tratamiento y en manejar la contaminación del agua. Actualmente, la PTAR Vereda Rozo contribuye a problemas socioambientales significativos, evidenciando carencias en saneamiento que necesitan atención urgente pero el cumplimiento con las normativas ambientales no solo evitaría sanciones para el municipio, sino que también mejoraría la calidad de vida de los habitantes de Cota y la salud de los ecosistemas acuáticos cercanos, como el Río de Bogotá.

El proyecto de investigación alcanzó su objetivo general de elaborar un diagnóstico exhaustivo de la PTAR Vereda Rozo para los tratamientos primario y secundario. Se emplearon técnicas cualitativas y cuantitativas para examinar las operaciones unitarias y verificar los criterios de diseño y las condiciones operativas actuales, identificando tanto eficiencias como deficiencias.

Los objetivos específicos de analizar los parámetros de calidad del agua tratada y de evaluar el cumplimiento de las normativas y regulaciones ambientales colombianas se cumplieron satisfactoriamente. Este análisis proporcionó una visión clara de la funcionalidad actual de la PTAR y subrayó la necesidad de optimizar sus operaciones para prevenir impactos negativos en la salud pública y en el medio ambiente.

- **16. Recomendaciones**

Es fundamental garantizar una disposición final adecuada de los lodos generados en el lecho de secado y verificar el cumplimiento normativo y regulatorio aplicable a esta línea de investigación. Por lo tanto, se recomienda continuar y ampliar el proyecto, enfocándose especialmente en la investigación sobre la línea de lodos activados. El objetivo de esta ampliación será evaluar en profundidad las características y el desempeño específico de este proceso, asegurando así un manejo eficiente y conforme a la legislación vigente.

- **17. Referencias Bibliográficas**

Alcaldía de Cota, 2022. Mi Municipio. Tomado de <https://www.cota-cundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>

Arias Monsalve, Angie Fernanda. (2020). Propuesta para el mejoramiento de la planta de tratamiento de agua residual del municipio de Tibú, Norte de Santander. Universidad de La Salle, Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Recuperado el 24 de agosto del 2023.

EMSERCOTA (2014). Construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR Pueblo Viejo Municipio de Cota, Departamento de Cundinamarca, Según convenio interadministrativo Nro. 1050 de 2013 y modificatorio Nro. 01 de enero de 2014.

Hernández, Fernández y Baptista (2004), Metodología de la Investigación, México, McGraw Hill

INGESAM, 2014. Diseño PTAR Canoas. MT 3-3. Criterios de diseño y dimensiones del sistema de tratamiento seleccionado. CDM Smith

López, C., Buitron, G., Garcia, H., Cervantez, F. (2017). Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño. IWA Publishing.

Méndez, J., Carreño, F., Hernandez, H. (2011, Junio). Confiabilidad y viabilidad para la reutilización de los efluentes de las PTAR que operan con lagunas de estabilización en Cundinamarca. Universidad del Valle. Pp 35

Metcalf & Eddy. (1996). Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento, Vertido y Reutilización (Tercera Edición). Volumen I. Madrid. Editorial McGraw - Hill

Orozco, A. (2014). Bioingeniería de aguas residuales: Teoría y Diseño. Segunda Edición. ACODAL (Asociación colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental).

Peña. G., Granados, M (2019). AGENDA AMBIENTAL 2020-2031. Contrato de consultoría No. 825 de 2018

BOT. 2023. Plan Básico de Ordenamiento Territorial PBOT. Revisión general del plan básico de ordenamiento territorial - Cota. Tomado de [https://cota-cundinamarca.gov.co/SECRETARIASYENTIDADES/PBOT/DTS\\_Diagnostico\\_PBOT.pdf](https://cota-cundinamarca.gov.co/SECRETARIASYENTIDADES/PBOT/DTS_Diagnostico_PBOT.pdf)

Quispe, Marcos. (2020). Aplicaciones tecnológicas de tratamiento de aguas residuales. Ciudad de México. Capítulo 4. Editorial Voces de la educación.

Reynolds, T. 1996. Unit operations and processes in environmental engineering. Second edition. PWS publishing company. Pp. 429

Ronces Robles, Mayte Margarita. (2018). Evaluación del funcionamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales de un municipio del sureste de México. Tesis de grado. Toluca, México. Universidad Autónoma del Estado De México

Rodríguez Correa, Luis David; Llanos Jaramillo, Ketty Juliana. (2020). Plan de mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del corregimiento de Chambimbal - San Antonio municipio de Guadalajara de Buga. Recuperado el 24 de agosto del 2023.

