

UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CUENCA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y  
CONSTRUCCIÓN  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**SIMULACIÓN DEL PROCESO DE DEPURACIÓN DE LA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE GUANGARCUCHO**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA  
CIVIL**

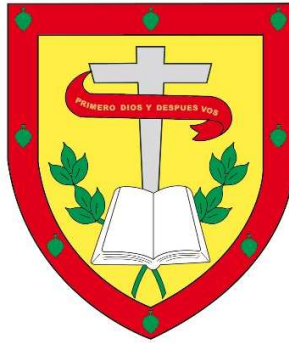
**AUTOR: MARÍA PAZ TOLEDO MARTÍNEZ**

**DIRECTOR: ING. MSC. CARLOS MATOVELLE BUSTOS**

**CUENCA - ECUADOR**

**2023**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y  
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

**SIMULACIÓN DEL PROCESO DE DEPURACIÓN DE LA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE GUANGARCUCHO**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA  
CIVIL**

**AUTOR: MARIA PAZ TOLEDO MARTÍNEZ**

**DIRECTOR: ING. MSC. CARLOS MATOVELLE BUSTOS**

**CUENCA – ECUADOR**

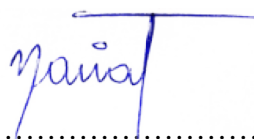
**2023**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO  
Y DESARROLLO**

## AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, María Paz Toledo Martínez portador de la cédula de ciudadanía N.º 0150300895. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “Simulación del proceso de depuración de la Planta de tratamiento de aguas residuales de Guangarcucho” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 26 de Julio de 2023

F: .....  
  
María Paz Toledo Martínez  
0150300895

## CERTIFICACIÓN

Yo **Ing. MSc. Carlos Marcelo Matovelle Bustos** certifico la presente investigación "**SIMULACIÓN DEL PROCESO DE DEPURACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE GUANGARCUCHO**" realizado por María Paz Toledo Martínez, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil perteneciente a la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción y que se desarrolló bajo mi supervisión y tutoría, siendo un trabajo elaborado de manera personal e inédita.

**CARLOS  
MARCELO  
MATOVELLE  
BUSTOS**

Firmado  
digitalmente por  
CARLOS MARCELO  
MATOVELLE BUSTOS  
Fecha: 2023.07.26  
15:09:21 -05'00'

Ing. MSc. Carlos Marcelo Matovelle Bustos

## **Dedicatoria**

A mi madre, que me ha acompañado en esta travesía académica, por su apoyo incondicional y por ser un pilar fundamental en mi vida. A mi abuelito, por acogerme en su vida como una hija, gracias a sus palabras y actos que supieron motivarme para seguir y ayudarme a alcanzar esta meta. A mi abuelita, por estar siempre presente, con sus palabras de aliento y su inquebrantable apoyo. Les agradezco por permitir que culmine esta fase importante en mi vida. A mi hermano que con sus ocurrencias hacía que me olvidara un poco de los problemas y lograba levantarme el ánimo para poder continuar. A Andrés, por siempre querer ayudarme, incluso en las peores circunstancias.

La culminación de la carrera no hubiese sido posible sin ayuda de todos ustedes. Años de esfuerzo, perseverancia y dedicación, es para ustedes.

## **Agradecimiento**

Agradezco principalmente a Dios por darme salud y fortaleza para alcanzar este logro. A mi madre y mis abuelos, por su apoyo económico, por siempre motivarme a ser mejor, y por haber contribuido de manera invaluable en mi vida. A mi tutor académico, gracias a su paciencia, conocimientos y experiencia supo brindarme el apoyo para alcanzar mis metas. A mis amigos y compañeros, con quienes he compartido risas y lloros, supieron apoyarme en los peores momentos, y ayudarme a seguir adelante con sus consejos.

A todos ustedes mis más sinceros agradecimientos por formar parte de este logro tan importante para mí.

