

**MODELACIÓN DEL ZANJÓN DE OXIDACIÓN DEL MUNICIPIO DE EL ROSAL MEDIANTE ASM1.**



**Nicolas Andres Montoya Suza**

CÓDIGO: 1511423

IDENTIFICACIÓN: C.C. 1072712630

**UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**BOGOTÁ, D.C.**

**2021**

**MODELACIÓN DEL ZANJÓN DE OXIDACIÓN DEL MUNICIPIO DE EL ROSAL MEDIANTE ASM1.**

**Nicolas Andres Montoya Suza**

**CÓDIGO: 1511423**

**IDENTIFICACIÓN: C.C. 1072712630**

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL DE LA UNIVERSIDAD  
PILOTO DE COLOMBIA**

**DIRECTOR: Felipe Santamaria Alzate**

**UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**BOGOTÁ, D.C.**

**2022**

## TA DE ACEPTACIÓN

---

Una vez realizada la revisión metodológica y técnica del documento final de proyecto de grado, doy constancia de que el (los) estudiante (s) ha cumplido a cabalidad con los objetivos propuestos, cumple a cabalidad con los Lineamientos de Opción de Grado vigentes del programa de Ingeniería Mecatrónica y con las leyes de derechos de autor de la República de Colombia, por tanto, se encuentra(n) preparado(s) para la defensa del mismo ante un jurado evaluador que considere idóneo el Comité de Investigaciones del Programa de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Piloto de Colombia.

---

Felipe Santamaria Alzate

Director del Proyecto

## DEDICATORIA

---

Dedico esta tesis a Dios, debido a que fue la persona que me guio y me permitió culminar con éxito esta etapa en mi vida, luego a mis padres quienes realizando un gran esfuerzo me permitieron realizar mi sueño de ser profesional, también por haberme apoyado en todo momento con sus consejos, motivación constante que me a permitido llegar hasta este lugar, esto también me infundió en mi un deseo de superación en momentos adversos.

## **AGRADECIMIENTOS**

---

Me encuentro agradecido por el esfuerzo y dedicación del Ing. Felipe Santamaria Álzate; porque como director de este trabajo de grado esfuerzo y dedicación por este proyecto, guiándome para contribuir al progreso de la infraestructura de un país en desarrollo, desde sus conocimientos como ingeniero sanitario y ambiental y especialista en saneamiento básico.

A la universidad Piloto de Colombia por abrirme sus puertas, por aportar espacios académicos en las diversas áreas del conocimiento, para la formación de nuevos profesionales.

Construya la tabla de contenido desde el menú REFERENCIAS → Tabla de Contenido. Actualice la tabla de contenido con la opción "Actualizar tabla". Use la configuración de tabla personalizada → Formato Sencillo. Posteriormente ajústela a como lo indica la Norma Icontec NTC 1486. No olvide alinear todos los títulos a la izquierda.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<b>TA DE ACEPTACIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>4</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>5</b>
<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE ilustraciones.....</b>	<b>9</b>
<b>LISTA DE ANEXOS.....</b>	<b>10</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>12</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>12</b>
<b>1. GENERALIDADES .....</b>	<b>13</b>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	13
1.1.1. Antecedentes del Problema.....	13
1.1.2. Descripción del problema .....	14
1.1.3. Formulación del problema .....	15
1.1.4. Línea de investigación del programa.....	15
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	16
1.3. OBJETIVOS.....	17
1.3.1. Objetivo General.....	17
1.3.2. Objetivos específicos .....	17
1.3.3. Alcances y Limitaciones.....	17
1.4. MARCO REFERENCIAL .....	18
1.4.1. Marco Teórico.....	18
1.4.2. Estado del arte.....	22
1.4.3. Marco normativo .....	24
<b>2. MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>25</b>
2.1. Determinar características del efluente que ingresa a la PTAR.....	25
2.2. Determinar las características de la ptar .....	25
2.3. ajuste de las variables del efluente de entrada .....	27
2.4. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO EN GPS-X.....	28

<b>3.</b>	<b>RESULTADOS Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO .....</b>	<b>32</b>
3.1.	ESCENARIO 1 .....	32
3.1.1.	Solidos suspendidos totales .....	32
3.1.2.	DQO .....	33
3.1.3.	Caudal.....	33
3.2.	ESCENARIO 2.....	33
3.2.1.	Solidos suspendidos totales .....	33
3.2.2.	DQO .....	34
3.2.3.	Caudal.....	34
3.3.	ESCENARIO 3.....	34
3.3.1.	Solidos suspendidos totales .....	34
3.3.2.	DQO .....	35
3.3.3.	Caudal.....	35
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>36</b>
<b>5.</b>	<b>RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS .....</b>	<b>37</b>
	<b>referencias bibliográficas.....</b>	<b>38</b>

## LISTA DE TABLAS

---

	Pág.
<i>Tabla 1 Parámetros de diseño de sedimentadores.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 2 fraccionamiento de la DQO.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 3 Resultados laboratorio mes de diciembre.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 4 Asignación de la DQO al modelo.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 5 Asignación del oxígeno disuelto al modelo.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 6 Asignación de la fracción soluble en el modelo.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 7 Asignación de las fracciones orgánicas en el modelo.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 8 Solidos suspendidos totales arrojados por el laboratorio.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 9 Solidos suspendidos totales arrojados por el modelo en el primer escenario.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 10 Remoción de sst en el primer escenario.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 11 Remoción de DQO en el primer escenario.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 12 Remoción de sst en el segundo escenario.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 13 Remoción de DQO en el segundo escenario.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 14 Remoción de sst en el tercer escenario.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 15 Remoción de DQO en el tercer escenario.....</i>	<i>35</i>



## LISTA DE ILUSTRACIONES

---

	Pág.
<i>Ilustración 1: Letrinas usadas en la antigua Grecia</i> .....	18
<i>Ilustración 2: Vehículo utilizado para coleccionar y transportar los residuos</i> .....	19
<i>Ilustración 3 Sistema Liernur para la recolección de las aguas del inodoro</i> .....	19
<i>Ilustración 4 Partición de la DQO</i> .....	27
<i>Ilustración 5 Partición de la DQO total en base a LT</i> .....	27
<i>Ilustración 6 Efluente de aguas residuales para el modelo en GPS-X</i> .....	29
<i>Ilustración 7 Desarenador</i> .....	29
<i>Ilustración 8 Zanjón de oxidación</i> .....	29
<i>Ilustración 9 Tanque clarificador</i> .....	29
<i>Ilustración 10 Digestor anaeróbico</i> .....	29
<i>Ilustración 11 Descarga del efluente</i> .....	30
<i>Ilustración 12 Modelo de la ptar</i> .....	30
<i>Ilustración 13 Ajustando el modelo bajo la metodología ASM1</i> .....	30
<i>Ilustración 14 Características del Zanjón de oxidación</i> .....	31
<i>Ilustración 15 Controles del simulador en el software GPS-X</i> .....	31
<i>Ilustración 16 Condiciones del primer escenario</i> .....	32
<i>Ilustración 17 DQO arrojado en el laboratorio</i> .....	33
<i>Ilustración 18 DQO arrojado por el modelo en el primer escenario</i> .....	33
<i>Ilustración 19 Caudal de salida en el primer escenario</i> .....	33
<i>Ilustración 20 Condiciones iniciales para el segundo escenario</i> .....	33
<i>Ilustración 21 Sólidos suspendidos arrojados por el modelo en el segundo escenario</i> .....	33
<i>Ilustración 22 DQO arrojado por el modelo en el segundo escenario</i> .....	34
<i>Ilustración 23 Caudal de salida en el segundo escenario</i> .....	34
<i>Ilustración 24 Sólidos suspendidos arrojados por el modelo en el tercer escenario</i> .....	34
<i>Ilustración 25 DQO arrojado por el modelo en el tercer escenario</i> .....	35
<i>Ilustración 26 Caudal de salida en el tercer escenario</i> .....	35

## **LISTA DE ANEXOS**

---

*ANEXO A. Laboratorio mes de diciembre de la PTAR de El Rosal Cundinamarca*

## INTRODUCCIÓN

---

“Uno de los indicadores más importantes que usa el Banco Mundial, relacionado con el desarrollo de las poblaciones, es la disponibilidad y sustentabilidad del recurso agua. Lo anterior va asociado con las acciones para mantener la calidad de las fuentes de abasto, lo cual significa descargar aguas residuales bajo normas, con el fin de preservar en tiempo y forma los recursos hidráulicos, considerados patrimonio de las futuras generaciones.” [1]

El vertimiento de aguas residuales no tratadas a los cuerpos de agua produce impactos ambientales perjudiciales para el ecosistema que esté o se alimente del mismo cuerpo de agua, el daño es directamente proporcional a la cantidad de contaminantes que este contengan. [2]

Actualmente el crecimiento de las poblaciones, así como desarrollo de la industria, esto genera un crecimiento exponencial en la generación de aguas residuales, siendo estas las dos principales causas de contaminación de cuerpos agua, más aún cuando estas no son tratadas adecuadamente, por esta razón se ha visto un gran esfuerzo por buscar y mantener metodologías efectivas que traten el agua de una manera adecuada, las plantas de tratamiento de agua residual son las encargadas de establecer esta metodología de eliminación de sustancias contaminantes, para preservar el recurso hídrico en circunstancias óptimas para ser vertidas de nuevo al cuerpo de agua más apropiado o para su reutilización. [3]

“Sin embargo, los sistemas acuáticos tienen medios efectivos de hacerle frente a estos agravios, de los cuales los más importantes son la dilución y la capacidad de auto purificación. La contaminación, en cualquiera de sus formas, es cuestión de concentración La concentración de una sustancia en el agua se da en términos de cantidad de masa por unidad de volumen” [4].