Romero, J. (2000). Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y principios de diseño. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Tchobanoglous, G., Crites, R. (2000). Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. McGraw-Hill Interamericana S.A

- **18. Anexos**

**Anexo 1**

**Manual de operaciones (Documento anexo)**

---

REF. G01-05

**VEREDA ROZO  
COTA**

**PLANTA TRATAMIENTO AGUA RESIDUAL DOMESTICA**

**CAUDAL: 12 LPS (43.2 M3/H)**

**MANUAL DE INSTRUCCIONES**

**BOGOTÁ, JULIO 2007**

10

---

<sup>10</sup> Se encuentra adjunto

## Anexo 2

### Monitoreo mayo 2023 PTAR Vereda Rozo, Cota, Cundinamarca Resultados de laboratorio y Evaluación de la Conformidad

Tabla 4. Resultados de laboratorio y Evaluación de la Conformidad

RESULTADOS DE LABORATORIO									
EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICOS DE COTA - EMSERCOTA S.A. E.S.P.									
ENTRADA PTAR - MUESTRA CÓDIGO 19032-23									
SALIDA PTAR - MUESTRA CÓDIGO 19033-23									
COTA, CUNDINAMARCA – 03 Y 04 DE MAYO DE 2023									
ID	PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	LC	FECHA DE ANÁLISIS	RESULTADO ENTRADA	RESULTADO SALIDA	VALOR MÁXIMO PERMISIBLE	CUMPLIM
AC	pH	SM 4500 H + B	Unidades de pH	NA	2023-05-03/04	6,69 - 8,26	6,84 - 8,25	6,00-9,00	Cumple
AC	Temperatura	SM 2550 B	°C	NA	2023-05-03/04	15,9 - 21,1	14,5 - 23,9	40	Cumple
AC	Oxígeno Disuelto	SM 4500 O G	mgO <sub>2</sub> /L	0,01	2023-05-03/04	0,04 - 0,76	0,78 - 3,08	N. E	N. A
AC	Caudal	Área*Velocidad/ Volumétrico	l/s	NA	2023-05-03/04	8,974	4,507	N. E	N. A
AC	Sólidos Sedimentables	SM 2540 F	ml/L	0,1	2023-05-04	0,3 - 3,4	0,5 - 1,5	5,00	Cumple
AL	DBO	SM 5210 B	mg O <sub>2</sub> /L	3	2023-05-05	129,000	36,700	90,00	Cumple
AL	DQO	SM 5220 C	mg O <sub>2</sub> /L	40	2023-05-10	368,640	147,460	180,00	Cumple
AL	SST	SM 2540 D	mg SST/L	5	2023-05-04	72,040	64,210	90,00	Cumple
AL	Grasas y Aceites	SM 5520 D	mg GyA/L	8	2023-05-10	41,780	26,250	20,00	No Cumple
AL	Nitratos	SM 4500 NO <sub>3</sub> - D	mg NO <sub>3</sub> -/L	0,5	2023-05-04	33,500	24,200	Análisis y Reporte	N. A
AL	Nitritos	SM 4500 NO <sub>2</sub> - D	mg NO <sub>2</sub> -/L	0,004	2023-05-04	0,005	0,020	Análisis y Reporte	N. A
AL	Nitrógeno Total Kjeldahl	SM 4500-Norg C SM 4500 NH <sub>3</sub> B C	mg NTK/L	4	2023-05-08	54,040	35,840	N. E	N. A
AL	Fosforo Total	SM 4500 - P B, E	mg P/L	0,05	2023-05-09	4,920	2,170	Análisis y Reporte	N. A
AL	Coliformes Termotolerantes (NMP)	SM 9223 B Modificado	NMP/100 mL	1	2023-05-04	1,21x10 <sup>6</sup>	2x10 <sup>5</sup>	N. E	N. A
-	Nitrógeno Total	Cálculo	mg N/L	4,504	2023-05-08	87,545	60,060	Análisis y Reporte	N. A

ID – AC: Análisis de Campo; AL: Análisis de Laboratorio; AS: Análisis Subcontratado  
N. A – No Aplica, N. R – No Reporta, N. E – No Establecido

Nota. Según lo contemplado en la Resolución 0631 de 2015 en el Anexo 1 – Acrónimos, el Nitrógeno Total corresponde a la sumatoria de Nitrógeno Total Kjeldahl, Nitritos y Nitratos.

