

DISEÑO TÉCNICO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
(PTAR) PROCEDENTES DE UN CENTRO DE EVENTOS UBICADO A LAS AFUERAS DE  
BOGOTÁ D.C.

FRANCISCO JAVIER TALERO RODRÍGUEZ

PROYECTO INTEGRAL DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
ESPECIALISTA EN GESTIÓN AMBIENTAL

DIRECTOR:

DIANA CAROLINA GARZÓN VELASCO

INGENIERA AMBIENTAL

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL

BOGOTÁ D.C

2023

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Nombre del director

Firma del Director

---

Nombre

Firma del presidente Jurado

---

Nombre

Firma del Jurado

---

Nombre

Firma del Jurado

Bogotá, D.C. agosto de 2023

## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García Peña

Vicerrector Académico de Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decano Facultad de Ingenierías

Dra. Naliny Patricia Guerra Prieto

Directora Ingeniería Química

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

## CONTENIDO

1. OBJETIVOS	11
1.1. Objetivo general	11
1.2. Objetivos específicos	11
2. MARCO TEÓRICO	12
3. PARÁMETROS DE ESTUDIO DEL AGUA RESIDUAL	17
3.1. Identificación de los parámetros fisicoquímicos y biológicos	17
3.2. Determinación de la carga contaminante	19
4. DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	20
4.1. Selección y diseño del proceso definitivo de tratamiento de aguas	20
5. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO	25
5.1. Descripción de los beneficios económicos del proyecto	25
5.2. Identificación de la viabilidad económica del proyecto	26
6. CONCLUSIONES	28
7. RECOMENDACIONES	29
BIBLIOGRAFÍA	30

## LISTADO DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Sistema de rejas en STOAT	20
<b>Figura 2.</b> Sedimentador primario en STOAT	21
<b>Figura 3.</b> Sistema de lodos activados en STOAT	22
<b>Figura 4.</b> Sistema de sedimentación secundaria en STOAT	23
<b>Figura 5.</b> Sistema de tratamiento avanzado en STOAT	23
<b>Figura 6.</b> Mecanismo financiero para el plan de tratamiento de aguas residuales	27

## LISTADO DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Parámetros de calidad del agua	14
<b>Tabla 2.</b> Equipos usados en una PTAR	15
<b>Tabla 3.</b> Normativa de aguas vigente en Colombia	16
<b>Tabla 4.</b> Parámetros fisicoquímicos del agua a tratar y límites permisibles	18
<b>Tabla 5.</b> Cargas contaminantes establecidas	19
<b>Tabla 6.</b> Resultados obtenidos de los factores críticos	24

## RESUMEN

Este proceso de investigación presenta la incorporación de un diseño y modelamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales provenientes de un centro de eventos ubicado a las afueras de Bogotá D.C. En términos generales se realizó un diagnóstico de la calidad del agua de salida, superando los límites permisibles en demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos totales (SST), tomando en consideración lo establecido en la resolución 0631 de 2015 para vertimientos en cuerpos hídricos. Partiendo de esta premisa, se generó el diseño, el cual parte de un pretratamiento mediante un sistema de rejillas, un tratamiento primario que se basa en un mecanismo de sedimentación, pasando a un mecanismo secundario a partir de un sistema de lodos activados y llegando finalmente a la eliminación de componentes patógenos mediante cloración. Lo mencionado anteriormente ayudó a proporcionar una reducción del 48% y 56% con respecto al DQO y SST, respectivamente, posterior a la simulación del proceso mediante el uso del software especializado STOAT.

Palabras clave: Tratamiento de aguas, lodos activados, aguas domésticas, tratamiento biológico, tratamiento avanzado, simulación de procesos.

## INTRODUCCIÓN

Al paso de las últimas décadas se ha establecido que la protección de los recursos del planeta es un factor fundamental para la construcción y crecimiento de la humanidad, esto considerando un enfoque hacia un futuro prometedor donde se encuentre un punto de estabilidad y respeto entre la población y su entorno ambiental. Por su parte, la gestión adecuada de las aguas residuales es un tema crucial en la actualidad, dado el impacto que tiene sobre el medio ambiente y la salud pública. Las aguas residuales son el resultado de las actividades humanas, desde el consumo doméstico hasta la industria y la agricultura (Rivera, 2014). Por su parte, se puede considerar que en términos generales, estas aguas se liberan directamente al medio ambiente sin tratamiento, lo que puede tener graves consecuencias para la calidad del agua y la salud de las personas y los ecosistemas que dependen de ella (Mendez et al., 2014).

Del mismo modo, teniendo como fundamento lo mencionado anteriormente, el agua entra a jugar un papel primordial al ser considerada como un recurso naturalmente renovable pero a la vez agotable en cuanto a sus límites de consumo (García Astillero, 2019), recalcando de esta manera la necesidad que existe para poder recuperar y reincorporar la mayor parte posible mediante procesos de tratamiento del recurso hídrico usado, ya sea de procesos domésticos o industriales. Así mismo, es fundamental resaltar que el tratamiento de aguas residuales es un proceso complejo que involucra diversas etapas y tecnologías. En términos generales, el tratamiento de aguas residuales se divide en tres etapas principales: la etapa primaria, la etapa secundaria y la etapa terciaria. En la etapa primaria, se lleva a cabo la separación física de los sólidos y líquidos presentes en el agua residual (Mendez et al., 2014). En la etapa secundaria, se emplean procesos biológicos para eliminar la materia orgánica disuelta y los microorganismos presentes en el agua (López et al., 2001). En la etapa terciaria, se utilizan procesos químicos y físicos para remover los contaminantes y los nutrientes que pueden ser perjudiciales para el medio ambiente y la salud humana (González & González, 2017).