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad realizar la simulación del proceso de depuración de la planta de tratamiento de Guangarcucho, mediante el software STOAT. Se simula 3 alternativas para este proceso, lodos activados convencionales, lodos activados mediante aireación prolongada y filtros percoladores. Los parámetros de diseño para la simulación se obtuvieron de ETAPA EP. La planta de tratamiento está dimensionada para un caudal de diseño promedio de 1200 L/s; caudal proveniente de las aguas residuales de la ciudad de Cuenca. La caracterización del agua por otro lado se analizó en el laboratorio HYDROLAB de la Universidad Católica de Cuenca donde se obtuvieron porcentajes solubles como suspendidos. La simulación realizada indica que las instalaciones del tratamiento biológico son pequeñas en comparación con la cantidad de agua a tratar y los límites de vertido, pero cumplen con los criterios establecidos por la norma ecuatoriana TULSMA. Ninguna de las tres alternativas simuladas contempla la eliminación completa de nutrientes, como nitrato y fosfato, pero si logra la remoción en cierta parte de amonio. Sin embargo, la alternativa de lodos activados con aireación prolongada presenta un efluente de mejor calidad, lo cual es importante para evitar la degradación del medio receptor.

*Palabras clave:* planta de tratamiento, aguas residuales, tratamiento de agua, simulación

## **ABSTRACT**

The research objective is to conduct the simulation of the purification process of the 'Guangarcucho' treatment plant through the STOAT software. Three alternatives for this process are simulated: conventional activated sludge, extended aeration process, and trickling filters. The design parameters for the simulation were obtained from ETAPA EP. The treatment plant is dimensioned for an average design flow of 1200 L/s wastewater from Cuenca. On the other hand, the characterization of the water was analyzed in the HYDROLAB laboratory of the Catholic University of Cuenca, where soluble and suspended percentages were obtained. The simulation indicates that the biological treatment facilities are small compared to the amount of water to be treated and the discharge limits; however, they meet the criteria established by the Ecuadorian TULSMA standard. None of the three simulated alternatives contemplates the complete removal of nutrients, such as nitrate and phosphate, but it does achieve the removal of a certain amount of ammonium. However, the extended aeration process presents a better quality effluent, which is vital to avoid degradation of the receiving environment.

*Keywords:* treatment plant, wastewater, water treatment, simulation

# Índice de contenido

INTRODUCCIÓN.....	13
1 CAPITULO I: Problemática.....	15
1.1 Antecedentes.....	15
1.2 EL PROBLEMA.....	16
1.2.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	16
1.2.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA .....	17
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	17
1.4 OBJETIVOS .....	18
1.4.1 Objetivo general .....	18
1.4.2 Objetivos específicos.....	18
1.5 MARCO METODOLÓGICO.....	19
2 CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	20
2.1 AGUAS RESIDUALES .....	20
2.2 CLASES DE AGUAS RESIDUALES.....	20
2.2.1 Aguas residuales domésticas.....	20
2.2.2 Aguas residuales Industriales.....	20
2.2.3 Aguas residuales Municipales.....	21
2.2.4 Escorrentías agrícolas.....	21
2.3 Características de aguas residuales.....	21
2.3.1 Acidez.....	21
2.3.2 Alcalinidad .....	21
2.3.3 Demanda biológica de oxígeno .....	21
2.3.4 Demanda química de oxígeno .....	22
2.3.5 Materia orgánica.....	22
2.3.6 Nitrógeno.....	22
2.3.7 Oxígeno disuelto.....	22