El presente proyecto tiene como finalidad realizar el modelado de la planta de tratamiento de agua residual del municipio de El Rosal Cundinamarca mediante el software ASM1, con la finalidad de examinar la operación del proceso de remoción de materia orgánica por el método de lodos activados realizado en un zanjón de oxidación en la PTAR (planta de tratamiento de agua residual)

## RESUMEN

---

El agua en la tierra es un recurso limitado, por ende, debemos cuidarlo y usarlo de manera responsable. En Colombia se trata el diez por ciento de las aguas residuales a pesar de tener una capacidad instalada que llegaría casi al veinte porcientos. Según un estudio de UNICEF, menos de 7 de los municipios de 21 departamentos analizados cuentan con una planta de tratamiento de aguas residuales. Debido al gran crecimiento que ha venido experimentado la sabana occidental de Bogotá por el sector de El Rosal, se debe tener un control adecuado de las aguas residuales debido a que por esta zona se han venido ubicando varios parques industriales, como el San Juan, Huechuraba entre otros que generan impacto importante en las aguas residuales. [5]

Este trabajo plantea el modelado del Zanjón de oxidación del PTAR de El Rosal Cundinamarca, para poder plantear diversos escenarios en los cuales podríamos detectar diversos inconvenientes que pueda llegar a tener la PTAR en un futuro, puesto que actualmente trabaja sin mayores complicaciones, pero debido al crecimiento que ha venido teniendo este municipio si se deben evaluar escenarios los cuales pueda llegar a tener esta PTAR

**Palabras Clave:** DBO, PTAR, zanjón de oxidación, sedimentador, vertimientos

## ABSTRACT

---

Water on earth is a limited resource; therefore, we must take care of it and use it responsibly. In Colombia, only 10% of wastewater is treated despite having an installed capacity of almost 20%. According to a UNICEF study, less than 7 of the municipalities of 21 departments analyzed have a wastewater treatment plant in the sector of EL ROSAL, it is necessary to have an adequate control of wastewater due to the fact that several industrial parks have been located in this area, such as San Juan, Huechuraba, among others, which generate an important impact on wastewater.

This work proposes the modeling of the oxidation ditch of the wastewater treatment plant of EL ROSAL Cundinamarca, in order to propose various situations in which we could detect some inconveniences that the wastewater treatment plant may have in the future, as it currently works without major complications, but due to the growth that this municipality has been having, we must evaluate scenarios which this wastewater treatment plant may present.

**Keywords:** BOD, wastewater treatment plant, settler, Spills

## 1. GENERALIDADES

---

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1.1. Antecedentes del Problema

“La complejidad del proceso de lodos activados y la necesidad de resaltar las propiedades más importantes de dicho sistema, han dado origen a modelos altamente no lineales, en los cuales el diseño de leyes o estrategias de control se hace difícil. Motivados por la necesidad de establecer un lenguaje común, que permitiera avanzar en el diseño y control de este tipo de procesos, la International Water Association (IWA) encomendó a un grupo de trabajo el diseño de un conjunto de modelos de lodos activados para la remoción del nitrógeno y del fósforo residual, entre otros compuestos.” [6]

Hasta principios de los años 80's se estableció el primer modelo ASM ( Activate Sludge Model ), este modelo se convirtió en el punto de partida para que con la evolución de los computadores se generaran modelos más potentes y complejos [7]. En el año 1987 se anuncia el modelo Activated Sludge Model N°1 (ASM1), más adelante se crearon otras versiones como la ASM2, ASM2d y ASM3. [6]

Estos tipos de modelos simulados se han implementado a medida de los años y así mismo teniendo una mayor consideración por parte de los diseñadores, esto con el fin de mejorar los sistemas de tratamientos, teniendo en cuenta que se ha incrementado los niveles de aguas a tratar.

“La construcción de sistemas de tratamientos de aguas en Colombia es una práctica relativamente reciente. Colombia trata el 10% de las aguas residuales a pesar de contar con una capacidad instalada que alcanzaría el 20%. Según un estudio de UNICEF, menos de la cuarta parte de los municipios de 21 departamentos analizados cuentan con una planta de tratamiento de aguas residuales.” [8]

Lo anterior nos indica la poca capacidad que tiene Colombia para el trato de las aguas residuales, las cuales si no son tratadas de manera adecuada pueden afectar los ecosistemas que van alrededor de los cuerpos de agua donde desembocan las estas aguas sin tratar.

Según un informe de diario El Tiempo junto con la CAR (Corporación autónoma regional) de Cundinamarca de las ptar que existen en Bogotá concluyen lo siguiente “ Se observa que el 71,86 % de las PTAR se encuentran en optimización, es decir, las plantas no cumplen con las normas establecidas para tratar este tipo de vertimientos y entran en un proceso de mejora, lo que afecta de manera negativa la calidad del agua del río, ya que esto disminuye la rigurosidad en el seguimiento de emisiones de GEI y dificulta que las autoridades ambientales lleven un control veraz, actualizado y real del registro de su operación” [9]

Según la CAR de Cundinamarca la ptar de El Rosal Cundinamarca sufrió una ampliación y la planta puede llegar a operar hasta 56 litros por segundo [10], este municipio ha crecido bastante en los últimos años, debido a la creación de parques industriales en la zona y de cultivos de rosas, esto ha incentivado bastante el crecimiento del municipio y por ende e incremento de aguas residuales.

### **1.1.2. Descripción del problema**

Los vertimientos generados por el sector agrícola son los que más contaminan, siguiendo por las de grandes ciudades, el sector industrial y los productores de alimentos, por lo que el país se ha visto en la necesidad de poner unas leyes para solucionar esta situación y esto ha tenido un gran avance, sin embargo, en Colombia la construcción de sistemas de tratamientos de agua es una práctica reciente; teniendo en cuenta que solo se trata el 10% de aguas residuales. [10]

El tratamiento de aguas residuales en Colombia es un problema que arrastra el país hace ya varios años, esto es una problemática ambiental bastante crítica y creciente. El vertimiento de las aguas residuales domésticas y los vertimientos agrarios están contaminando los cuerpos de agua, causando un impacto ambiental bastante perjudicial para el medio ambiente y para la salud humana. [10]

Debido al crecimiento poblacional y de industrias que ha venido sufriendo Colombia los cauces naturales se han visto deteriorado de manera notoria, debido a que por parte de las industrias no existe mayor interés en estas problemáticas ambientales. Debido a estos problemas que se venían presentando el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo implemento nuevas normas de vertimientos como la reglamentada en el artículo 28 del decreto 3930 de 2010, que actualiza el decreto 1594 de 1984, especialmente para las personas que realizan actividades industriales, comerciales y/o de servicios. [11]

### **1.1.3. Formulación del problema**

“La falta de plantas de tratamiento para las aguas residuales en las ciudades, en las industrias, hoteles, explotaciones mineras, agrícolas y ganaderas, ocasiona grandes desechos de aguas contaminadas que hacen mucho daño al medio ambiente. La mayoría de esas aguas es descargada en los ríos, lagos, mares, en los suelos a cielo abierto o en el subsuelo, a través de los llamados pozos sépticos y rellenos sanitarios” [11]

En el último tiempo las autoridades ambientales han venido mostrando preocupación y ha buscado soluciones para el tratamiento de las aguas residuales, ya que verter estas aguas de nuevo a los ríos, lagos, mares, etc., directamente del sistema de alcantarillado sin ningún tratamiento previo ni control al cuerpo natural ocasiona impactos negativos sobre el medio ambiente, problemas de salud y malos olores en la población. Aun así, en Latinoamérica hay 490 millones de personas que no tienen acceso al saneamiento de aguas residuales según el BID (Banco interamericano de desarrollo) [12]

“Según el informe publicado por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (Superservicios) a finales del 2017, solo 541 municipios de los 1.122 registrados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (Dane) cuentan con algún tipo de sistemas de saneamiento. Es decir, solamente 42,8% de las aguas residuales urbanas son tratadas. Sin embargo, los datos disponibles en el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC), del Ministerio de Vivienda expresan que en el país aproximadamente el 96% de las aguas residuales generadas por actividades domésticas o industriales no son tratadas correctamente. En consecuencia, los impactos ambientales son inminentes en los cuerpos de aguas lo que incrementa también el daño potencial que estas pueden causar en la salud” [13], según lo mencionado por el Ingeniero Saldaña, el saneamiento de las aguas residuales a nivel nacional es grave, ya que estas aguas mal tratadas van directamente a los cuerpos de agua, esto no solo afecta el ecosistema acuático, también afecta la salud de la población debido a que contienen grandes cantidades de microorganismos patógenos generadores de múltiples enfermedades.