Dicho esto, y tomando una visión al sector económico, se establece que el mal manejo de las aguas residuales puede conllevar a generar sistemas de inversión donde se disponga el recurso hídrico por medio de la contratación de empresas terceras. Por su parte, al garantizar un manejo interno de las aguas residuales producidas se puede generalizar en evitar la aparición de posibles multas medioambientales, esto provocado por la mala disposición lo que conlleva a la afectación

del ecosistema (J. Serrano & Gonzales, 2016). Así mismo, y como lo plantean diversas empresas especializadas en el modelamiento y manejo de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), otro punto fundamental en el ámbito económico se ve reflejado netamente hacia el sector agrícola y ganadero, donde se enfatiza que el uso de aguas tratadas trae consigo menores costos de adquisición en comparación con aguas convencionales (DISIN S.A, 2019).

Del mismo modo, y tratando un enfoque social, se establece una posible problemática a recalcar como lo es la demografía a partir de la ejecución de un proyecto de diseño en el sector (Álferez & Nieves, 2019); es por esta razón que es fundamental la incorporación de un estudio de consulta ambiental mediante el cual se dé a conocer a las poblaciones cercanas los lineamientos del proyecto, y a la vez promover la generación de empleos directos para las comunidades aledañas. Además, se puede establecer que el tratamiento de aguas residuales se ha convertido en una preocupación global, debido al aumento en la demanda de agua potable y al deterioro de la calidad del agua en muchas regiones del mundo. De esta manera, el tratamiento de aguas residuales ha pasado a retratarse como una prioridad para muchas empresas, gobiernos y organizaciones no gubernamentales que buscan mejorar la calidad de vida de las personas y proteger el medio ambiente.

Finalmente, y no menos importante, es indispensable resaltar que uno de los principales puntos a tratar frente a las problemáticas se encuentra asociado de manera directa al ámbito ambiental; donde, a partir de lo señalado por el grupo Banco Mundial, cerca del 80% del agua residual a nivel global se está vertiendo a los ecosistemas sin ningún tipo de tratamiento (World Bank Group, 2020), lo cual llega a comprometer el medio ambiente, y se promueve la pérdida de posibles nutrientes y agua purificada que se pueden recuperar.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1. Objetivo general.**

Diseñar un proceso de tratamiento de aguas residuales (PTAR) mediante el cual se establezca una ruta de acción para la purificación de aguas domésticas producidas por un centro de eventos ubicado a las afueras de Bogotá D.C.

### **1.2. Objetivos específicos.**

- Analizar los parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua residual proporcionados por el centro de eventos.
- Definir las fases de tratamiento necesarias para purificar las aguas provenientes del centro de eventos.
- Determinar un análisis económico que represente el sistema de tratamiento de las aguas residuales.

## 2. MARCO TEÓRICO

En determinado punto de vista el desarrollo de procesos para el tratamiento de aguas residuales se puede considerar como un enfoque de investigación que lleva décadas en constante evolución, planteando mejoras en el desarrollo metodológico de purificación del bien hídrico. Si bien, existen diversas tecnologías que hacen parte del proceso de elaboración del diseño, hay secciones del tratamiento que requieren primordial enfoque, como por ejemplo el mecanismo secundario del proceso, el cual está guiado directamente a la solución de mecanismos biológicos los cuales funcionan mediante direccionamientos aeróbicos y anaeróbicos (Carzola Vinueka et al., 2021); dado que ésta es una línea de acción que posee distintas ramificaciones o modificaciones en cuanto a su diseño técnico, es indispensable resaltar que en tema literario se presentan procesos teóricos como el planteado por los investigadores Cazorla, Zambrano, López y Ríos en su artículo científico, dando a conocer la siguiente lista de principales módulos.

- Sistema de tratamiento por lodos activados (ASP).
- Mecanismo por lodo activado cíclico (CASS).
- Sistema por película fija (IFAS).
- Biorreactor de membrana (MBR).

Así mismo, y siguiendo con un enfoque al principio biológico, se presenta en la literatura otros procesos de investigación que rigen la orientación de ingeniería a la eliminación de nutrientes patógenos mediante el uso de actividades específicas como el crecimiento suspendido y adherido, llegando así a promover la limpieza microbiológica mediante adsorción, floculación y oxidación del material orgánico (Gomez, 2014).

Por su parte, en la industria se presentan otras tecnologías aplicadas al sector hídrico que han revolucionado el estudio con respecto al tratamiento de aguas residuales, como lo es el ejemplo planteado por los investigadores Muñoz y Ramos, generando una simbiosis de procesos mediante reactores discontinuos secuenciales, los cuales generan un cambio significativo ante una variabilidad del uso de lodos activos, llegando a garantizar la unión de diferentes actividades características del tratamiento, como lo son la mezcla, reacción y sedimentación, esto con la finalidad de reducir la carga orgánica presente (Muñoz & Ramos, 2014). Así mismo, y tomando en consideración lo establecido hasta

este punto, en el ámbito del tratamiento de aguas existen diversas fases según las características fisicoquímicas representativas del agua, tal como se explica en diferentes procesos de investigación, partiendo una primera etapa en la cual se retiran los componentes sólidos que estén presente, seguido por una etapa intermedia que, como ya se mencionó anteriormente, se enfoca en eliminar la materia orgánica presente, y finalmente una tercera etapa que se especializa en el manejo de procesos para la purificación del agua tratada que lleva consigo nutrientes que no se pudieron extraer en etapas previas (Marín, 2021).