**Anexo 3**  
**Monitoreo PTAR Vereda Rozo**  
**Mayo 2023 In situ**

Tabla 3. Mediciones In-Situ

DETERMINACIONES IN-SITU DE pH, TEMPERATURA, SÓLIDOS SEDIMENTABLES, OXIGENO DISUELTOS Y CAUDAL								
EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICOS DE COTA - EMSERCOTA S.A. E.S.P.								
ENTRADA PTAR - MUESTRA CÓDIGO 19032-23								
COTA, CUNDINAMARCA – 03 Y 04 DE MAYO DE 2023								
HORA	pH (unidades)	TEMP. (°C)	SSED (mL/L)	OD (mg/L)	VELOCIDAD (m/s)	ALTURA (m)	CAUDAL (L/s)	ALÍCUOTA (mL)
8:00	7,51	19,6	3,1	0,76	0,86	0,13	25,517	589
9:00	7,49	19,9	2,4	0,65	0,75	0,13	22,132	511
10:00	8,10	20,9	3,4	0,39	0,75	0,10	15,548	359
11:00	8,26	21,1	1,5	0,29	0,63	0,08	9,662	223
12:00	7,05	19,2	1,2	0,04	0,52	0,06	5,266	122
13:00	6,69	18,8	2,0	0,28	0,63	0,10	13,169	304
14:00	7,10	19,8	0,6	0,05	0,63	0,10	13,169	304
15:00	7,05	19,1	1,0	0,18	0,52	0,07	6,558	151
16:00	7,15	19,1	0,5	0,08	0,52	0,07	6,558	151
17:00	6,92	18,7	1,5	0,12	0,52	0,07	6,558	151
18:00	-	-	-	-	-	-	-	-
19:00	7,22	17,9	1,7	0,32	0,75	0,05	5,837	135
20:00	-	-	-	-	-	-	-	-
21:00	-	-	-	-	-	-	-	-
22:00	-	-	-	-	-	-	-	-
23:00	7,15	16,8	1,1	0,70	0,52	0,05	4,052	94
0:00	6,98	16,7	0,8	0,48	0,40	0,05	3,159	73
1:00	7,09	16,7	1,6	0,51	0,40	0,05	3,159	73
2:00	7,23	16,2	0,5	0,33	0,40	0,05	3,159	73
3:00	7,01	15,9	0,3	0,65	0,40	0,05	3,159	73
4:00	6,97	16,4	1,0	0,27	0,52	0,05	4,052	94
5:00	7,07	16,3	1,1	0,73	0,63	0,05	4,944	114
6:00	6,94	16,4	1,3	0,40	0,75	0,05	5,837	135
7:00	7,07	16,5	1,7	0,33	0,75	0,08	11,407	263
8:00	7,11	16,8	-	0,10	0,75	0,10	15,548	359
MEDICIÓN DE CAUDAL					CÁLCULO DE ALÍCUOTAS			
El aforo se realiza mediante el método área velocidad, donde el ancho de la sección transversal es 0,30 m					$Q_p = \frac{\sum Q}{l}$			
					Qp: Caudal promedio (l/s)			
					$\sum Q$ : Sumatoria de Caudales (l/s)			
				l: Numero de muestras				
<b>Observaciones:</b> El nivel del agua supera la altura de la tubería, por tal motivo, no es posible la toma de muestra en las siguientes horas: 18:00, 20:00, 21:00 y 22:00.								

A continuación, se presentan los resultados de los análisis de campo medidos a la salida de la PTAR.

## Anexo 4

### Monitoreo noviembre 2023 PTAR Vereda Rozo, Cota, Cundinamarca

#### Resultados de laboratorio y Evaluación de la Conformidad

Tabla 4. Resultados de laboratorio y Evaluación de la Conformidad

RESULTADOS DE LABORATORIO									
EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICOS DE COTA - EMSERCOTA S.A. E.S.P.									
ENTRADA PTAR - MUESTRA CÓDIGO 20818-23									
SALIDA PTAR - MUESTRA CÓDIGO 20819-23									
COTA, CUNDINAMARCA – 28 Y 29 DE NOVIEMBRE DE 2023									
ID	PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	LC	FECHA DE ANÁLISIS	RESULTADO ENTRADA	RESULTADO SALIDA	VALOR MÁXIMO PERMISIBLE	CUMPLIM
AC	pH	SM 4500 H + B	Unidades de pH	NA	2023/11/28-29	6,96 - 7,24	6,74 - 7,57	6,00-9,00	Cumple
AC	Temperatura	SM 2550 B	°C	NA	2023/11/28-29	15,8 - 19,8	16,5 - 20,2	40	Cumple
AC	Oxígeno Disuelto	SM 4500 O G	mgO <sub>2</sub> /L	0,01	2023/11/28-29	0,18 - 2,38	1,9 - 2,79	N. E	N. A
AC	Caudal	Área*Velocidad/ Volumétrico	l/s	NA	2023/11/28-29	3,363	5,207	N. E	N. A
AC	Solidos Sedimentables	SM 2540 F	ml/L	0,1	2023/11/28-29	<0,1-4,0	<0,1-0,1	5,00	Cumple
AS	DBO	SM 5210 B SM 4500 OG	mg O <sub>2</sub> /L	20	2023-12-01	60,00	63,00	90,00	Cumple
AL	DQO	SM 5220 C	mg O <sub>2</sub> /L	40	2023-12-20	225,88	181,96	180,00	No Cumple
AL	SST	SM 2540 D	mg SST/L	5	2023-12-05	32,00	38,00	90,00	Cumple
AL	Grasas y Aceites	SM 5520 D	mg GyA/L	8	2023-12-20	<8,0	11,35	20,00	Cumple
AS	Nitratos	SM 4500 NO <sub>3</sub> - D	mg NO <sub>3</sub> -/L	0,3	2023-12-02	8,60	5,00	Análisis y Reporte	N. A
AS	Nitritos	SM 4500 NO <sub>2</sub> - D	mg NO <sub>2</sub> -/L	0,005	2023-11-30	0,13	0,02	Análisis y Reporte	N. A
AL	Nitrógeno Total Kjeldahl	SM 4500-Norg C SM 4500 NH <sub>3</sub> B C	mg NTK/L	4	2023-12-18	34,72	38,36	N. E	N. A
AL	Fosforo Total	SM 4500 - P B, E	mg P/L	0,05	2023-12-04	<1	1,20	Análisis y Reporte	N. A
AL	Coliformes Termotolerantes	SM 9223 B Modificado	NMP/100 mL	1	2023-11-29	6,20*10 <sup>-7</sup>	8,16*10 <sup>-7</sup>	N. E	N. A
-	Nitrógeno Total	Cálculo	mg N/L	4,305	2023-12-18	43,45	43,38	Análisis y Reporte	N. A