Para esto se plantea evaluar la operación del proceso de remoción de materia orgánica por de lodos activados en el zanjón de oxidación en la PTAR del municipio de El Rosal Cundinamarca el software ASM1.

### **1.1.4. Línea de investigación del programa**

Sostenibilidad de la Infraestructura

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

Las aguas residuales son un problema de salud pública de vital importancia, ya que su mal manejo o su falta de tratamiento hace que se contaminen los cuerpos de agua donde se realizan los vertimientos y esto conlleva a afectar también a la población aledaña, ya que los malos olores o incluso el consumo de esta agua es sumamente peligroso para la salud pública.

Las autoridades ambientales han generado planes de recuperación de las cuencas hidrográficas, ya que sus índices de contaminación son demasiado altos, como pasa con el Río Subachoque, donde son vertidas las aguas residuales de municipios de Madrid y El Rosal. Según el informe generado por Eisder Méndez en el 2017 sobre la contaminación del río Subachoque, aquí nos muestra como ha crecido la contaminación del río Subachoque conforme crece la industria y la población, esto muestra falta de planeación por parte de los municipios, ya que esto genera un crecimiento en el caudal de las aguas residuales y las plantas de tratamiento de agua residual que hay en la zona no dan abasto y por rebose vierten el agua sin ningún tipo de tratamiento directamente al río Subachoque. [14]

Este cuenca del del río Subachoque a tenido varios impactos negativos debido a factores como el mencionado anteriormente, por lo cual es importante que esta ptar que vierte el efluente que trata a esta cuenca lo haga cumpliendo la normativa bajo óptimas condiciones.

Para ver la solución a este problema se va a realizar una modelación por el modelo ASM1 del zanjón de oxidación, esto con el fin de poder observar funcionamiento y eficiencia de la planta de tratamiento de agua residual de El Rosal Cundinamarca, permitiendo tener así una visión más clara de las dificultades presentes por este método.

El método ASM1 es un modelo matemático dinámico que reproduce la eliminación de materia orgánica y nitrógeno en sistema de fangos activos. Este modelo incorpora todas las transformaciones y componentes necesarios para describir la hidrólisis, la biodegradación de la materia orgánica en condiciones aeróbicas y anóxicas y el proceso de nitrificación en el que nitrógeno amoniacal es oxidado a nitratos. [15]

La modelación de las plantas de tratamiento de agua residual ha sido una herramienta fundamental para llevar a cabo pruebas, experimentos sin perturbar a la planta real, por lo que el modelamiento de plantas de agua residual cada vez es más útil y es usado para el mejoramiento de plantas de tratamiento de agua residual. Generar un modelo puede tomar mucho tiempo, pero es una salida bastante económica a comparación de otros métodos de optimización como tener una planta piloto que tienen un costo demasiado elevado, el modelamiento a pesar de que es una opción más económica también es bastante acertado y sus resultados son fiables y es posible hacer análisis de escenarios complejos. [16]



### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Evaluar la operación del proceso de remoción de materia orgánica por de lodos activados en el zanjón de oxidación en la PTAR del municipio de El Rosal Cundinamarca el software GPS-X por el método ASM1.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

1. Diagnosticar de la actual planta de tratamiento de agua residual de El Rosal Cundinamarca
2. Definir las variables de diseño para el zanjón de oxidación como lo son el área del sedimentador, área de diseño, volumen del sedimentador y tiempo de retención.
3. Realizar la modelación en el software GPS-X y determinar la eficiencia en el tratamiento de las aguas
4. Presentar el comportamiento del modelo de la PTAR de El Rosal Cundinamarca ante distintos escenarios, comprobando la eficacia del software
5. Presentar recomendaciones de funcionamiento según los resultados de la modelación

#### **1.3.3. Alcances y Limitaciones**

##### ***a. Alcances***

Este proyecto evaluara es el modelado en el software GPS-X de la planta de tratamiento de agua residual de El Rosal Cundinamarca, la propuesta incluirá la compilación de laboratorios de DQO, solidos suspendidos totales y caudal.

##### ***b. Limitaciones***

Este proyecto se apoyará en información secundaria, proveniente de la PTAR y de la bibliografía especializada. El análisis del efluente se limitará al análisis de sustratos del efluente.

## 1.4. MARCO REFERENCIAL

### 1.4.1. Marco Teórico

El sistema de tratamiento de aguas residuales se hizo evidente en el siglo XX. Esos sistemas se consideraron durante bastante tiempo como un riesgo Para la salud de los habitantes. En la antigua Grecia (300 A.C. a 500 D.C.) utilizan letrinas públicas que drenan van a ser las alcantarillas que transportaban las aguas residuales y pluviales hacia un colector en las afueras de la ciudad. Allí el agua residual era conducida hacia campos agrícolas por canaletas hechas en ladrillo para utilizarse en el riego y la fertilización de los diversos cultivos que había en la zona.

*Ilustración 1: Letrinas usadas en la antigua Grecia*



[17]

En Roma se implementó este sistema en el año 800 A.C, ellos construyeron “cloaca máxima”. Inicialmente ese sistema central de alcantarillado utilizado para drenar el pantano sobre cuál Roma sería construir. A mediados del año 100 D.C. el sistema estaba a punto de terminarse y con conexiones a algunas casas. Entre los años 450 y 1750 D.C. cuando el sistema romano colapso su sistema sanitario. Este período se conoció como “la era de obscuridad sanitaria”.

alrededor de los años 1800, se generó el sistema colector en muchas ciudades, éste fue un sistema impulsado por los mismos habitantes ya que no soportaba los malos olores, este sistema comprendía y un carro en el cuál eran vaciados los desechos y era conducido por las calles, sin embargo, los derrames durante el vaciado y el transporte de los contenedores fueron inevitables por lo que los malos olores no disminuyeron significativamente.

*Ilustración 2: Vehículo utilizado para coleccionar y transportar los residuos*

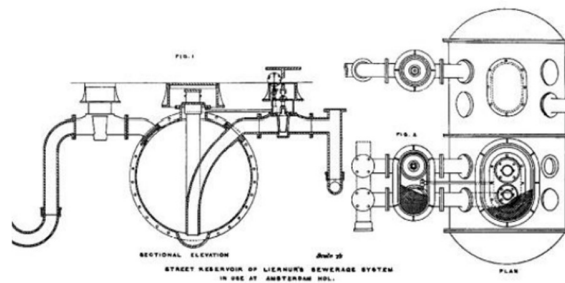


[18]

Para la época surgieron planes para un sistema general de alcantarillado. Aunque los altos costos de inversión e incertidumbre sobre el mantenimiento y lavado de las alcantarillas hicieron que una pronta implementación de este sistema no fuera posible.

Por los años 1900 Liernur Propuso una planta para coleccionar separadamente las aguas del inodoro, las aguas grises y las aguas pluviales. Las aguas del inodoro se recogían mediante un alcantarillado que funcionaba mediante vacío llamado el sistema Liernur.

*Ilustración 3 Sistema Liernur para la recolección de las aguas del inodoro*



[18]

Para esta época las aguas residuales colectadas no tenían ningún tipo de tratamiento. En lugar de esto eran esparcidas sobre la tierra como un fertilizante. Sin embargo, la saturación de las tierras con este tipo de aguas llegó a ser un problema serio el continuo crecimiento de las ciudades hizo más difícil encontrar tierras disponibles para esto.

El Reino Unido y Estados Unidos iniciaron la limpieza de estas aguas con los llamados filtros biológicos, los primeros filtros biológicos se instalaron en 1893 en Salford cerca Manchester. En los Estados Unidos el primer filtro fue instalado en 1901 en Madison, Wisconsin.

Luego de esto se empezaron a implementar varios filtros biológicos en el Reino Unido pero este crecimiento en la implementación de estos se frenó por la llegada de la tecnología de los lodos activados, que fuera inventada en 1913 debido a la importante inversión que ya había realizado en los biofiltros.

En el Reino Unido fue donde esta tecnología de lodos activados se dio a conocer, debido a experimentos llevados a cabo para el tratamiento de agua en un reactor de llenado y vaciado que produjo un efluente altamente tratado. Creyendo que el lodo había sido activado como al igual que el carbón activado, el proceso fue llamado "lodos activados".

Colombia tiene un proceso de industrialización bastante rápido, a pesar de que la dinámica del país en el primer tercio del siglo XIX fue un poco lenta después de los años 40s el censo industrial ha venido presentando un crecimiento paulatino a lo largo de estos últimos años [19]. Este crecimiento debe ir acompañado de políticas ambientales, como la que generó el ministerio de medio ambiente y desarrollo en 1984 con el decreto 1594, este fue actualizado en el 2010 con el decreto 3930, esta actualización prohíbe la descarga de cualquier tipo de residuos en las aguas superficiales, subterráneas o marinas a las personas que realizan actividades industriales, comerciales o de servicios.