Puesto que en el estudio de tratamiento de aguas residuales es primordial profundizar en la calidad con la que ingresa y sale el recurso hídrico del sistema de purificación, se ha generalizado en ciertas variables del procedimiento que ayudan a garantizar el adecuado manejo del proceso establecido, tal y como se puede observar en la tabla 1 del presente documento.

**Tabla 1.**

*Parámetros de calidad del agua.*

<b>Parámetro fisicoquímico</b>	<b>Importancia</b>
<b>Potencial de hidrógeno</b>	Estudio relevante en el sistema de tratamiento debido a que puede generar problemas operacionales relacionados con la corrosión de equipos.
<b>Alcalinidad</b>	Requerido con el fin de incorporar al sistema iones de hidrógeno sin comprometer la alteración abrupta de pH.
<b>Conductividad</b>	Mecanismo para generar un transporte de corriente eléctrica por medio del agua, un valor elevado de este parámetro representa un aumento en la carga de contaminantes disueltos.
<b>Oxígeno disuelto</b>	Establece los requerimientos necesarios de la condición anaeróbica o aeróbica representativa del agua residual.
<b>Temperatura</b>	Factor fundamental del sistema, el cual puede llegar a alterar las condiciones del agua a tratar, ya sea desde un punto de vista químico, físico y/o biológico.

*Nota.* La tabla muestra los principales parámetros de referencia de calidad del agua residual. Tomado de: [https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/5174/digital\\_36271.pdf?sequence=1](https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/5174/digital_36271.pdf?sequence=1).

Previamente se mencionó que uno de los principales mecanismos de acción para el tratamiento de aguas residuales es el conocido sistema por lodos activados; dado que hasta este puntoteórico no se ha reflejado una explicación concisa del proceso en general se debe generalizar en dicho mecanismo. Así pues, partiendo de la literatura adquirida del tema, se puede establecer que este conlleva una serie de etapas específicas bajo las cuales se rige el proceso, donde se reflejan secciones importantes, como lo es el sistema de aireación, el paso por el clarificador que cumple la misma función técnica de la centrifuga, logrando separar el agua purificada del residuo que no se logró tratar (agua y lodo), este último se recircula al inicio

para seguir con el tratamiento (Cuadrado Baquero & Cuarta Silva, 2019). Igualmente, se debe especificar que para el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales es indispensable tener a la mano distintos equipos requeridos; algunos de los cuales se pueden encontrar ejemplificados en la tabla 2 del presente anteproyecto de investigación.

**Tabla 2.**  
*Equipos usados en una PTAR.*

<b>Equipo PTAR</b>	<b>Importancia</b>
<b>Rejillas</b>	Fundamentales para evitar el paso de material sólido de gran tamaño que puede obstruir el funcionamiento de equipos primordiales como los son las bombas.
<b>Tamices</b>	Mecanismos requeridos para garantizar la retención de partículas sólidas más finas que no se pudieron eliminar mediante el paso único por rejillas.
<b>Filtros y micro filtros</b>	Sistemas de recolección interna de desechos que puedan llegar a alterar la vida útil de las mallas usadas en el proceso.
<b>Desarenadores</b>	Uso primordial para la eliminación de tierra que pueda estar acompañando al agua tratada.

*Nota.* La tabla muestra algunos equipos usados en una PTAR de manera regular. Tomado de: <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/bf58d4dc-ae62-4943-99a3-5a4cc4d583b7/content>.

En cuanto al sistema legal, es de vital importancia resaltar aquellas bases normativas que rigen el mecanismo de acción frente al tratamiento de aguas residuales, esto con el fin de garantizar el alcance de altos estándares de calidad. Dicho esto, se genera una tabla resumen del principal régimen legislativo incorporado en el país.

**Tabla 3.**

*Normativa de aguas vigente en Colombia.*

<b>Normativa</b>	<b>Importancia</b>
Resolución 0631 de 2015	Explica de manera directa la carga máxima de contaminantes establecidos por industrias específicas, esto con respecto al agua de vertimiento que se está produciendo.
Resolución 0883 de 2018	Establece los límites permisivos de contaminantes en aguas destinadas al sector de alcantarillado.
Decreto 3930 de 2010	Incorpora una ayuda al manejo de vertimiento mediante los planes de revisión a tecnologías limpias, promoviendo el reúso de aguas residuales.
Decreto 1575 de 2007	Obtención de estándares establecidos con el fin de garantizar los mecanismos de control y calidad del agua para consumo humano.

**Nota.** La tabla muestra la normativa legal vigente en Colombia con respecto al tratamiento y uso de aguas residuales. Tomado de: <https://www.disin.com/importancia-de-una-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-para-el-medio-ambiente/>.

Es así como, a partir de la tabla 3 incorporada anteriormente, se puede constatar con una guía específica para el establecimiento y cumplimiento de los límites permisivos en el país con respecto al manejo y tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales.