ID – AC: Análisis de Campo; AL: Análisis de Laboratorio; AS: Análisis Subcontratado  
N. A – No Aplica, N. R – No Reporta, N. E – No Establecido  
**Nota.** Según lo contemplado en la Resolución 0631 de 2015 en el Anexo 1 – Acrónimos, el Nitrógeno Total corresponde a la sumatoria de Nitrógeno Total Kjeldahl, Nitritos y Nitratos.

## Anexo 5

### Monitoreo PTAR Vereda Rozo

Mayo 2023

Tabla 3. Mediciones In-Situ

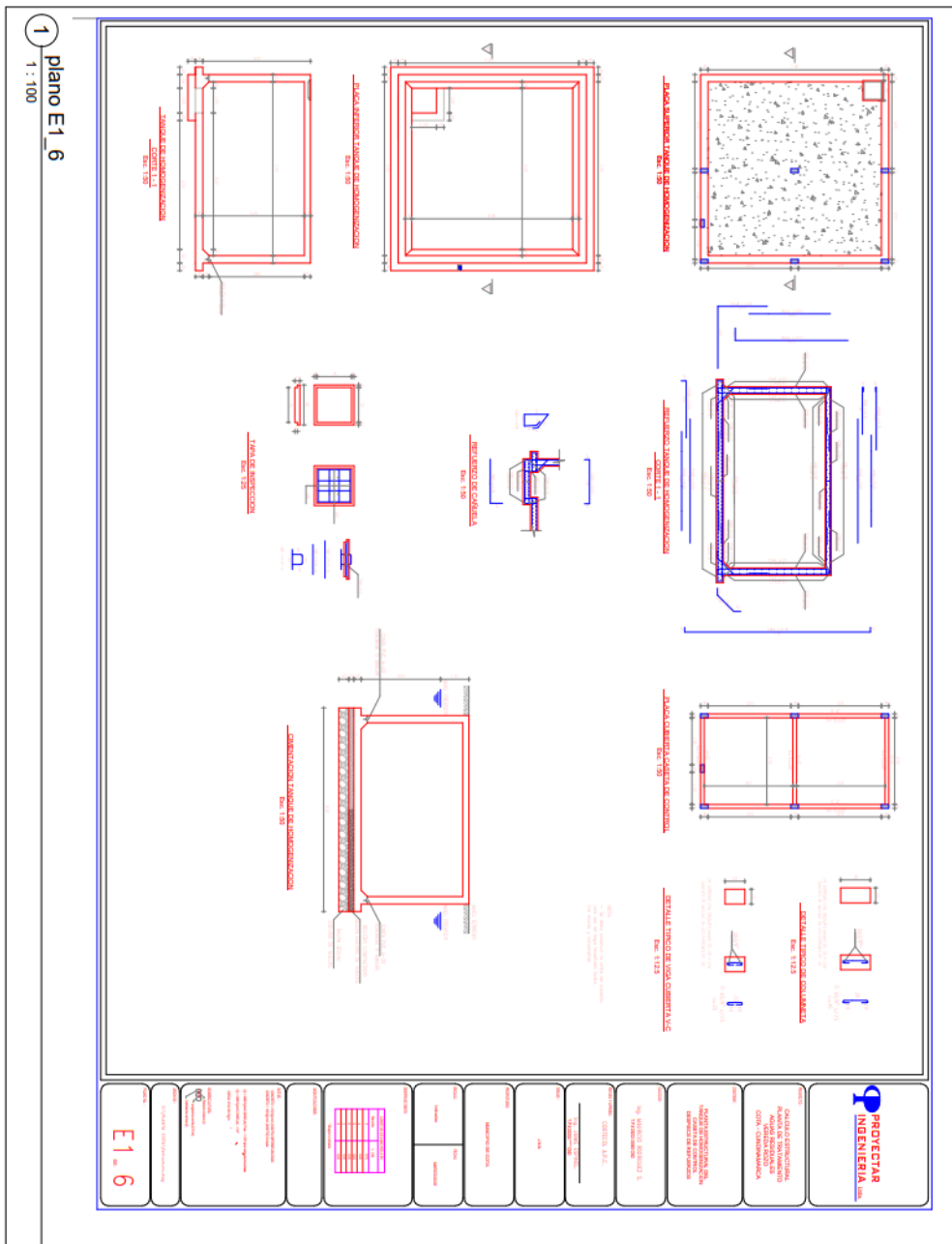
DETERMINACIONES IN-SITU DE pH, TEMPERATURA, SÓLIDOS SEDIMENTABLES, OXIGENO DISUELTOS Y CAUDAL  
EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICOS DE COTA - EMERCOTA S.A. E.S.P.  
ENTRADA PTAR - MUESTRA CÓDIGO 20818-23  
COTA, CUNDINAMARCA – 28 Y 29 DE NOVIEMBRE DE 2023