En Colombia solo en 48.2% de los municipios en Colombia tienen planta de tratamiento de agua residual, ya que el tratamiento de aguas residuales es tan malo que perjudica de gran manera los cuerpos de agua donde se vierten estas aguas, sin embargo, en Cundinamarca es el departamento en Colombia con más PTAR, actualmente tiene 137, esto ayudó bastante a mejorar las circunstancias de los cuerpos de agua receptores, esto también se ha venido realizando también por el crecimiento poblacional y construcción de parques industriales que aumentan las aguas residuales en estas zonas.

Sin embargo, en Cundinamarca aún existen municipios sin plantas de tratamiento de aguas residuales, lo cual tiene unos impactos negativos relevantes en los cuerpos de agua que afectan principalmente la salud pública, ya que esto reduce la accesibilidad al agua potable, aumentan las enfermedades por falta de higiene como lo son fiebre tifoidea, paratifoidea, disentería, cólera, entre otras. Entre las principales enfermedades causadas por virus presentes en las aguas residuales están poliomielitis, hepatitis infecciosa, entre otras, y la presencia de microorganismos producen enfermedades como la disentería amebiana, bilharziasis, entre otras. Por otro lado, la producción de malos olores consecuencia de sustancias que contiene y los compuestos provenientes de estas

materias, la modificación de la apariencia física en áreas recreativas donde se descargan efluentes contaminados como La polución térmica generada por ciertos residuos líquidos industriales que poseen altas temperaturas, estos son algunos de los impactos que puede llegar a tener el no tratar las aguas residuales o el mal tratamiento de las aguas residuales.

La ptar de El Rosal Cundinamarca ha llevado a cabo una ampliación en los últimos años ampliando su capacidad a 63.2 litros de agua por segundo, lo cual según los informes de laboratorio enviados por el acueducto de El Rosal Cundinamarca llega a ocupar su capacidad máxima en entrada de agua en horas pico [20]. Teniendo en cuenta que la base de la economía del municipio es agroindustrial y su estructura hidrográfica la conforma la Cuenca del río Subachoque que es la principal y pertenece a la vertiente del río Bogotá. También el río de Subachoque es afluente de las quebradas de Cruz Verde, Cubitos 1 y 2, Paso Amarillo, Puerta de Cuero y Chorro del Hato, entre otras de menos importancia [21].

Una planta de tratamiento de aguas residuales tiene varias etapas como los son el tratamiento preliminar, Este proceso generalmente es físico y consiste en la disminución de sólidos suspendidos y acondicionamiento del líquido entrante. Uno de los tratamientos preliminares puede ser el cribado, este es un proceso por el cual se separa el material grueso del agua mediante el paso de esta por una rejilla o criba, este es usado para remover material grueso por medio de rejillas como un sistema de limpieza mecánico. Otro tratamiento preliminar es el desarenador este proceso tiene como finalidad la sedimentación de Arenas, gravas y otro material fino de origen inorgánico de manera tal que el material fino no traslade o/tras materias contaminadas, esta estructura también tiene como finalidad evitar sedimentaciones de este material fino en canales y conductos para proteger las partes móviles de los equipos de abrasión y evitar sobrecarga de sólidos en las unidades de tratamiento biológico. [2]

El tratamiento secundario es el proceso por el cual se realiza la remoción de contaminantes producidos por sustancias orgánicas disueltas en suspensión. Este tratamiento también funciona para la remoción de nitrógeno. [2]

Un zanjón de oxidación hace parte del tratamiento de secundario de aguas residuales. “Utiliza un canal ovalado, semejante a la pista de atletismo que circunda una cancha de fútbol, con un rotor (aireador) ubicado en forma transversal con el objeto de proporcionar aireación y circulación. El agua residual en el estanque de aireación, o canal, es aireada por el rotor y circula a una velocidad aproximada de 0,3 m/s. 2.- Proceso de lodos activados en su variante de aireación extendida. La diferencia radica en la configuración diseñada para facilitar su procedimiento constructivo y disminuir los costos de inversión y de operación y mantenimiento. Consiste en zanjas ovaladas y cerradas, con sección transversal trapezoidal, tirante de agua entre 1.00 y 1.80 metros. Estas zanjas se implementan con equipo mecánico, rotores o cepillos que imprimen movimiento al agua para mantener los sólidos en suspensión mezclados, aumentando el oxígeno necesario para mantener condiciones básicas anaerobias. El proceso tiene un tiempo de retención hidráulico entre 16 y 24 horas y una retención de lodos superiores a los 30 días. Las eficiencias obtenidas en remoción de DBO son superiores al 90% y los sólidos en exceso pueden ser manejados sin problemas de olor o de contaminación” [22]

#### 1.4.2. Estado del arte

Las aguas residuales a lo largo del tiempo ha sido un punto fundamental para la supervivencia de las personas, ya que desde tiempo atrás el mal trato que se les da estas aguas conlleva a problemas sanitarios y degradación de las cuencas hidrográficas. Es fundamental en la actualidad llevar un estricto y riguroso proceso para este tema ya que de no realizarse podemos perder ecosistemas completos, el verter estas aguas contaminadas de una manera constante en un cuerpo de agua, podría acabar con la vida de no solo las especies que habitan en ella, si no también se alimenten de ella, esto puede acabar en un enorme problema para la flora y fauna de la zona.

A principios del siglo XIX Estados Unidos era un país subdesarrollado y escasamente poblado. Los desechos humanos generalmente se eliminaban en letrinas de pozo o en zanjas de drenaje abiertas. El dramático aumento de la población y las industrias en las áreas urbanas y la conciencia pública de la conexión entre las enfermedades humanas y las necesidades de eliminación de desechos, hicieron necesario que las ciudades mejoraran las prácticas de gestión de desechos. El trabajo de la primera alcantarilla sanitaria en Estados Unidos se inició en Chicago 1855, 12 años después de que completara el primer sistema de alcantarillado sanitario del mundo en Hamburgo, Alemania. Se utilizaron varios tipos de tecnologías de tratamiento de aguas residuales como lo fueron: filtro percolador, tanque Imhoff, cloro líquido para desinfección y por último llegaron los lodos activos. [23]

Respecto al procedimiento de aguas residuales, en la utilización de plantas de procedimiento, como parte del proceso de procedimiento, se frecuenta integrar el procedimiento secundario de tipo biológico nombrado Lodos Activados. Esta clase de procesos se utilizan para transformar en flog biológico, la materia orgánica fina coloidal y disuelta en el agua residual, siendo este sedimentable, así como además firmes inorgánicos que tienen la posibilidad de ser removidos en tanques de sedimentación. Dichos procesos se emplean junto con procesos físicos y químicos para el procedimiento preliminar y primario del agua residual. [24]

Las aguas residuales son pueden ser degradadas por medios biológicos como los son los lodos activados, ya que estos tienen como objetivo coagular, remover los sólidos coloidales no sedimentables, los sólidos disueltos y estabilizar la materia orgánica. En el tratamiento de las aguas residuales industriales, también es importante reducir los compuestos orgánicos como inorgánicos que se concentran en ella, debido a que la mayoría de estos compuestos son tóxicos, y se deben incluir tratamientos adicionales para tratar este tipo de aguas residuales. [25]

Colombia inicia el tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Bogotá con la pta. el salitre, la cual inicio labores el 15 de septiembre del 1997 y ejecuto la unión temporal "Bogotana de aguas y saneamiento (BAS) Suez-Lyonnaise des Eaux – Ondeo Degremont", este fue un consorcio realizado exclusivamente para desarrollar el proyecto de la pta. salitre. La obra concluyo en el año 2000 y fue puesta en funcionamiento en septiembre del mismo año, desde entonces la pta. ha trabajado 24 horas 365 días del año. Conforme fue pasando el tiempo y por los esquemas de saneamiento en Bogotá se realizaron 2 pta. adicionales como lo fueron la pta. Fucha y la pta. Tunjuelo. [26]

"En septiembre 25 de 1997 fue declarado Municipio mediante Ordenanza No. 25 "Por la cual se crea el Municipio de El Rosal y se dictan otras disposiciones" emanada de la Asamblea de Cundinamarca. Gracias a la gestión adelantada por el Diputado Néstor Fabio Rico Rey con la colaboración y apoyo de algunos líderes y la comunidad Rosalina, labor ante la Asamblea y al entonces Gobernador de

Cundinamarca Dr. David Aljure. El 8 de febrero de 1998 se realizaron las primeras elecciones siendo elegido el primer alcalde y Concejo por voto popular". [27]

Esta Ptar tiene un diseño inicial de 26.39 litros por segundo, esto fue insuficiente ya que no daba abasto con la totalidad de las aguas residuales que se generaban en el municipio [28], esto llevo a que se generara una ampliación de esta ptar la cual inicio labores de construcción en 2015 y realizo entrega y puesta en marcha en 2018 [29], esta segunda fase busca tratar hasta 63,2 litros por segundo, en 2019 esta ptar estaba tratando alrededor de 56 litros por segundo y atendiendo una población de 32000 habitantes. [30]

Con lo nombrado anteriormente se puede evidenciar que a pesar de la ampliación realizada ya hace un poco más de 3 años la ptar de El Rosal Cundinamarca está cerca de llegar a su capacidad máxima, esto se debe evitar ya que, si excede su caudal máximo de diseño, se harán vertimientos de agua no tratada a las cuencas hidrográficas de la zona y esto haría que la cuenca del rio Subachoque que es donde se realizan estos vertimientos sufra graves daños para su ecosistema.