### **3. PARÁMETROS DE ESTUDIO DEL AGUA RESIDUAL**

#### **3.1. Identificación de los parámetros fisicoquímicos y biológicos.**

Establecidos los enfoques teóricos del presente proceso de investigación y diseño de tratamiento de aguas residuales, es indispensable resaltar que para el adecuado desarrollo documental y experimental, se tiene en disposición específica de información relacionada con los parámetros fisicoquímicos generados intervención de empresas especializadas en pruebas de laboratorio, las cuales se encuentran en contrato con el centro de eventos ubicado las afueras de Bogotá D.C. De esta manera, se establece un informe muestral de pruebas generadas por la empresa frente a los vertimientos finales representativos de diciembre de 2021, entre los cuales destacan factores como:

- Temperatura.
- Potencial de hidrógeno.
- Sólidos sedimentables.
- Sólidos suspendidos totales.
- Demanda química de oxígeno (DQO).
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).
- Cianuro total.
- Cloruros, sulfatos, cadmio, zinc, cobre, cromo, mercurio, níquel y plomo.
- Grasas y aceites.

Tomando en consideración lo establecido por la empresa promotora del procedimiento de estudios de laboratorio se incorpora un resumen descriptivo del promedio de resultados obtenidos durante la toma de muestras en 3 días de experimentación y lo establecido en el artículo 12 de la resolución 631 de 2015, generando de esta manera los datos conceptualizados en la tabla 4.

**Tabla 4.***Parámetros fisicoquímicos del agua a tratar y límites permisibles.*

<b>Parámetro fisicoquímico de laboratorio</b>	<b>Límite permisible según la Res. 0631 de 2015</b>	<b>Resultado promedio obtenido</b>
Temperatura (°C)	40	19.8
Potencial de hidrógeno	5-9	6.92
Sólidos sedimentables (mL/L)	3	1.5
Demanda química de oxígeno (mg O <sub>2</sub> /L)	900	1035.13
Demanda bioquímica de oxígeno (mg O <sub>2</sub> /L)	600	370.82
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	300	344.67
Cianuro total (mg/L)	0,5	0,1
Cloruros (mg/L)	250	29.94
Sulfatos (mg/L)	250	135.55
Cadmio (mg/L)	0.05	0.04
Zinc (mg/L)	3	0.2
Cobre (mg/L)	1	0.9
Cromo (mg/L)	0.5	0.4
Mercurio (mg/L)	0.01	0.01
Níquel (mg/L)	0.5	0.4
Plomo (mg/L)	0.2	0.1
Grasas y aceites (mg/L)	30	25

**Nota.** La tabla muestra los datos obtenidos correspondientes a los parámetros fisicoquímicos tomando en consideración el informe de resultados ya análisis de muestras realizadas durante el mes de diciembre de 2021.

De esta manera, y resaltando lo establecido en la tabla 4, se toma como base los datos incorporados y resaltados para radicar la estructuración del mejor diseño, planteando un enfoque al cumplimiento de las normas ambientales vigentes en el país frente al vertimiento de aguas.

### 3.2.Determinación de la carga contaminante.

Finalmente, y no menos importante, al generar la incorporación de los datos establecidos por la empresa contratada para el estudio de laboratorio mediante el informe de resultados y análisis de muestras del agua a tratar, se da la determinación de la carga contaminante, considerando los puntos clave del manejo ambiental, como se evidencia en la tabla 5.

**Tabla 5.**  
*Cargas contaminantes establecidas.*

<b>Carga contaminante mensual</b>	<b>Concentración promedio en el vertimiento</b>
Demanda bioquímica de oxígeno (kg/mes)	85.06
Sólidos suspendidos totales (kg/mes)	79.06

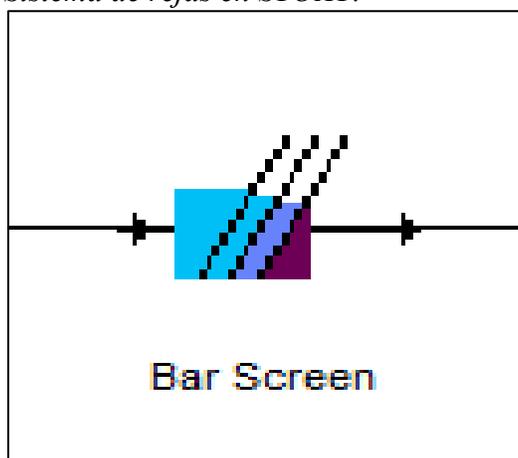
**Nota.** La tabla muestra las cargas mensuales de contaminantes establecidas en el informe de resultados ya análisis de muestras realizadas.

## 4. DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

### 4.1. Selección y diseño del proceso definitivo de tratamiento de aguas.

Para el adecuado desarrollo del proceso de tratamiento de aguas residuales provenientes del centro de eventos ubicado a las afueras de Bogotá D.C. se consideró el caudal de entrada al sistema, el cual es de 637.2 L/h y las necesidades fisicoquímicas y biológicas descritas en el primer capítulo del presente documento y el uso del software especializado STOAT; de tal manera que se emplearon las etapas descriptivas del mecanismo comenzando por la incorporación de un sistema de rejillas que sirven como filtro inicial de pretratamiento para la remoción de sólidos de gran tamaño que puedan acompañar al agua, tal y como se muestra en la figura 1.