HORA	pH (unidades)	TEMP. (°C)	SSED (mL/L)	OD (mg/L)	TIEMPO (s)	VOLUMEN (L)	CAUDAL (L/s)	ALÍCUOTA (mL)
05:30	7,23	17,1	1,7	0,20	2,69	6,00	2,230	80
06:30	7,14	17,6	1,5	0,18	2,67	9,00	3,371	120
07:30	7,05	18,0	0,8	0,67	1,85	10,00	5,405	193
08:30	7,24	18,2	0,6	1,29	2,49	10,00	4,016	143
09:30	7,16	19,3	0,6	1,44	1,18	5,00	4,237	151
10:30	7,13	19,4	0,5	1,24	1,75	7,00	4,000	143
11:30	7,20	19,1	2,0	0,67	1,47	5,00	3,401	121
12:30	7,10	19,2	0,5	1,45	2,50	6,00	2,400	86
13:30	7,11	19,4	<0,1	1,52	1,29	5,00	3,876	138
14:30	6,98	19,8	0,2	1,53	1,44	6,00	4,167	149
15:30	6,96	19,4	0,1	1,53	1,88	7,00	3,723	133
16:30	7,00	19,0	0,5	1,62	1,72	6,00	3,488	124
17:30	7,10	18,5	0,5	0,60	1,05	4,00	3,810	136
18:30	6,98	18,3	4,0	1,33	1,40	6,00	4,286	153
19:30	7,13	18,2	1,5	1,92	1,20	3,00	2,500	89
20:30	7,09	17,6	0,5	1,69	1,01	4,00	3,960	141
21:30	7,14	17,8	0,3	1,60	1,10	3,00	2,727	97
22:30	7,12	17,3	0,2	1,39	1,47	4,00	2,721	97
23:30	7,15	17,0	0,3	1,50	1,41	4,00	2,837	101
00:30	7,20	17,1	0,3	1,49	1,38	3,00	2,174	78
01:30	7,10	16,8	0,2	1,56	1,01	3,00	2,970	106
02:30	7,24	16,5	0,3	2,15	1,80	3,00	1,667	59
03:30	7,04	16,4	0,2	2,30	1,14	4,00	3,509	125
04:30	7,02	16,1	0,3	2,00	1,03	4,00	3,883	139
05:30	7,07	15,8	-	2,38	1,47	4,00	2,721	97

<b>MEDICIÓN DE CAUDAL</b>	<b>CÁLCULO DE ALÍCUOTAS</b>
$Q=V/t$	$V_{A.N.}=V_c \cdot (Q_c / \sum Q)$
Q: Caudal (l/s)	$\sum Q$ : Sumatoria de Caudales (l/s)
V: Volumen (l)	$V_{A.N.}$ : Volumen alícuota en periodo n
t: Tiempo (s)	$V_c$ : Volumen a componer
	$Q_c$ : Caudal en periodo de tiempo (N)