Gracias a los avances tecnológicos obtenidos en el último tiempo se han presentado muchos modelos matemáticos para analizar el proceso de lodos activos, algunos más completos que otros permiten evaluar la dinámica de esquemas de flujo del lodo activado e incluir degradación de materia orgánica, nitrificación, desnitrificación entre otras. Por más completos que se hallan realizado modelos ninguno de estos ha tenido una aceptación amplia en la puesta en práctica, solo los modelos más sencillos han recibido una acogida aceptable. [31]

En la actualidad los modelos matemáticos con mayor acogida son los modelos realizados por IWA, con los modelos llamados ASM1, ASM2, ASM2d y ASM3. Siendo el ASM1 y el ASM3 los más usados debido a que son capaces de simular la remoción de sustrato definido en términos de la DQO (demanda química de oxígeno) y nutrientes. Por otro lado, la calibración del modelo se basa en el método de adoptar propiedades que permitan explicar y simular la información procedente de una planta de procedimiento de agua residual. En este método se hallan desviaciones de 5 a 20% en sistema estacionario y de 10 a 40% en condiciones dinámicas, siendo ordinarios en esta última condición, aun con datos bien calibrados. Una vez que hace falta la simulación para objetivos de mejora del proceso, va a ser primordial calibrar el modelo con los datos del afluente y lodo de la misma planta. [32]

### 1.4.3. Marco normativo

- **RAS** Titulo E, este apartado del RAS nos muestra los criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales que se desarrollen en la República de Colombia, con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia dentro de un nivel de complejidad determinado [33]
- **Decreto 2811 de 1974** Este decreto fue expedido por código nacional de recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente. El ambiente es patrimonio común. El Estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo, que son de utilidad pública e interés social. [34]
- **Resolución 1433 de 2004** Esta resolución fue dictada por el ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial con el fin de obligar al estado a proteger la diversidad del ambiente, prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano, el deber de los ciudadanos de proteger los recursos culturales y naturales del país y velar por la conservación del ambiente [35]
- **Ley 99 de 1993** Esta ley fue expedida por el congreso de la república donde indican que la biodiversidad del país, por ser patrimonio nacional y de interés de la humanidad, deberá ser protegida prioritariamente y aprovechada en forma sostenible. [36]
- **Ley 9 de 1979** Esta ley fue decretada por el congreso de la república para Las normas generales que servirán de base a las disposiciones y reglamentaciones necesarias para preservar, restaurar u mejorar las condiciones necesarias en lo que se relaciona a la salud humana. Los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de los descargos de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del Ambiente. [37]
- **Conpes 3177** Este Conpes fue emitido por Consejo Nacional de Política Económica y Social para las acciones prioritarias y los lineamientos para la formulación del Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales (PMAR) con el fin de promover el mejoramiento de la calidad del recurso hídrico de la Nación. [38]
- **Ley 373 de 1997** El congreso expidió este decreto en su primer artículo para crear el Programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Todo plan ambiental regional y municipal debe incorporar obligatoriamente un programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Se entiende por programa para el uso eficiente y ahorro de agua el conjunto de proyectos y acciones que deben elaborar y adoptar las entidades encargadas de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica y demás usuarios del recurso hídrico



## 2. MARCO METODOLÓGICO

### 2.1. DETERMINAR CARACTERÍSTICAS DEL EFLUENTE QUE INGRESA A LA PTAR

Para determinar las características del efluente que ingresa a una ptar, es necesario realizar un laboratorio. Por rutina la ptar debe realizar una evaluación mensual de los efluentes de entrada y de salida de la ptar de El Rosal Cundinamarca, por ende, se solicitó por medio de una PQR los últimos laboratorios generados por ellos, dando entrega de estos laboratorios hasta el mes de diciembre del año 2021.

Una vez entregada la información de parte del acueducto de El Rosal Cundinamarca se procede a analizar las características fisicoquímicas del agua y con esto establecer algunos resultados esperados.

### 2.2. DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS DE LA PTAR

Para esto se revisó los procesos que realiza actualmente la ptar, en tratamiento preliminar maneja un desarenador rectangular, en tratamiento secundario maneja un zanjón de oxidación con 4 aireadores, un sedimentador secundario y un lecho de secado con un drenaje para lixiviados. [39]

Luego de esto establecer ciertas características físicas y operacionales para los elementos.

Tabla 1 Parámetros de diseño de sedimentadores

Tipo de Tratamiento	Carga Superficial (m <sup>3</sup> /día)		Carga de Sólidos (Kg/día-m <sup>2</sup> )		Profundidad (m)
	Caudal Promedio	Caudal Pico	Caudal Promedio	Caudal Pico	
Sedimentación secundaria	16 - 29 < 34	40 - 65 < 65	100 - 150	245	3,7 - 4,6
Sedimentación secundaria	8 - 33	24 - 49	23 - 164	164 - 234	3 - 6
Sedimentación después de filtro percolador	16 - 24	41 - 49	---	---	3 - 3,7
Sedimentación después de lodos activados (excluyendo aireación prolongada)	16 - 32	41 - 49	98 - 147	245	3,7 - 4,6
Sedimentación después de aireación prolongada	8 - 16	32	98 - 147	245	3,7 - 4,6

[40]

- Área de diseño

$$A_{\text{diseño}} = \frac{Q_{\text{diseño}}}{\text{Carga superficial pico}} ; \frac{202.5 \text{ m}^3/\text{h}}{1 \text{ m}^3/\text{h}} = 202.5 \text{ m}^2$$

[40]

- Área del sedimentador

$$A = \frac{Q_{\text{diseño}}}{\text{Carga superficial promedio}} ; \frac{202.5 \text{ m}^3/\text{h}}{0.33 \text{ m}^3/\text{h}} = 608 \text{ m}^2$$

[40]

- Volumen del sedimentador

$$V = A_{\text{diseño}} * \text{profundidad de agua} ; 202.5 \text{ m}^3/\text{h} * 4\text{m} = 812\text{m}^3$$

[40]

- Tiempo de retención

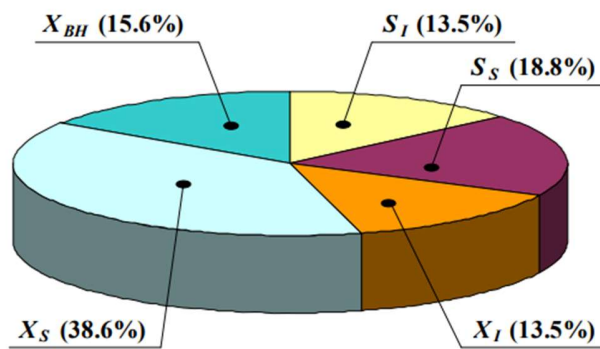
$$A = \frac{V * \text{Carga superficial promedio}}{Q_{\text{diseño}}} ; \frac{812\text{m}^3 * 0.33 \text{ m}^3/\text{h}}{202.5 \text{ m}^3/\text{h}} = 1.34 \text{ h}$$

[40]

### 2.3. AJUSTE DE LAS VARIABLES DEL EFLUENTE DE ENTRADA

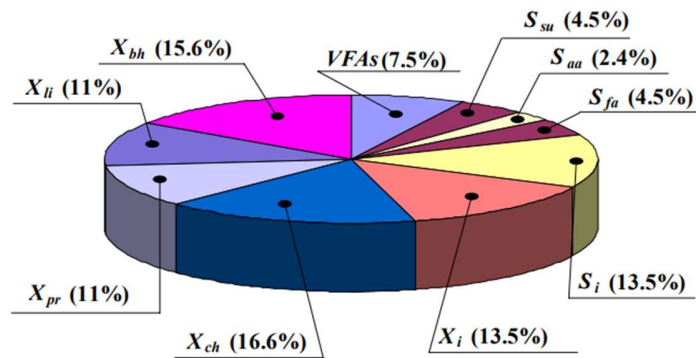
Para determinar los parámetros del efluente se tuvieron en cuenta 2 fuentes las cuales fueron, los laboratorios entregados por el acueducto de El Rosal Cundinamarca y las particiones típicas de la DQO sugeridas por el ASM1.