2.3.8	pH .....	23
2.4	PROCESOS UNITARIOS.....	23
2.4.1	Tratamiento preliminar .....	23
2.4.2	Tratamiento primario .....	24
2.4.3	Tratamiento secundario .....	25
2.4.4	Tratamiento terciario .....	27
2.4.5	Tratamientos anaeróbico y aeróbico.....	28
2.5	SIMULACION .....	29
2.5.1	Importancia de la simulación.....	30
2.5.2	Software STOAT.....	30
3	CAPITULO III: METODOLOGIA.....	34
3.1	Ubicación .....	34
3.2	Población y caudal .....	34
3.3	Caracterización del agua residual .....	35
3.3.1	Resultados de la caracterización.....	36
3.4	Diseño propuesto. ....	37
3.5	Descripción de las alternativas a simular.....	39
3.5.1	Alternativa 1: Proceso de lodos activados.....	39
3.5.2	Alternativa 2 lodos activados de aireación prolongada en canales de oxidación .....	43
3.5.3	Alternativa 3 tratamiento con filtros percoladores. ....	46
4	CAPITULO IV: RESULTADOS .....	49
4.1	Descripción de procesos .....	49
4.1.1	Pretratamiento.....	49
4.1.2	Tratamiento primario .....	50
4.1.3	Tratamiento terciario .....	51
4.1.4	Alternativa 1: Proceso convencional de lodos activados.....	51

4.1.5	Alternativa 2: lodos activados de aireación prolongada en canales de oxidación. ....	53
4.1.6	Alternativa 3: Tratamiento con filtros percoladores.....	55
4.2	Puesta en marcha de alternativas .....	56
4.3	Interpretación de los resultados .....	57
4.3.1	Alternativa 1: .....	57
4.3.2	Alternativa 2: .....	59
4.3.3	Alternativa 3: .....	60
4.4	Comparación de resultados .....	61
	Conclusiones.....	64
	Recomendaciones .....	65
5	Bibliografía.....	67
6	ANEXOS .....	69

## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Esquema de procesos unitarios.....	23
Ilustración 2: Esquema de un sistema de recirculación.....	27
Ilustración 3: Ubicación de la zona de estudio.....	34
Ilustración 4: Población equivalente.....	35
Ilustración 5: Caracterización del agua.....	36
Ilustración 6: Valores de carga másica para tratamientos de lodos.....	38
Ilustración 7: Esquema de alternativa 1. Lodos activados convencionales.....	40
Ilustración 8: Esquema de alternativa 2: lodos activados con aireación prolongada.....	45
Ilustración 9: Esquema de alternativa 3, filtros percoladores.....	47
Ilustración 10: Icono en STOAT de rejillas.....	49
Ilustración 11: Especificaciones de rejillas gruesas.....	49
Ilustración 12: Icono en STOAT de desarenador.....	49
Ilustración 13: Especificaciones del desarenador.....	50
Ilustración 14: Icono del sedimentador primario.....	50
Ilustración 15: Especificaciones del sedimentador primario.....	50
Ilustración 16: Icono de desinfección.....	51
Ilustración 17: Especificaciones de desinfección.....	51
Ilustración 18: Especificaciones del reactor biológico.....	52
Ilustración 19: Especificaciones del sedimentador secundario.....	52
Ilustración 20: Operación de recirculación.....	53
Ilustración 21: Iconos del tratamiento secundario de la alternativa 1.....	53
Ilustración 22: Especificaciones de oxidación prolongada.....	54
Ilustración 23: Iconos del tratamiento secundario de la alternativa 2.....	54
Ilustración 24: Especificaciones del filtro percolador.....	55
Ilustración 25: Especificaciones del sedimentador.....	55
Ilustración 26: Iconos del tratamiento secundario de la alternativa 3.....	56
Ilustración 27: Gráfico de parámetros constantes de entrada.....	56
Ilustración 28: Gráfico de resultados de la Alternativa 1.....	57
Ilustración 29: Cuadro demostrativo del proceso de la nitrificación.....	58
Ilustración 30: Gráfico de resultados Alternativa 2.....	59
Ilustración 31: Gráfico de resultados de la Alternativa 3.....	60
Ilustración 32: Diseño de la alternativa 1, Proceso de lodos convencionales en el emplazamiento.....	62

Ilustración 33: Diseño de la alternativa 2, lodos activados de aireación prolongada en canales .....	63
Ilustración 34: Diseño de la alternativa 3, filtros percoladores en el emplazamiento ....	63
Ilustración 35: Esquema realizado en el software STOAT para la simulación de la Alternativa 1. ....	69
Ilustración 36: Esquema realizado en el software STOAT para la simulación de la alternativa 2. ....	70
Ilustración 37: Esquema realizado en el software STOAT para la simulación de la alternativa 3. ....	71