# Plano de tanque de homogenización

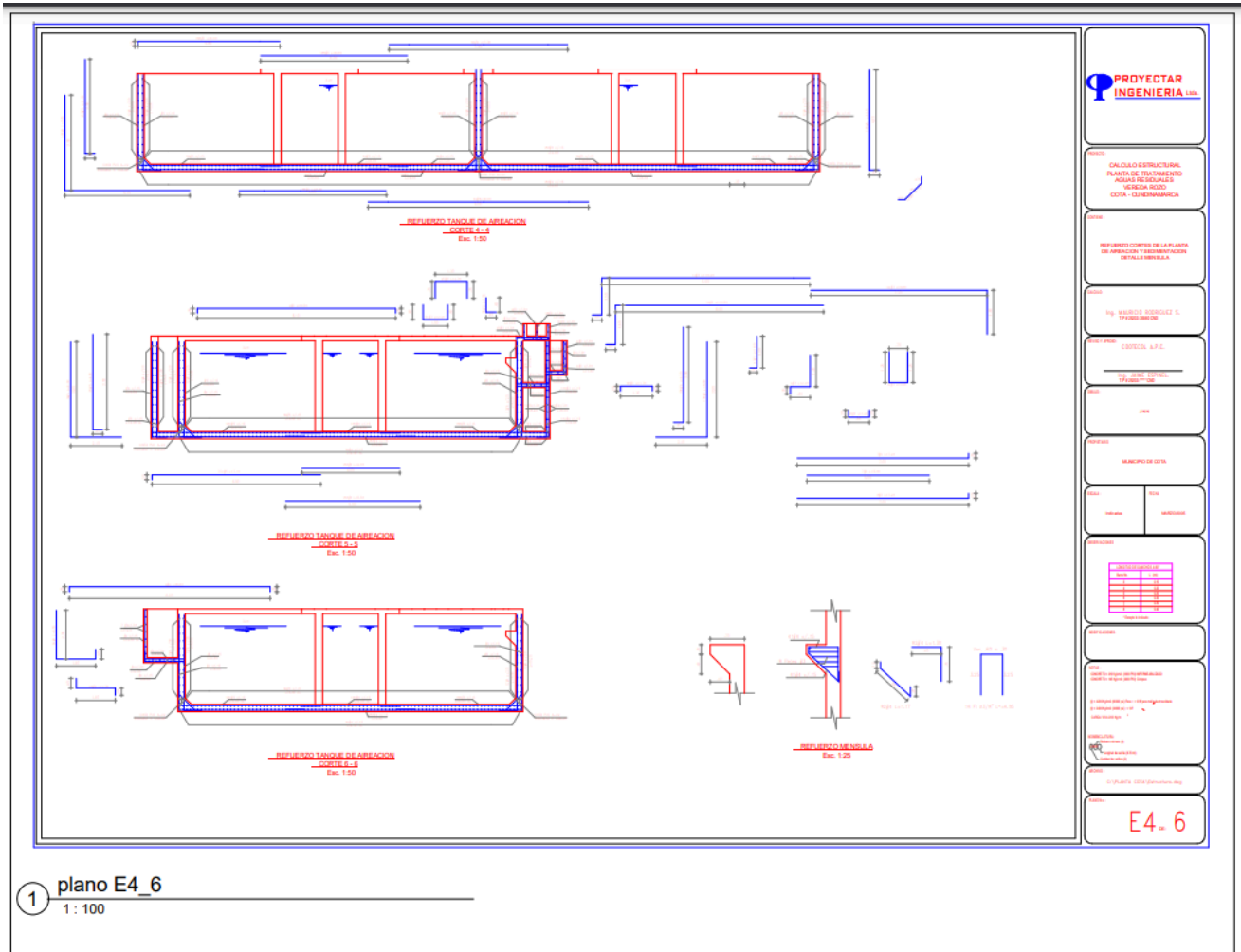


Anexo 7





## Tanque de aireación y sedimentación Corte



**PROYECTAR INGENIERIA** S.A.S.

CALCULO ESTRUCTURAL  
PLANTA DE TRATAMIENTO  
AGUAS RESIDUALES  
MUNICIPIO DE  
COTA - GUANDAMARCA

REFERENCIO CORTES DE LA PLANTA  
DE AERACION Y SEDIMENTACION  
DE TALLER EN BUNDA

ING. WALTER RODRIGUEZ E.  
PROYECTO

ING. JUAN CARLOS  
CORTES, A.P.C.

PROYECTO

MUNICIPIO DE COTA

PROYECTO

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD
1	...	...	...
2	...	...	...
3	...	...	...
4	...	...	...
5	...	...	...
6	...	...	...
7	...	...	...
8	...	...	...
9	...	...	...
10	...	...	...
11	...	...	...
12	...	...	...
13	...	...	...
14	...	...	...
15	...	...	...
16	...	...	...
17	...	...	...
18	...	...	...
19	...	...	...
20	...	...	...
21	...	...	...
22	...	...	...
23	...	...	...
24	...	...	...
25	...	...	...
26	...	...	...
27	...	...	...
28	...	...	...
29	...	...	...
30	...	...	...
31	...	...	...
32	...	...	...
33	...	...	...
34	...	...	...
35	...	...	...
36	...	...	...
37	...	...	...
38	...	...	...
39	...	...	...
40	...	...	...
41	...	...	...
42	...	...	...
43	...	...	...
44	...	...	...
45	...	...	...
46	...	...	...
47	...	...	...
48	...	...	...
49	...	...	...
50	...	...	...