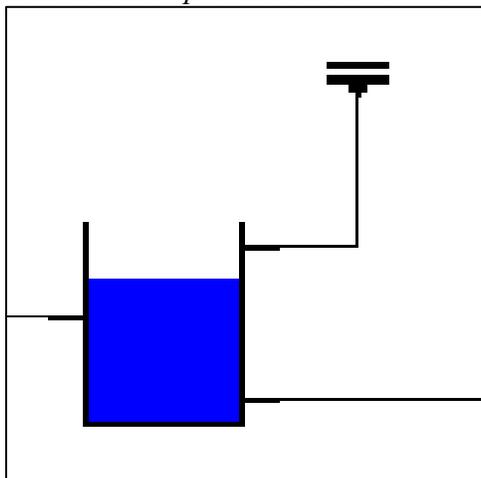
**Figura 1.**  
*Sistema de rejillas en STOAT.*



**Nota.** La figura muestra el sistema de pretratamiento aplicando rejillas en el software STOAT.

Posterior a la implementación de una remoción de sólidos de gran tamaño, y teniendo en consideración lo establecido en la tabla 4 del presente proceso investigativo, se puede apreciar que el agua a tratar contiene una alta carga de material particulado suspendido, el cual se puede regular mediante la adquisición de un tratamiento primario que funcione bajo el principio físico de sedimentación; empleando de esta manera un tanque de balance, tal y como se observa en la figura 2.

**Figura 2.**  
*Sedimentador primario en STOAT.*

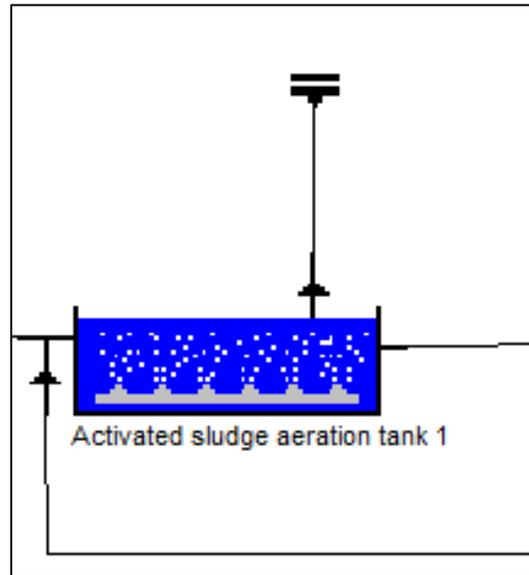


**Nota.** La figura muestra el mecanismo de tratamiento mediante el uso de un tanque de sedimentación primario en el software STOAT.

Así mismo, una vez culminada la etapa de eliminación de componentes sólidos suspendidos es indispensable resaltar la necesidad de reducir la carga contaminante presente en el agua a tratar; para ello se ejemplifica el uso de un tratamiento secundario basado en el mecanismo de lodos activados. Este sistema consta de dos etapas principales, la etapa de aireación y la etapa de sedimentación; así pues, durante el desarrollo de la etapa de aireación, las aguas residuales se mezclan con una población de microorganismos aeróbicos en un tanque de aireación (MBBR), el oxígeno es proporcionado a través de la aireación, ya sea mediante la inyección de aire o la agitación mecánica del agua; posteriormente, los microorganismos descomponen y metabolizan la materia orgánica que se encuentra en el sistema de aguas residuales como fuente de alimento, convirtiéndola en dióxido de carbono, agua y nuevos microorganismos (Dinh et al., 2021).

Por su parte, posterior a la etapa de aireación, el agua tratada y los lodos resultantes pasan a la etapa de sedimentación; En esta sección los lodos activados se separan del agua tratada mediante un proceso de sedimentación gravitacional (Carzola Vinueka et al., 2021). Los lodos se acumulan en el fondo del tanque de sedimentación y se retiran para su posterior tratamiento o eliminación, tal y como se ejemplifica en la figura 3.

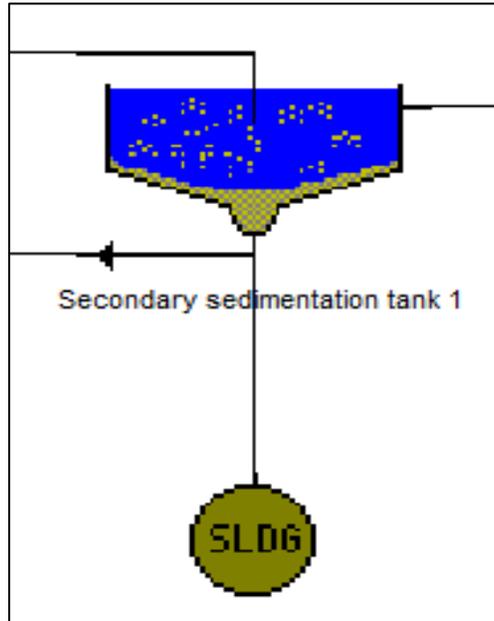
**Figura 3.**  
*Sistema de lodos activados en STOAT.*



*Nota.* La figura muestra el montaje de un sistema de lodos activos aplicando aireación en el software STOAT.

Además del proceso biológico mediante lodos activados también se contempla la adquisición de un segundo mecanismo de sedimentación para recuperar los lodos sobrenadantes característicos del tratamiento secundario; tal y como se identifica en la figura 4.

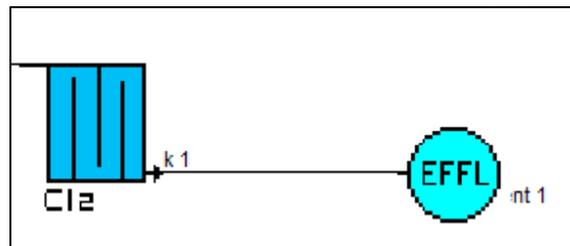
**Figura 4.**  
*Sistema de sedimentación secundaria en STOAT.*



**Nota.** La figura muestra el modelo de recuperación de lodos mediante un sedimentador secundario en el software STOAT.

Finalmente, y como paso culminante del proceso de tratamiento de aguas, se plantea la incorporación de un mecanismo de desinfección mediante la adición de cloro, esto con el objetivo de regular la carga microbiana patógena presente en el sistema; tal y como se evidencia en la figura 5.