## **Índice de tablas**

Tabla 1: Softwares de simulación.....	30
Tabla 2: Modelos de sedimentación dependiendo de los modelos de aireación .....	33
Tabla 3: Caudal medio del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas negras de Guangarcucho. ....	35
Tabla 4: Porcentajes de solubilidad de parámetros .....	37
Tabla 5: Caracterización del agua .....	37
Tabla 6: Criterios de diseño.....	38
Tabla 7: Parámetros de diseño del sistema de pretratamiento.....	41
Tabla 8: parámetros de diseño del sistema de tratamiento primario .....	42
Tabla 9: parámetros de diseño del tratamiento secundario.....	43
Tabla 10: parámetros de diseño del sistema de desinfección. ....	43
Tabla 11: Sistema de tratamiento secundario .....	46
Tabla 12: parámetros de diseño del sistema de tratamiento secundario.....	48
Tabla 13: Parámetros de entrada para la simulación .....	57
Tabla 14: Parámetros de salida de la alternativa 1 .....	57
Tabla 15: Parámetros de salida de la alternativa 1 .....	59
Tabla 16: Parámetros de salida de la alternativa 3 .....	61
Tabla 17: Comparación de parámetros de salida de las 3 alternativas .....	62

## **Índice de Ecuaciones**

Ecuación 1: Carga másica.....	38
-------------------------------	----

## INTRODUCCIÓN

El agua es una fuente natural fundamental para todos los seres vivos, dentro de distintos ámbitos como la alimentación, turismo, recreación, entre otros. Los problemas ambientales globales han surgido de manera sorprendente debido al crecimiento poblacional y económico, por ello el aumento en el consumo de agua, esto puede tener un impacto negativo en las cuencas hidrológicas, debido a que el uso de los recursos hídricos no es sostenible (Espitia, 2017).

Este recurso es de gran importancia para procesos industriales y actividades cotidianas, pero no toda se encuentra disponible, ya que no tienen la calidad adecuada o existe un mal manejo, por lo que es indispensable darle un tratamiento de agua residual para la reutilización de la misma. Los tratamientos químicos, físicos y biológicos es una alternativa para lograr el reúso del agua, lo cual constituye una planta de tratamiento de agua residual.

La planta de tratamiento de agua residual de Guangarcucho está diseñada con distintas alternativas para dicho tratamiento, estas son; lodos activados; lodos activados de aireación prolongada y filtros percoladores.

Uno de los primordiales objetivos de esta investigación, es la modelación de los procesos de una planta de tratamiento de aguas residuales ya diseñada por la empresa ETAPA. Esta simulación describe ciertos parámetros, como lo es la degradación de materia orgánica, siendo necesarios para predecir el correcto funcionamiento de la planta.

Existen varias aplicaciones que permiten realizar modelaciones de simulación de PTAR, mismas que permiten probar distintas configuraciones según lo que se desee simular, así como también poseen herramientas para probar distintos grados de complejidad, siendo una de ellas, STOAT.

Realizar modelaciones mediante STOAT de procesos de una PTAR para la simulación de los mismos, logran tener una mayor precisión en las predicciones de diagnósticos, para el diseño y su proyección, esto sirve para comparar variantes en la operación de la planta, para investigaciones, con la finalidad de ahorrar tiempo y gastos innecesarios. Existen diferentes metodologías para lograr una simulación exitosa, y elegir una de ellas depende mucho de las alternativas que se quiere modelar.

# 1 CAPITULO I: Problemática

## 1.1 Antecedentes.

En los años 1999 y 2000, durante los estudios de viabilidad de los Planes Maestros de Agua Potable y Alcantarillado de Cuenca, se llegó a la conclusión de que en el año 2015 sería necesario construir una nueva planta de tratamiento de aguas residuales en el cantón. Esto se debía a que la planta de Ucubamba alcanzaría su capacidad máxima en términos hidráulicos. No obstante, en ese momento no se predijo una serie de contratiempos que surgirían dos décadas más tarde en relación con la ejecución y desarrollo del proyecto (ETAPA EP, 2020).