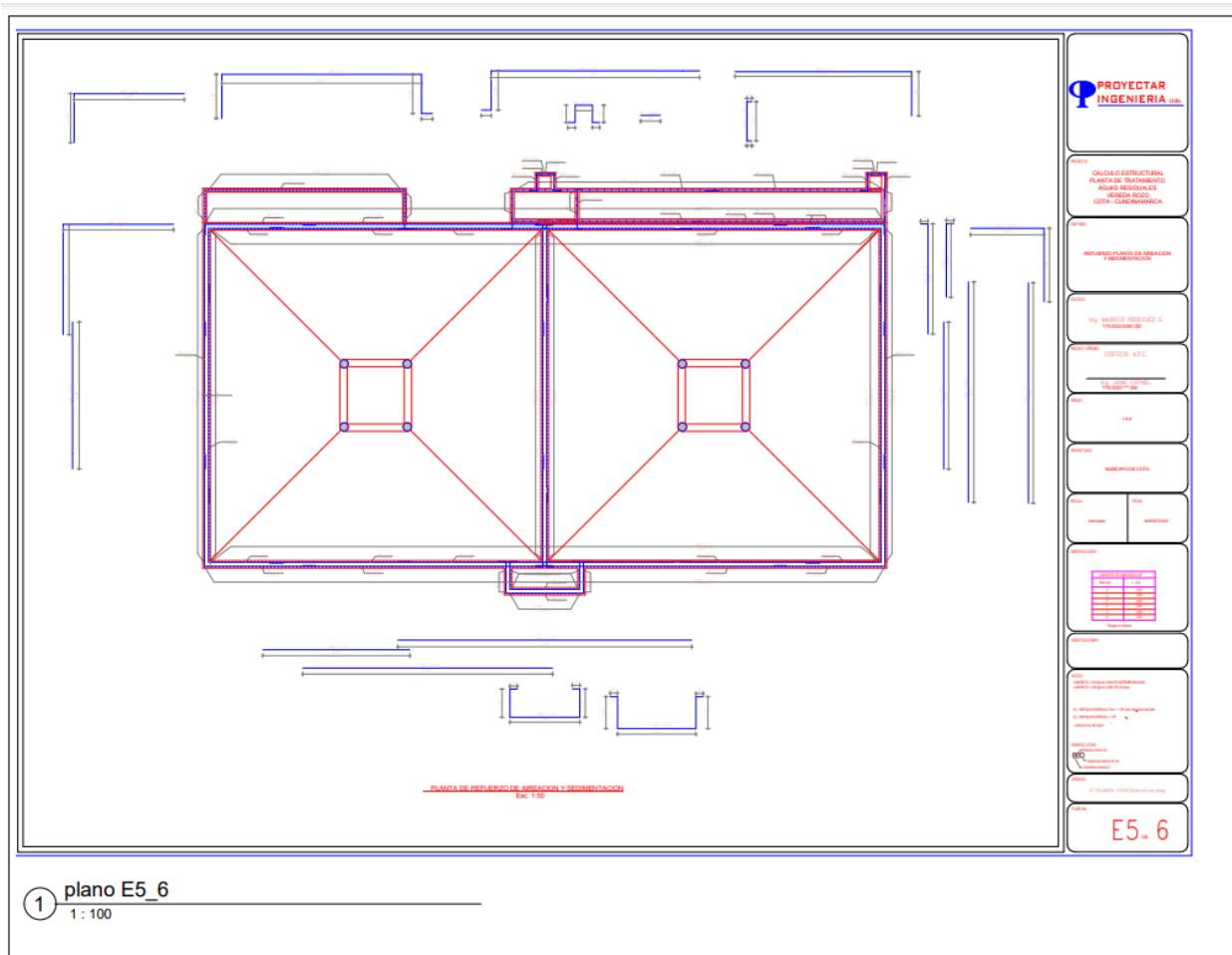
PROYECTO

PROYECTO

**E4\_6**

1 plano E4\_6  
1:100

## Plano planta de refuerzo aireación y sedimentación



## Anexo 11

Histograma volumen acumulado a partir

Para determinar el volumen acumulado se realizó en primer lugar el cálculo de caudal promedio de los monitoreos de mayo y noviembre del 2023 mediante la siguiente ecuación

$$Q_{prom} = \frac{1}{t_n - t_i} \sum_{i=2}^n \frac{Q_1 + Q_{i+1}}{2} (t_1 + t_{i+1})$$

Ecuación. Cálculo del promedio de los caudales

Tomado de Metcalf & Eddy, 1996, pp 237.

Seguidamente se convirtió el caudal de entrada al volumen como se evidencia en el siguiente apartado

$$V_{ent} = (1\text{ hora}) \left(9,662 \frac{L}{s}\right) \left(\frac{3600s}{1\text{ hora}}\right) \left(\frac{1\text{ m}^3}{1000 L}\right) = 34,7832 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$$

Luego se realizó lo mismo con el caudal promedio

$$V_{prom} = (1\text{ hora}) \left(7,538 \frac{L}{s}\right) \left(\frac{3600s}{1\text{ hora}}\right) \left(\frac{1\text{ m}^3}{1000 L}\right) = 27,1368 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$$

Teniendo en cuenta los volúmenes anteriores se calcula el volumen acumulado definido como la diferencia entre el volumen de entrada y el volumen promedio o volumen de salida

$$ds (\text{m}^3) = V_{ent} - V_{sal}$$

Tomado de Metcalf & Eddy, 1996, ep 237.

$$ds (\text{m}^3) = 34,78832 \frac{\text{m}^3}{h} - 27,1368 \frac{\text{m}^3}{h} = 7,6464 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$$

De modo que el volumen acumulado al final del periodo de tiempo se define como la suma acumulada entre la diferencia de la entrada y la salida expresado en el siguiente apartado

$$\sum ds_t = ds_{i-1} + ds_i$$

$$\sum ds_t = 7,6464 + (-8,1792) = -0,5328 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$$

La forma en que se calcula el volumen necesario para el tanque de homogeneización implica la diferencia entre el volumen máximo y mínimo, derivados del volumen acumulado al final del período de tiempo. Además, se añade un exceso de capacidad del 25% para acomodar variaciones inesperadas en el flujo y la acumulación de sólidos

De modo que el volumen requerido para el tanque de homogeneización del monitoreo de mayo y noviembre se puede ver a continuación