**Figura 5.**  
*Sistema de tratamiento avanzado en STOAT.*



**Nota.** La figura muestra el montaje de un sistema de purificación de agua mediante cloración en el software STOAT.

De esta manera, y posterior a correr el programa especializado de tratamiento, se obtiene la purificación del agua en estudio, dando así la síntesis de resultados prometedores que ayuden a cumplir con la reglamentación legal vigente en Colombia, tal y como se ilustra en la tabla 6.

**Tabla 6.**

*Resultados obtenidos de los factores críticos frente a los datos iniciales de laboratorio.*

<b>Parámetro fisicoquímico de laboratorio</b>	<b>Datos iniciales de laboratorio</b>	<b>Resultado obtenido</b>
Demanda química de oxígeno (mg O <sub>2</sub> /L)	1035.13	532.53
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	344.67	149.47

**Nota.** La tabla muestra los resultados obtenidos posterior al uso del simulador, teniendo en consideración los factores críticos que no cumplían con la reglamentación vigente en el país y comparados con los datos iniciales proporcionados por el centro de eventos.

De esta manera, al generar un cruce informativo entre los datos de entrada y salida del simulador se obtiene una reducción del 48% y 56%, con respecto al DQO y SST, respectivamente; llegando así a cumplir con los límites permisibles de vertimientos establecidos en el capítulo 12 de la resolución 631 de 2015 e incorporados en la tabla 4 del presente documento.

## 5. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO

### 5.1. Descripción de los beneficios económicos del proyecto.

Al emplear un sistema de tratamiento de aguas residuales se garantiza la adquisición de ciertos beneficios económicos que ayudan a regular las funciones industriales de un sector o comunidad, esto según diversas fuentes relacionadas que ayudan a tratar el enfoque económico del proyecto (M.C. Miguel Escamilla López, Dr. Jorge Meza Jiménez, M.A. Ricardo Llamas Cabello, 2013); entre estos se destacan algunos como:

- a) Reutilización del agua: un sistema de tratamiento de aguas residuales puede permitir la reutilización del agua tratada para diversos fines, como riego agrícola, riego de parques y jardines, o incluso para uso industrial. Esto reduce la dependencia de fuentes de agua fresca y disminuye los costos asociados con el suministro de agua.
- b) Ahorro de costos de disposición: si las aguas residuales no se tratan adecuadamente, deben ser eliminadas de alguna manera. Esto puede implicar su descarga en cuerpos de agua sin tratamiento, lo que puede tener un impacto negativo en el medio ambiente y, a su vez, generar sanciones legales y costos asociados. El tratamiento adecuado de las aguas residuales evita estos problemas y los costos asociados con la disposición no regulada.
- c) Potencial de ingresos: En algunos casos, el tratamiento de aguas residuales puede generar ingresos adicionales. Por ejemplo, si el agua tratada cumple con ciertos estándares de calidad, se puede vender a terceros, como empresas de riego o industrias que requieran agua de calidad controlada. Esto puede crear una fuente de ingresos adicional para la entidad encargada del tratamiento de aguas residuales.
- d) Cumplimiento normativo: Muchas jurisdicciones tienen regulaciones y estándares estrictos en cuanto a la calidad del agua y la gestión de aguas residuales. El tratamiento adecuado de las aguas residuales permite cumplir con estas regulaciones y evitar multas o sanciones legales que podrían resultar en gastos considerables.
- e) Recuperación de recursos: Las aguas residuales a menudo contienen nutrientes y otros compuestos que pueden ser recuperados y utilizados como recursos. Por ejemplo, el lodo resultante del tratamiento de aguas residuales puede convertirse en fertilizante o utilizarse para generar biogás. Estas oportunidades de recuperación de recursos pueden generar ingresos adicionales o reducir los costos de producción en industrias específicas.

- f) Potencial de generación de energía: Algunos procesos de tratamiento de aguas residuales pueden aprovecharse para generar energía, como la producción de biogás a través de la digestión anaeróbica. Este biogás puede ser utilizado para generar electricidad o calor, lo que podría reducir los costos energéticos de una instalación.

## **5.2. Identificación de la viabilidad económica del proyecto.**

Los costos iniciales de una planta de tratamiento de aguas residuales pueden variar significativamente según varios factores, como la escala de la planta, la tecnología utilizada, las regulaciones locales y las condiciones del sitio. Así mismo, entre los factores económicos que rigen al sistema, según investigaciones específicas (Guerrero Erazo et al., 2007), se identifican algunos relevantes, tales como:

- a) Adquisición de terreno: La compra o arrendamiento del terreno donde se construirá la planta puede ser uno de los mayores costos iniciales.
- b) Estudios y diseño: Se requiere la contratación de ingenieros y consultores especializados para llevar a cabo estudios de factibilidad, estudios de impacto ambiental y diseño de la planta. Estos servicios suelen ser costosos.
- c) Construcción de infraestructura: Incluye la construcción de estructuras físicas como tanques de sedimentación, reactores biológicos, sistemas de filtración, tuberías, bombas y otros equipos necesarios para el tratamiento del agua residual.
- d) Equipamiento: Se necesitará adquirir equipos como bombas, compresores, sopladores, generadores de energía, sistemas de dosificación química, equipos de laboratorio, entre otros.
- e) Tecnología y sistemas de control: Dependiendo de la escala y complejidad de la planta, puede ser necesario invertir en tecnologías avanzadas y sistemas de control automatizados para monitorear y operar la planta de manera eficiente.
- f) Instalaciones auxiliares: Estos costos incluyen la construcción de oficinas administrativas, áreas de almacenamiento, salas de control, laboratorios, entre otros espacios necesarios para el funcionamiento de la planta.
- g) Permisos y licencias: Obtener los permisos y licencias necesarios para la construcción y operación de la planta puede requerir el pago de tarifas y costos legales.