Ilustración 4 Partición de la DQO



[41]

Ilustración 5 Partición de la DQO total en base a LT



[41]

Tabla 2 fraccionamiento de la DQO

Fraccionamiento de la DQO	
(Xs)	38,6%
(Xu)	13,5%
(Ss)	18,8%
(Si)	13,5%
(Xu)	16,6%

Tabla 3 Resultados laboratorio mes de diciembre

ID	PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	LC	FECHA DE ANÁLISIS	RESULTADO ENTRADA
AC	Caudal	Volumétrico	L/s	NA	2021-12-23	52,367
AC	pH	SM 4500 H + B	Unidades de pH	NA	2021-12-23	6,9 - 7,9
AC	Temperatura	SM 2550 B	°C	NA	2021-12-23	19,1 - 22,7
AC	Sólidos Sedimentables	SM 2540 F	ml/L	0,1	2021-12-23	3,5 - 5
AL	DBO	SM 5210 B	mgO <sub>2</sub> /L	3	2021-12-24	427
AL	DQO	SM 5210 B	mgO <sub>2</sub> /L	40	2021-12-28	757,12

[42]

Con esta información completamos podemos determinar las características del efluente en GPS-X

Tabla 4 Asignación de la DQO al modelo

cod	DQO total	gCOD/m3	757.12
-----	-----------	---------	--------

Tabla 5 Asignación del oxígeno disuelto al modelo

so	oxígeno disuelto	gO <sub>2</sub> /m3	1.5
----	------------------	---------------------	-----

Tabla 6 Asignación de la fracción soluble en el modelo

frscod	fracción soluble de la DQO total	-	0.574
--------	----------------------------------	---	-------

Tabla 7 Asignación de las fracciones orgánicas en el modelo

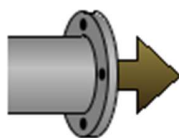
frsi	fracción inerte de la DQO soluble	-	0.135
frxs	fracción del sustrato en la DQO particulada	-	0.386
frxu	part. cell decay products fraction of particulate COD	-	0.166

#### 2.4. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO EN GPS-X

Ya teniendo las variables definidas podemos construir el modelo teniendo en cuenta los elementos ya previamente mencionados como lo son

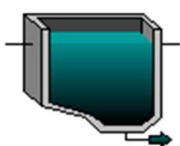
*Ilustración 6 Efluente de aguas residuales para el modelo en GPS-X*

**INFLUENT**



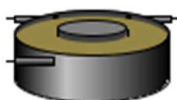
*Ilustración 7 Desarenador*

**DESANDER**



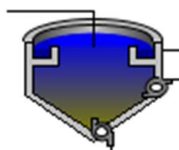
*Ilustración 8 Zanjón de oxidación*

**Oxidation ditch**



*Ilustración 9 Tanque clarificador*

**CLARIFIER**



*Ilustración 10 Digestor anaeróbico*

**DIGESTER**



Ilustración 11 Descarga del efluente

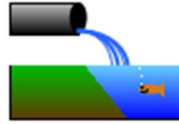
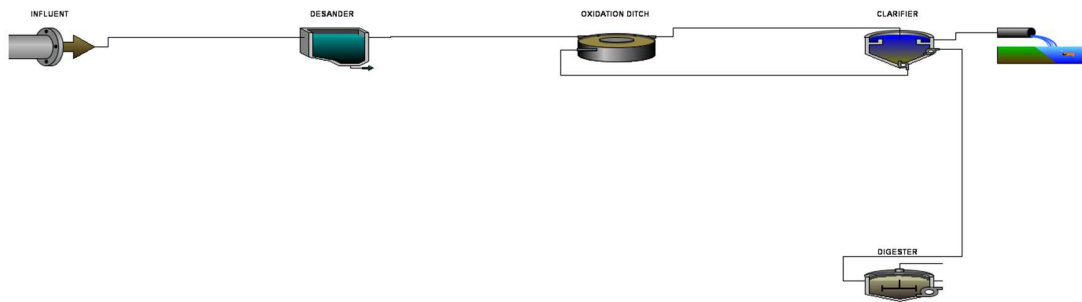
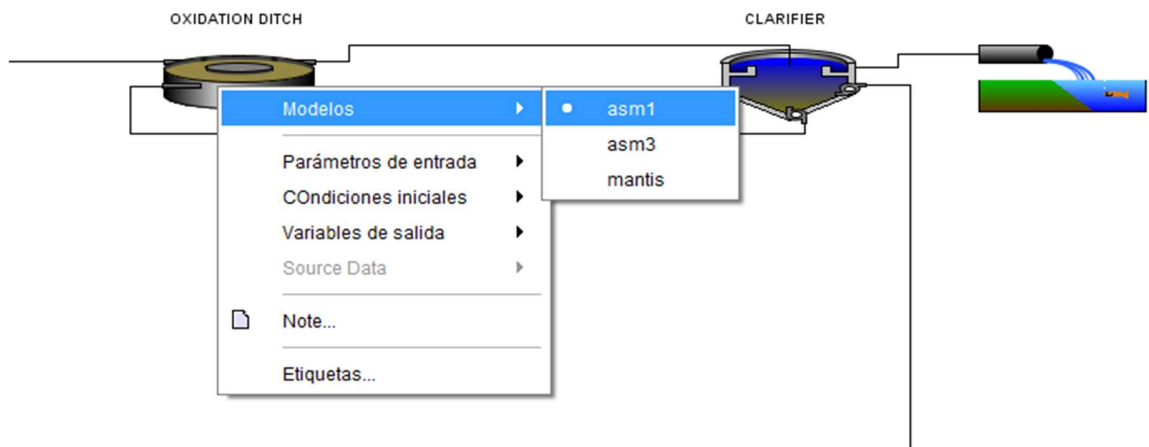


Ilustración 12 Modelo de la ptar



Luego de generar el modelo, ajustamos las características del modelo y reactores.

Ilustración 13 Ajustando el modelo bajo la metodología ASM1



Luego ajustamos las características del Zanjón de oxidación.

Ilustración 14 Características del Zanjón de oxidación

**Físico**

**Dimensiones**

[51] método de montaje del volumen: Fracciones de Volumen

**Fracciones de Volumen**

[51] profundidad del tanque: 4.0 m

[51] volumen máximo: 812.0 m<sup>3</sup>

[51] fracciones de volumen: (...)

**Volumen individual**

[51] volumen de una celda individual: (...)

**Channel Dimensions**

[51] anchura del canal: 8.0 m

Más ...

Aceptar Cancelar

Luego de esto, pasamos a la sección de simulación del software y en el panel de control de entrada dejamos solo el manejo del caudal y de la DQO

Ilustración 15 Controles del simulador en el software GPS-X

**Controls**

Entrada: 1

[1] flujo influente: 4580.0 m<sup>3</sup>/d (0.0 to 10000.0)

[1] DQO total: 757.12 gCOD/m<sup>3</sup> (0.0 to 3785.6)

Ya con todas las variables ajustadas podemos correr el modelo y analizar los datos arrojados por el software, bajo condiciones normales, luego ajustaremos los escenarios los cuales serán, duplicar el caudal de ingreso a la PTAR y el otro escenario será aumentar en un 50% el aumento de la carga de DQO del efluente entrante.

### 3. RESULTADOS Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

#### 3.1. ESCENARIO 1

Para el escenario en condiciones normales se optó por hacer un comparativo con los resultados arrojados por el software contra el ultimo laboratorio entregado por la PTAR.

Ilustración 16 Condiciones del primer escenario



#### 3.1.1. Sólidos suspendidos totales

Tabla 8 Sólidos suspendidos totales arrojados por el laboratorio

ID	PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	LC	FECHA DE ANÁLISIS	RESULTADO ENTRADA	RESULTADO SALIDA
AL	Sólidos suspendidos totales	SM 2540 D	mg SST/L	5	2021-12-28	204	99

Tabla 9 Sólidos suspendidos totales arrojados por el modelo en el primer escenario

SST	g/m3	124.1
-----	------	-------

Tabla 10 Remoción de sst en el primer escenario

SST ENTRADA	SST SALIDA	REMOCIÓN
238,9 g/m3	124,1 g/m3	48,05%

Debemos tener en cuenta que bajo la normativa colombiana para los sólidos suspendidos totales el máximo permisible es 90 mg/L, esto según la resolución 631 de 2015 del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. En los dos escenarios tanto en el laboratorio como en el modelo nos encontramos por encima del límite permitido por la resolución 631, esto puede ser perjudicial para los cuerpos de agua a los que van a ser vertidas estas aguas, debido a que estos sólidos suspendidos totales están compuestos de materia orgánica e inorgánica, minerales y metales.

Aun así, está cerca tanto el laboratorio como el modelo están cerca de cumplir con los límites establecidos por la resolución 631 en cuanto a sólidos suspendidos totales.