Hora	Caudal (L/s)	Caudal promedio	Volumen afluente horario (m3/hora)	Vol promedio (m3/hora)	Volumen acumulado (m3/hora)	Volumen acumulado al final del periodo de tiempo (m3/hora)
11:00	9,662	7,538	34,7832	27,1368	7,6464	7,6464
12:00	5,266	7,538	18,9576	27,1368	-8,1792	-0,5328
13:00	13,169	7,538	47,4084	27,1368	20,2716	19,7388
14:00	13,169	7,538	47,4084	27,1368	20,2716	40,0104
15:00	6,558	7,538	23,6088	27,1368	-3,528	36,4824
16:00	6,558	7,538	23,6088	27,1368	-3,528	32,9544
17:00	6,558	7,538	23,6088	27,1368	-3,528	29,4264
18:00	14,338	7,538	51,6168	27,1368	24,48	53,9064
19:00	5,837	7,538	21,0132	27,1368	-6,1236	47,7828
20:00	14,338	7,538	51,6168	27,1368	24,48	72,2628
21:00	14,338	7,538	51,6168	27,1368	24,48	96,7428
22:00	14,338	7,538	51,6168	27,1368	24,48	121,2228
23:00	4,052	7,538	14,5872	27,1368	-12,5496	108,6732
0:00	3,159	7,538	11,3724	27,1368	-15,7644	92,9088
1:00	3,159	7,538	11,3724	27,1368	-15,7644	77,1444
2:00	3,159	7,538	11,3724	27,1368	-15,7644	61,38
3:00	3,159	7,538	11,3724	27,1368	-15,7644	45,6156
4:00	4,052	7,538	14,5872	27,1368	-12,5496	33,066
5:00	4,944	7,538	17,7984	27,1368	-9,3384	23,7276
6:00	5,837	7,538	21,0132	27,1368	-6,1236	17,604
7:00	11,407	7,538	41,0652	27,1368	13,9284	31,5324
8:00	15,548	7,538	55,9728	27,1368	28,836	60,3684
8:00	25,517	7,538	91,8612	27,1368	64,7244	125,0928
9:00	22,132	7,538	79,6752	27,1368	52,5384	177,6312
10:00	15,548	7,538	55,9728	27,1368	28,836	206,4672
<b>Promedio</b>	<b>9,83208</b>	<b>7,538</b>	<b>35.395488</b>			

Volumen acumulado maximo en el periodo acumulado	206,4672		
Volumen acumulado minimo en el periodo	-0,5328		
Volumen de almacenamiento necesario (gal)	207 m3	258,75	m3

### Histograma volumen acumulado a partir del caudal obtenido en noviembre del 2023

Hora	Caudal (L/s)	Caudal promedio	Volumen afluente horario (m3/hora)	Vol promedion (m3/hora)	Volumen acumulado (m3/hora)	Volumen acumulado al final del periodo de tiempo (m3/hora)
5:30	2.230	3.363	8028	12107,232	-4079,232	-4079,23
12:00	3.371	3.363	12135,6	12107,232	28,368	-4050,86
13:00	5.405	3.363	19458	12107,232	7350,768	3299,90
14:00	4.016	3.363	14457,6	12107,232	2350,368	5650,27
15:00	4.237	3.363	15253,2	12107,232	3145,968	8796,24
16:00	4.000	3.363	14400	12107,232	2292,768	11089,01
17:00	3.401	3.363	12243,6	12107,232	136,368	11225,38
18:00	2.400	3.363	8640	12107,232	-3467,232	7758,14
19:00	3.875	3.363	13950	12107,232	1842,768	9600,91
20:00	4.167	3.363	15001,2	12107,232	2893,968	12494,88
21:00	3.723	3.363	13402,8	12107,232	1295,568	13790,45
22:00	3.488	3.363	12556,8	12107,232	449,568	14240,02
23:00	3.810	3.363	13716	12107,232	1608,768	15848,78
0:00	4.286	3.363	15429,6	12107,232	3322,368	19171,15
1:00	2.500	3.363	9000	12107,232	-3107,232	16063,92
2:00	3.960	3.363	14256	12107,232	2148,768	18212,69
3:00	2.727	3.363	9817,2	12107,232	-2290,032	15922,66
4:00	2.721	3.363	9795,6	12107,232	-2311,632	13611,02
5:00	2.837	3.363	10213,2	12107,232	-1894,032	11716,99
6:00	2.174	3.363	7826,4	12107,232	-4280,832	7436,16
7:00	2.970	3.363	10692	12107,232	-1415,232	6020,93
8:00	1.667	3.363	6001,2	12107,232	-6106,032	-85,10
8:00	3.509	3.363	12632,4	12107,232	525,168	440,06
9:00	3.883	3.363	13978,8	12107,232	1871,568	2311,63
10:00	2.721	3.363	9795,6	12107,232	-2311,632	0,00
<b>Promedio</b>	<b>3.363</b>					

Volumen acumulado maximo en el periodo acumulado	19171,15			
Volumen acumulado minimo en el periodo	-4079,23			
Volumen de almacenamiento necesario (gal)	23250,38	m3	29.062,98	m3