El saneamiento de aguas residuales es un proceso crítico para la protección del medio ambiente y salud pública. Las plantas de tratamiento de aguas residuales se utilizan en todo el mundo para tratar las aguas negras generadas por las actividades humanas y reducir su impacto en el medio ambiente. Las instalaciones de tratamiento de aguas residuales emplean diversas técnicas de tratamiento, como la filtración, la sedimentación, la desinfección y la eliminación de nutrientes, para remover los contaminantes del agua negra (Artos & Constante, 2020).

La simulación de procesos de depuración de plantas, se ha transformado a lo largo de los años en una herramienta importante para la evaluación y optimización del rendimiento del proceso. Las simulaciones informáticas permiten a los ingenieros y operadores de plantas de tratamiento de aguas residuales modelar el comportamiento del sistema en diferentes condiciones y predecir consecuencias de los cambios en el proceso. Esta medida puede contribuir a aumentar la eficacia del procedimiento y disminuir los gastos operativos.

Según un estudio publicado en la revista científica *Water Science and Technology* (Eslamian, 2013), la simulación de procesos de depuración de plantas de tratamiento se ha utilizado para evaluar la eficacia de diferentes procesos de tratamiento, como la eliminación de nutrientes y la desinfección. Además, se ha empleado la simulación para

analizar las consecuencias de las modificaciones en la calidad del agua que ingresa en el rendimiento del proceso de tratamiento.

La simulación de procesos de depuración de plantas de tratamiento de aguas residuales también se ha empleado para analizar las consecuencias de las variaciones en las condiciones de operación, tales como la carga hidráulica y la carga orgánica, en el desempeño del proceso. La simulación también puede ayudar a identificar posibles problemas en el proceso de tratamiento y ofrecer datos importantes para la toma de decisiones.

En conclusión, la simulación de estos procesos de depuración es una herramienta de gran utilidad para la evaluación y optimización del rendimiento del proceso. La simulación puede ayudar a aumentar la eficiencia del proceso, disminuir los costos de operación y predecir distintas consecuencias de los cambios en el proceso (Castellano & Sanchez, 2017).

## **1.2 EL PROBLEMA.**

### **1.2.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Las aguas negras o vertidos residuales deben ser analizados y se deben gestionar adecuadamente para evaluar su posible impacto en el medio ambiente y determinar la necesidad de tratamiento antes de su liberación. Por lo tanto, es crucial prevenir la alta contaminación generada por estas aguas residuales. De igual manera, albergan microorganismos que generan enfermedades infecciosas. Por lo que, es evidente contar con toda la seguridad dentro de los tratamientos para el saneamiento y eliminación de desechos (Chacón & Ramírez, 2020).

Debido a la contaminación del agua que se ha incrementado durante las últimas décadas, los operadores de las plantas de tratamiento de agua potable tienen que mejorar constantemente estos sistemas. Sin embargo, variar ciertos parámetros, ajustes y configuraciones de operación de la planta puede ocasionar una pérdida de control de procesos. De igual manera, ciertos procesos se podrían tardar días en volver a

estabilizarse y ver cambios en nueva configuración, debido a parámetros que están en funcionamiento (Castellano & Sanchez, 2017).

Varios softwares han demostrado la utilidad de la modelación para simulación de plantas de tratamiento de aguas residuales. El principal objetivo de estas aplicaciones consiste en simular diferentes alternativas dentro de los procesos, sin invertir en recursos, ya sean ambientales o económicos.

Los modelos ASM de simulación se han realizado con mayor magnitud en otros países durante muchos años, pero, en Ecuador no se evidencia la aplicación del mismo en los diseños de muchas plantas de tratamiento. Por lo que, resulta de gran interés simular alternativas de tratamiento para el diseño e investigación de una PTAR (Lopez, 2021).