### 3.1.2. DQO

Ilustración 17 DQO arrojado en el laboratorio

ID	PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	LC	FECHA DE ANÁLISIS	RESULTADO ENTRADA	RESULTADO SALIDA
AL	DQO	SM 5210 B	mgO <sub>2</sub> /L	40	2021-12-28	757,12	465,92

Ilustración 18 DQO arrojado por el modelo en el primer escenario

DQO	g/m3	357.4
-----	------	-------

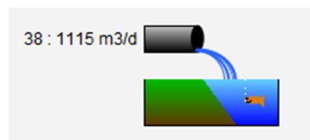
Tabla 11 Remoción de DQO en el primer escenario

DQO ENTRADA	DQO SALIDA	REMOCIÓN
757,12 g/m3	357,4 g/m3	52,79%

El máximo permisible en la DQO es 180 mg/L, este límite establecido por resolución 631 de 2015 del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Los altos niveles de DQO presentados tanto en el modelo como en el laboratorio nos indica que el agua sigue saliendo con altos niveles de contaminación y esto también lleva a que exista agotamiento de oxígeno en el agua y como consecuencia esto provoca una muerte masiva de animales acuáticos, Esto es un impacto negativo importante para el ecosistema de la zona.

### 3.1.3. Caudal

Ilustración 19 Caudal de salida en el primer escenario



## 3.2. ESCENARIO 2

En este escenario vamos a evaluar el mismo modelo con el doble de caudal.

Ilustración 20 Condiciones iniciales para el segundo escenario



### 3.2.1. Solidos suspendidos totales

Ilustración 21 Solidos suspendidos arrojados por el modelo en el segundo escenario

SST	g/m3	157.0
-----	------	-------

Tabla 12 Remoción de sst en el segundo escenario

SST ENTRADA	SST SALIDA	REMOCIÓN
238,9 g/m3	157 g/m3	34,28%

Máximo permisible es 90 mg/L según la resolución 631 de 2015 del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Para este escenario la remoción de los sólidos suspendidos totales disminuyo un 13% aproximadamente, sigue sin cumplir los estándares de la normativa, de los tres escenarios este es el peor en cuanto sst, ya que presenta un 58% mas de lo permitido por la norma.

### 3.2.2. DQO

Ilustración 22 DQO arrojado por el modelo en el segundo escenario

DQO	g/m3	412.3
-----	------	-------

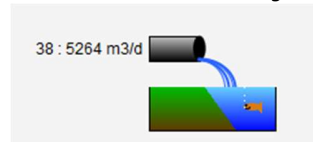
Tabla 13 Remoción de DQO en el segundo escenario

DQO ENTRADA	DQO SALIDA	REMOCIÓN
757,12 g/m3	412,3 g/m3	45,54%

Máximo permisible en este caso es 180 mg/L, según la resolución 631 de 2015 del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. En este caso se está bastante lejos de estar adentro de los límites de la resolución, para esto la ptar debe realizar una remoción de aproximadamente un 78%, para este escenario se debe remover un 33% más.

### 3.2.3. Caudal

Ilustración 23 Caudal de salida en el segundo escenario



## 3.3. ESCENARIO 3

En este escenario vamos a evaluar el modelo con el doble de la DQO.

Ilustración 24 Condiciones iniciales para el tercer escenario



### 3.3.1. Solidos suspendidos totales

Ilustración 25 Solidos suspendidos arrojados por el modelo en el tercer escenario

SST	g/m3	137.5
-----	------	-------

Tabla 14 Remoción de sst en el tercer escenario

SST ENTRADA	SST SALIDA	REMOCIÓN
238,9 g/m3	137,5 g/m3	42,44%

Máximo permisible es 90 mg/L según la resolución 631 de 2015 del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Para este escenario los sólidos suspendidos totales son similares a los mostrados en el escenario 1, de igual manera no está adentro de los límites permisibles, la remoción debe estar alrededor del 63%.

### 3.3.2. DQO

Ilustración 26 DQO arrojado por el modelo en el tercer escenario

DQO	g/m3	597.3
-----	------	-------

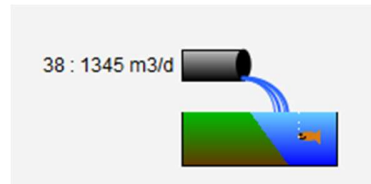
Tabla 15 Remoción de DQO en el tercer escenario

DQO ENTRADA	DQO SALIDA	REMOCIÓN
1514,24 g/m3	597,3 g/m3	60,55%

Máximo permisible en este caso es 180 mg/L, según la resolución 631 de 2015 del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Para este escenario el efluente es bastante alto y llega a ser preocupante ya que llega a ser 3 veces más que el límite permitido. Para este escenario la remoción de DQO debe estar alrededor de un 88%.

### 3.3.3. Caudal

Ilustración 27 Caudal de salida en el tercer escenario



#### 4. CONCLUSIONES

---

Habiendo obtenido los resultados de DQO, SST y caudal de los 3 escenarios planteados, con las características de entrada mostradas anteriormente recopiladas de la PTAR del de El Rosal Cundinamarca que los escenarios planteados y modelados en GPS-X fueron exitosos

En el escenario 1 podemos ver que el tratamiento si se asimilan a los resultados arrojados por los laboratorios a los generados por el modelo.

La PTAR actualmente tiene resultados negativos como lo muestra tanto los laboratorios como el modelado, estos resultados tanto de solidos suspendidos totales como de DQO están por encima de los máximos permitidos por la resolución 631.

En el escenario 2 el escenario nos presenta una remoción de solidos suspendidos totales bastante regular, nos muestra una remoción del 34.28%, pero el panorama no tiene un cambio sustancial en la DQO ya que sube en cuanto al escenario anterior su remoción no cambia sustancialmente al igual sigue sin cumplir los máximos permisibles establecidos por la resolución 631.

En el escenario 3 incrementamos al doble la DQO y existieron panoramas un poco mejores en cuanto a remociones comparado con el escenario anterior, debido a que aumento la remoción de la DQO y la de solidos suspendidos totales, pero aun así sigue sin ser suficiente para la alcanzar los límites máximos permitidos por la resolución 631.

En general en ninguno de los 3 escenarios ni en las pruebas de laboratorio cumplen con la resolución 631 si bien los sólidos suspendidos totales se acercan un poco más a este límite de la normativa la DQO deja datos bastante preocupantes como lo mostrado en el 3er escenario donde el efluente de DQO es 3 veces mayor al límite permitido, incluso el resultado de laboratorio nos da un valor aproximado de 2.5 veces el valor limite.

Estos valores de DQO no son datos menores, debido a que como se mencionó anteriormente estos son altos niveles de contaminación y esto también puede causar agotamiento de oxígeno en el agua, creando así una muerte masiva de vida acuática y con esto crear impactos negativos bastante preocupantes para este ecosistema.

Acá podemos concluir que es debido que el acueducto de El Rosal Cundinamarca revise los rendimientos de los elementos que actualmente funcionan en esta PTAR ya que el no cumplimiento de esta normativa generara un impacto negativo bastante significativo en cuenca del rio Subachoque. Debemos tener en cuenta que esta cuenca desemboca en la cuenca del rio Bogotá y allí se va ampliando el daño ambiental generado por el no cumplimiento de la resolución 631 del ministerio del medio ambiente

## 5. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

---

- Realizar el análisis de la PTAR, pero esta vez enfocado al análisis de nitratos, para tener el panorama completo del estado de la PTAR y con esto poder crear un mejoramiento general de esta planta de tratamiento de aguas residuales.
- Revisar la última ampliación generada, ya que la llegada de parques industriales a la zona aumenta el caudal de entrada a la PTAR de manera significativa, esto implicaría que, si la PTAR no da abasto con las aguas residuales que se generan, se realizaran vertimientos de estas aguas residuales a los cuerpos de agua y en este caso el impacto ambiental negativo sería mucho peor.
- Revisar el estado de la cuenca del río Subachoque, enfocado a la demanda química de oxígeno y con esto tener un panorama de cómo se encuentra este con los malos tratos que ha recibido

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- [1] J. L. L. Navia, «Modelación del proceso de lodos activados en la planta de tratamiento de aguas residuales noreste, del area metropolitana de Monterrey,» Edo Mexico, Ciudad de Mexico , 2007.
- [2] L. J. G. Nieto y V. D. R. Ibarra, «PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA,» Universidad Catolica de Colombia , Bogota, 2016.
- [3] A. L. O. Pérez y E. S. R. Urrego, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA MODELO DE TRATAMIENTO,» Universidad Catolica de Colombia, Bogota, 2019.
- [4] A. O. Jaramillo, Bioingeniería de aguas residuales, Bogota: ACODAL, 2005.
- [5] ACUATECNICA, «acuatecnica.com,» 05 Junio 2017. [En línea]. Available: <https://acuatecnica.com/la-situacion-del-tratamiento-aguas-residuales-colombia/>. [Último acceso: 08 02 2022].
- [6] B. Maria, G. Claudia, M. Richerd y R. Miguel, «Modelo promedio de un proceso de lodos activados en alternancia de fases para la remoción de nitrógeno en aguas residuales,» Revista Ciencia e Ingeniería, Merida , 2012.
- [7] R. H. L. Marina, «Modelación en los softwares West y Mathematica, para la calibración del proceso de biorreactores de membrana,» Universidad de Granada , Granada , 2014.
- [8] Acuatecnica s.a.s, «¿CUÁNTAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES HAY EN COLOMBIA?,» Acuatecnica s.a.s, Bogota, 2017.
- [9] Ó. M. MÓJICA, «El Tiempo,» El Tiempo, 12 Octubre 2018. [En línea]. Available: <https://www.eltiempo.com/bogota/plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-estan-contaminando-el-rio-bogota-280670>. [Último acceso: 01 02 2021].
- [10] Corporación autónoma regional , «CAR,» CAR, 15 Noviembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.car.gov.co/saladeprensa/culminadas-obras-de-ampliacion-de-la-ptar-el-rosal-se-trataran-63-2-litros-de-agua-por-segundo>. [Último acceso: 01 02 2022].