Para la determinación de la viabilidad económica del proyecto de tratamiento de aguas residuales en el complejo de entretenimiento se integran diversos mecanismo y factores mencionados anteriormente, y tomando en consideración diversos estudios de caso que sirven como base para la ejemplificación de datos reales frente al mercado actual en esta área de estudio; de esta manera, se señala la importancia de emplear indicadores financieros tales como el valor presente neto (VPN), tasa interna de retorno (TIR) y costo promedio de capital (WACC), dando como resultado la incorporación de la figura 6.

**Figura 6.**

*Mecanismo financiero para el plan de tratamiento de aguas residuales en dólares estadounidenses.*

FLUJO DE CAJA				
PERÍODOS	0	1	2	3
Ingresos		\$ 280.000,00	\$ 322.000,00	\$ 370.300,00
(-) Costos de producción/operación		\$ 112.000,00	\$ 128.800,00	\$ 148.120,00
(=) Utilidad bruta		\$ 168.000,00	\$ 193.200,00	\$ 222.180,00
(+) Ingresos no operacionales		\$ 1.000,00	\$ 1.000,00	\$ 1.000,00
(-) Gastos no operacionales				
(-) Gastos operacionales		\$ 14.000,00	\$ 16.100,00	\$ 18.515,00
(-) Gastos financieros (Intereses)				
(-) Depreciaciones		\$ 15.183,10	\$ 15.183,10	\$ 15.183,10
(-) Gastos administrativos		\$ 1.500,00	\$ 1.554,00	\$ 1.609,94
(=) Utilidad antes de impuestos		\$ 138.316,90	\$ 161.362,90	\$ 187.871,96
(-) Impuestos		\$ 45.644,58	\$ 53.249,76	\$ 61.997,75
(=) Utilidad después de impuestos		\$ 92.672,32	\$ 108.113,14	\$ 125.874,21
(+) Depreciaciones		\$ 15.183,10	\$ 15.183,10	\$ 15.183,10
(-) Amortizaciones (Abono a capital)				
(-) Inversiones				
Activos fijos	\$ 152.831,00			
Diferidos	\$ 100,00			
Capital de trabajo	\$ 75.000,00			
(+) Valor residual/terminal/de salvamento				
(=) Flujo neto de caja del período	-\$ 227.931,00	\$ 107.855,42	\$ 123.296,24	\$ 141.057,31
		VPN	\$ 26.195,05	
		TIR	28%	
Tasa descuento =		WACC	21%	

**Nota.** La figura ilustra datos relacionados con el estudio financiero del proyecto de tratamiento planteado considerando costos reales y actualizados de la industria en dólares estadounidenses. Tomado de: <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/4191/2099>.

## 6. CONCLUSIONES

Denotando lo establecido en el primer capítulo del presente documento de investigación y diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales, se logra apreciar que al generar el cruce informativo de pruebas fisicoquímicas de la tabla 4, se presenta un exceso del 15% y 16%, con respecto al DQO y los sólidos suspendidos totales, respectivamente; esto considerando la normativa legal vigente en Colombia de vertimientos a cuerpos hídricos, es decir, la resolución 0631 de 2015.

Por su parte, se ha llevado a cabo un análisis adecuado de los caudales y características del agua de entrada, lo que ha permitido dimensionar adecuadamente los diferentes componentes de la planta de tratamiento. Se han considerado los aspectos hidráulicos, físico-químicos y biológicos para asegurar un flujo de agua estable y una calidad de efluente cumpliendo con los estándares requeridos.

Pasando al segundo enfoque determinado en el presente proceso de investigación y diseño de una planta para tratamiento de aguas residuales, se logra establecer que se ha desarrollado un sistema eficiente y rentable que cumple con los requisitos de calidad del agua establecidos por las normativas vigentes; de tal modo que la planta es capaz de eliminar eficazmente los contaminantes presentes en el agua de entrada, garantizando la seguridad y salud de la población y protegiendo el medio ambiente, esto considerando una reducción del 49% y del 56%, del DQO y SST, respectivamente.

Finalmente, y no menos importante, al generar un estudio correspondiente al factor económico del proyecto en cuestión, se establece que existe un mayor potencial a generar ingresos en comparación a los gastos del mismo, esto se detalla al cruzar los resultados obtenidos en la figura 10, donde se puede observar que la tasa interna de retorno (TIR) es mayor al costo promedio de capital (WACC), con valores de 28% y 21%, respectivamente. Así mismo, al observar el valor presente neto se logra detallar que al generar un valor positivo el proyecto va a tender a garantizar incrementos con respecto al flujo de caja a futuro, esto tomando como base un valor obtenido igual a \$26.195 dólares estadounidenses.