### **1.2.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

La investigación consiste en una simulación de tres alternativas para el tratamiento de la planta de aguas negras, mismas que están definidas por la empresa ETAPA EP. El propósito de este modelado se establece en función de la precisión con la que se realizan esas etapas y si es la opción más adecuada para mejorar la PTAR.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN.**

Para diseñar plantas de tratamiento de agua residual, se realizan modelos matemáticos ya sean estacionarios o dinámicos. Los modelos que son empleados con más frecuencia en países en vías de desarrollo, son los estacionarios, ya que estos no tienen mayor grado de complejidad y generalmente no se requiere una caracterización del agua residual tan rigurosa en esos lugares.

Sin embargo, estos sistemas no son suficientes para la supervisión de las plantas, ya que, constituyen una representación de un análisis de parámetros que se mantienen constantes a lo largo del tiempo. Por tanto, resulta esencial emplear modelos dinámicos con el apoyo de software y herramientas que simplifiquen el cálculo. A diferencia de los modelos

estacionarios, estos modelos permiten que las variables de estado cambien con el tiempo, lo que proporciona resultados más precisos y realistas (Gonzalez, 2017).

Para prevenir ciertos problemas dentro de las PTAR, se utilizan modelados para simulaciones de este sistema. Dentro de las simulaciones se pueden experimentar diferentes escenarios sin interferir en los diseños previamente realizados de la planta real. La simulación de procesos de una planta mediante la aplicación de herramientas, permite que se analicen los comportamientos de operación de la planta realizando variaciones de caudal y otros parámetros de diseño, y a su vez se puede optimizar costos de inversión y mantenimiento. Por consiguiente, el modelado se emplea cada vez con mayor frecuencia para mejorar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales (Castellano & Sanchez, 2017).

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo general**

- Evaluar mediante software STOAT el proceso de depuración de la Planta de tratamiento de aguas residuales de Guangarcucho.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar los caudales y parámetros de calidad de agua que ingresan a la planta de tratamiento, verificando su relación con los parámetros de diseño.
- Simular tres alternativas propuestas de diseño mediante el software STOAT para conocer la eficiencia y condiciones de operación de cada una.
- Comparar de resultados de las alternativas planteadas para elegir la mejor opción de operación de la PTAR.

## 1.5 MARCO METODOLÓGICO

Para la caracterización de los caudales y parámetros (DBO5, DBQ, amonio, nitratos, fosforo total, pH, temperatura, entre otros) se realizará un documento de Excel donde se validará los datos con los obtenidos por la empresa inicial. Para ello, como primer punto se realizará una recopilación de información; proyección de población, área de cobertura del alcantarillado, entre otros; mismos que son planteados por la empresa ETAPA EP (Lopez, 2021).

Se pretende simular tres modelos de alternativas de tratamiento para la PTAR; lodos activados; lodos activados, filtros percoladores; con el fin de adaptar de la manera más conveniente las necesidades de dicha planta. Para llevar a cabo esta simulación se necesitan varios datos como; caudal del afluente, DQO, DBO5, SST, SSV, nitritos, temperatura, pH, datos físicos de la planta, datos de desempeño, configuración operacional, entre otros, mismos parámetros que son validados en el primer objetivo (Cárcamo, 2017).

La simulación se realizará mediante el software STOAT, donde se utilizarán metodologías de la IWA, y sus modelos; ASM1, ASM2d, ASM3, entre otras. El propósito de estos modelos es simular la degradación de materia orgánica, por lo que se realizara un análisis de cuál de estos sistemas se ajustan a las alternativas que se quiere modelar.

En el caso de los modelos ASM1 (Activated sludge model 1) que es específicamente para lodos activados, demuestra la complejidad de conciliar la actividad bioquímica del lodo activado con el número de bacterias existentes. Este modelo se basa en la cinética de Monod donde se evalúa la concentración de parámetros presentes en la oxidación de materia orgánica y la nitrificación del proceso (Artos & Constante, 2020).