- [11] H. Rodríguez Pimentel, «IAGUA,» 13 Marzo 2017. [En línea]. Available: <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>.
- [12] J. Marengo, «BID,» 25 08 2019. [En línea]. Available: <https://www.iadb.org/es/mejorandovidias/como-esta-america-latina-en-terminos-de-saneamiento>.
- [13] R. Saldaña, «iagua,» 05 Agosto 2020. [En línea]. Available: <https://www.iagua.es/blogs/rossember-saldana-escorcia/colombia-frente-al-tratamiento-aguas-residuales>.
- [14] E. F. Mendez Bucurú, «Informacion sobre la contaminacion del rio subachoque,» Universidad Nacional abierta y distancia , Bogota, 2017.
- [15] E. A. Iturrate, «Nueva metodologia de modelado matemaatico integral de las EDAR,» Universidad de Navarra, Pamplona, 2007.
- [16] R. L. ,. P. V. Mathieu Beaupré, Implementation of a dynamic cost calculation module for Avedore WWTP using WEST, Quebec: Université Laval, 2008.
- [17] C. Raddato, «archdaily,» 11 julio 2020. [En línea]. Available: <https://www.archdaily.co/co/943077/la-evolucion-de-los-banos-lecciones-historicas-para-aspirar-a-un-futuro-con-espacios-seguros-e-inclusivos>. [Último acceso: 16 05 2022].
- [18] G. B. M. H. A. G. F. J. C. C. Carlos M. López Vázquez, Tratamiento biológico de aguas residuales, IWA Publishing, 2017.
- [19] J. J. Echavarría y M. Villamizar, «banrep.gov.co,» [En línea]. Available: <https://www.banrep.gov.co/docum/ftp/borra361.pdf>. [Último acceso: 14 02 2022].
- [20] H2O es Vida S.A.S, «NFORME DE CARACTERIZACIÓN DE VERTIMIENTOS,» H2O es Vida S.A.S, El Rosal, 2021.
- [21] El Rosal Cundinamarca, «elrosal-cundinamarca.gov.co,» 2015. [En línea]. Available: [elrosal-cundinamarca.gov.co](http://elrosal-cundinamarca.gov.co). [Último acceso: 22 02 2022].
- [22] Aguamarket, «AguaMarket,» [En línea]. Available: <https://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=1701&termino=zanj+de+oxidacion>. [Último acceso: 07 03 2022].

- [23] S. R. Qasim, *Wastewater Treatment Plants: Planning, Design, and Operation*, Texas: crc press, 2017.
- [24] W. H. M. GUJER, *Modelling an Simulation*. Swiss Federal Institute for Water Resources and Water Pollution Control, Dubenfort, 1991.
- [25] G. Moeller y A. C. Tomasini, «Metodología de lodos activados,» de *Metodología de lodos activados*, p. 148.
- [26] Agua y alcantarillado de Bogota, «Acueducto,» s.f s.f s.f. [En línea]. Available: [https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/ambiente/saneamiento/rio-bogota/ptar-salitre/historia-de-la-ptar-salitre!/ut/p/z0/fYxDolwFEV\\_pUvnVxikzFIdCAh0QS6kIc2Wi190D6Mn291cnI8555c0NCB9v i0V2RLHI3iXhdD0W5VtIF5U1f7QrVlfqyr5pRXuwwOoP8H6cHel0WXoM\\_k2bw](https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/ambiente/saneamiento/rio-bogota/ptar-salitre/historia-de-la-ptar-salitre!/ut/p/z0/fYxDolwFEV_pUvnVxikzFIdCAh0QS6kIc2Wi190D6Mn291cnI8555c0NCB9v i0V2RLHI3iXhdD0W5VtIF5U1f7QrVlfqyr5pRXuwwOoP8H6cHel0WXoM_k2bw).
- [27] elrosal cundinamarca, «elrosal-cundinamarca,» 23 11 2017. [En línea]. Available: <http://www.elrosal-cundinamarca.gov.co/municipio/historia-de-el-rosal>.
- [28] C. Ortiz, M. C. López y F. A. Rivas, «Prevalencia de helmintos en la planta de aguas residuales del municipio El Rosal, Cundinamarca,» Scielo, Bogota, 2011.
- [29] Empresa de Acueducto Alcantarillado y Aseo de El Rosal, El Rosal S.A.E.S.P., «Empresa de Acueducto Alcantarillado y Aseo de El Rosal, El Rosal S.A.E.S.P.,» 21 11 2019. [En línea]. Available: <http://www.acueductoelrosal.gov.co/noticias/entrega-y-puesta-en-marcha-ptar>.
- [30] CAR, «CAR,» 15 noviembre 2019. [En línea]. Available: Culminadas obras de ampliación de la PTAR El Rosal, se tratarán 63,2 litros de agua por segundo.
- [31] G. Langergraber, L. Rieger, S. Winkler, J. Alex, J. Wiese, C. Owerdieck, M. Ahnert, J. Simon y M. Maurer, A guideline for simulation studies of wastewater treatment plants, *Water Sci Technol*, 2004.
- [32] H. Melcer, *Methods for Wastewater Characterization in Activated Sludge Modelling*, IWA PUBLISHING, 2004.
- [33] Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, «minvivienda.com,» Noviembre 2000. [En línea]. Available: [https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/010710\\_ras\\_titulo\\_e\\_.pdf](https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/010710_ras_titulo_e_.pdf). [Último acceso: 02 02 2022].



- [34] Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, «secretariassenado,» 27 Enero 1975. [En línea]. Available: [http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/decreto\\_2811\\_1974.html](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/decreto_2811_1974.html). [Último acceso: 02 02 2021].
- [35] MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, «cvc,» 13 Diciembre 2004. [En línea]. Available: [https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Sistema\\_Gestion\\_de\\_Calidad/Procesos%20y%20procedimientos%20vigentes/Normatividad\\_Gnl/Resolucion%201433%20de%202004-Dic-13.pdf](https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Sistema_Gestion_de_Calidad/Procesos%20y%20procedimientos%20vigentes/Normatividad_Gnl/Resolucion%201433%20de%202004-Dic-13.pdf). [Último acceso: 02 02 2022].
- [36] «EL CONGRESO DE COLOMBIA,» 22 Diciembre 1993. [En línea]. Available: [http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_0099\\_1993.html](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0099_1993.html). [Último acceso: 02 02 2022].
- [37] EL CONGRESO DE COLOMBIA, «minsalud,» 09 Febrero 1979. [En línea]. Available: [https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/LEY%200009%20DE%201979.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/LEY%200009%20DE%201979.pdf). [Último acceso: 02 02 2022].
- [38] «Consejo Nacional de Política Económica y Social,» 15 Julio 2002. [En línea]. Available: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3177.pdf>. [Último acceso: 2 Febrero 2022].
- [39] CSD, «CSD & CIA,» [En línea]. Available: <http://csd.com.co/proyectos/planta-de-tratamiento-de-agua-residual-del-municipio-el-rosal/>. [Último acceso: 16 05 2022].
- [40] J. Romero, Potabilización del agua, Mexico D.F: Alfaomega grupo editor, 1999.
- [41] P. G. Gumbau, «Nueva metodología de modelado matemático integral de las edar,» Universidad de Navarra, Navarra, 2007.
- [42] H. e. v. S.A.S, «INFORME DE CARACTERIZACIÓN DE VERTIMIENTOS EL ROSAL S.A E.S.P,» H2O es vida S.A.S, Rosal Cundinamarca, 2021.
- [43] L. j. G. Nieto y V. D. Rojas.
- [44] N. M. Duarte y K. L. M. Rodríguez, «Modelado del proceso de lodos activados para la remoción de materia orgánica, de la planta de tratamiento de aguas residuales salitre, mediante el uso del software asm1,» 18 Mayo 2021. [En línea]. Available:

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/26757/1/Trabajo%20de%20grado.pdf>  
. [Último acceso: 08 02 2022].

## **ANEXO 1.**

**Laboratorio mes de diciembre de la  
PTAR de El Rosal Cundinamarca**

**MODELACIÓN DEL ZANJÓN DE OXIDACIÓN DEL  
MUNICIPIO DE EL ROSAL MEDIANTE ASM1.**