## **7. RECOMENDACIONES**

Al momento de ejecutar el proyecto de modelamiento se debe considerar el establecimiento de un área adecuada que no comprometa la vida diaria de las personas, es decir, elaborar un estudio destacado en los impactos sociales que se puedan ver reflejados ante la adquisición y establecimiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

Por su parte, es de vital relevancia destacar que para garantizar el adecuado montaje de la planta de tratamiento de aguas residuales se debe ejemplificar un estudio de proveedores que defina la adquisición de equipos que cumplan con la reglamentación vigente y que ayuden a mantener altos estándares de eficiencia y calidad del proceso diseñado.

En cuando al sistema de montaje del proyecto en general se debe establecer un equipo de gestión del proyecto en cuestión, esto para poder dar un correcto manejo de actividades predispuestas para que el uso de recursos destinados al modelo sea de la manera más eficiente.

Finalmente, es importante señalar que un factor fundamental al momento de elaborar el diseño y montaje de una planta de tratamiento de aguas residuales radica en la necesidad de incorporar pruebas constantes frente a la instalación, calibración y operación de equipos del proceso.

## BIBLIOGRAFÍA

- Álferez, L., & Nieves, N. (2019). *Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR): impacto ambiental*. <https://www.eumed.net/rev/caribe/2019/06/tratamiento-aguas-residuales.html>
- Carzola Vinueka, X., Zambrano Cardenas, G., Lopez Ayala, J. C., & Rios García, I. (2021). Tratamiento biológico de aguas residuales como un proyecto de emprendimiento comunitario del Tejar Balbanera. *Revista Científica Dominio de Las Ciencias*, 7(2477–8818), 1767–1787.
- Cuadrado Baquero, J. P., & Cuarta Silva, C. H. (2019). Evaluación Experimental De La Eficiencia De Remoción De Materia Orgánica En Un Reactor De Lodos Activados a Escala Piloto, Alimentado Con Agua Residual Artificial, a Partir De Un Aumento De Presión En El Sistema. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 5–24.
- Dinh, N. T., Nguyen, T. H., Mungray, A. K., Duong, L. D., Phuong, N. T., Nguyen, D. D., Chung, W. J., Chang, S. W., & Tuan, P. D. (2021). Biological treatment of saline domestic wastewater by using a down-flow hanging sponge reactor. *Chemosphere*, 283(August 2020), 131101. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131101>
- DISIN S.A. (2019). *Importancia de una planta de tratamiento de aguas residuales para el medio ambiente - DISIN S.A. Plantas de Tratamiento de Agua. Colombia*. <https://www.disin.com/importancia-de-una-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-para-el-medio-ambiente/>
- Flórez, L., & Rojas, I. (2018). INFLUENCIA DE LA AIREACIÓN INTERMITENTE SOBRE LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES EN UN REACTOR DE LODOS ACTIVADOS DE BAJA PROFUNDIDAD. *Journal of Controlled Release*, 11(2), 430–439.
- García Astillero, A. (2019). Por qué el agua es un recurso renovable pero limitado - descubre la respuesta aquí. In *Ecología Verde*. <https://www.ecologiaverde.com/por-que-el-agua-es-un-recurso-renovable-pero-limitado-1449.html>
- Gomez, L. (2014). *Flujo Natural - Producción de Petróleo*. <http://www.petroleoamerica.com/2014/02/flujo-natural-produccion-de-petroleo.html>
- González, M., & González, C. (2017). *COMPARACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGIAS QUE SE ESTÁN IMPLEMENTANDO EN LA PTAR DE RIO DE JANEIRO (BRASIL) Y PAZ DE*

*ARIPORO (CASANARE- COLOMBIA)*. 1–14.

Guerrero Erazo, J., Salas Quintero, D., & Zapata, M. (2007). Modelo de costos para el tratamiento de las aguas residuales en la región. *Scientia et Technica*, 5(37), 591–596.

López, C., Buitrón, G., García, H., & Cervantes, F. (2001). Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño. In *Ingeniería Química* (Vol. 33, Issue 377). <https://doi.org/10.17345/9788484241027>

M.C. Miguel Escamilla López, Dr. Jorge Meza Jiménez, M.A. Ricardo Llamas Cabello, C. P. M. S. L. (2013). Análisis Económico para la Recuperación de las Aguas Residuales de un Proceso Minero. *Conciencia Tecnológica*, 45, 18–23.

Marín, Y. (2021). *OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA EMPRESA DE PRODUCTOS CÁRNICOS PARA LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES*. 1–39.

Mendez, L., Miyashiro, V., Rojas, R., Cotrado, M., & Carrasco, N. (2014). *Tratamiento De Aguas Residuales Mediante Lodos Activados a Escala De Laboratorio Tratamiento De Aguas Residuales Mediante Lodos Activados a Escala De Laboratorio Treatment of Residual Waters By Means of Activated Muds*. 14, 74–83.

Muñoz, J., & Ramos, M. (2014). REACTORES DISCONTINUOS SECUENCIALES: UNA TECNOLOGÍA VERSÁTIL EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. *Universidad Militar Nueva Granada - Ciencia E Ingeniería Neogranadina*, 5 Mayo 2014, 49–66.

Rivera, C. (2014). *UNIVERSIDAD DE CHILE ESTUDIO DE LA EFECTIVIDAD DE UNA NUEVA CONFIGURACION TECNOLOGICA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, LODOS ACTIVADOS PLUS (LA+): Combinación de un biorreactor de membranas y ozonización, desarrollado para reducir la producción de purg.*

World Bank Group. (2020). El agua residual puede generar beneficios para la gente, el medioambiente y las economías, según el Banco Mundial. In *Ciencia*. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/03/19/wastewater-a-resource-that-can-pay-dividends-for-people-the-environment-and-economies-says-world-bank>