## **2 CAPITULO II: MARCO TEORICO**

### **2.1 AGUAS RESIDUALES**

Las aguas residuales son resultado de la alteración realizada por las actividades humanas, generando modificaciones en la calidad y propiedades originales del agua, lo que hace necesario un tratamiento para su reutilización. Se generan por residencias, instituciones e industrias y se pueden tratar dentro del sitio mediante tanques sépticos, también es posible recoger y transportar las aguas residuales a través de una red de alcantarillado hasta una instalación de tratamiento (Villacis, 2011).

Las aguas residuales consisten en una combinación de diferentes compuestos como inorgánicos y orgánicos, se clasifican según los componentes; químicos, biológicos y físicos.

La demanda de agua a nivel global y la población crece constantemente, y, como resultado, la generación de aguas negras. Pese a que, las aguas residuales son primordiales para el ciclo hidrológico, está considerado como una carga que tiene que ser eliminada. (Aguilar, 2019)

### **2.2 CLASES DE AGUAS RESIDUALES.**

#### **2.2.1 Aguas residuales domésticas.**

Se originan en zonas residenciales y comerciales con alta carga orgánica. Se pueden subdividir en aguas negras (heces y orina provenientes del inodoro) y aguas grises (aguas con jabón que provienen de las duchas, lavadoras, entre otros) (Díaz, 2018).

#### **2.2.2 Aguas residuales Industriales.**

Las aguas procedentes de actividades industriales, e incluso aquellas que pueden tener su origen en la agricultura o la ganadería (Díaz, 2018).

### **2.2.3 Aguas residuales Municipales.**

Son residuos líquidos de un conglomerado urbano; donde incluyen actividades tanto domésticas como industriales y se transportan mediante una red de alcantarillado. (Díaz, 2018)

### **2.2.4 Escorrentías agrícolas**

Arrastran pesticidas y fertilizantes, dentro de pantanos y lagos es considerada como las primordiales causas de eutrofización (Díaz, 2018).

## **2.3 Características de aguas residuales.**

### **2.3.1 Acidez**

Se genera por la descomposición de materia orgánica, lo que causa la alteración del potencial de hidrogeno (pH) al expulsar compuestos ácidos. También lo provoca la liberación de aguas residuales industriales que contengan sustancias que modifican el nivel de pH. Si la acidez alcanza niveles altos, llega a ser corrosivo para el ecosistema, principalmente a la fauna y flora. En ciertas situaciones, las aguas residuales industriales presentan un pH elevado, se lleva a cabo un proceso de neutralización antes de proceder al tratamiento biológico (Fernández, 2020).

### **2.3.2 Alcalinidad**

Se genera por compuestos carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos con elementos como el amonio, sodio, calcio, potasio, entre otros. Se reconoce como una indicación de la habilidad del agua para contrarrestar la acidez (Fernández, 2020).

### **2.3.3 Demanda biológica de oxígeno**

Es la cantidad de oxígeno necesaria para que los microorganismos puedan oxidar los compuestos orgánicos presente en el agua en un entorno con presencia de oxígeno. Se expresa en miligramos de oxígeno por litro (mg O<sub>2</sub>/L). Mediante la DBO se puede establecer la cantidad necesaria de oxígeno para estabilizar la materia orgánica para posteriormente evaluar la eficacia de la unidad de tratamiento (Fernández, 2020).

#### **2.3.4 Demanda química de oxígeno**

Es la medida necesaria de oxígeno para lograr la oxidación la materia orgánica por métodos químicos. Se emplea ampliamente el dicromato de potasio como uno de los compuestos más comunes, el cual reacciona en un entorno ácido a altas temperaturas. Este parámetro se utiliza para medir la cantidad de compuestos orgánicos en aguas negras industriales y municipales, y determinar su nivel de toxicidad en el medio ambiente (Fernández, 2020).

#### **2.3.5 Materia orgánica**

Son sólidos que provienen de las actividades humanas, de la flora y fauna involucrados en la producción de compuestos orgánicos. El 45% de sólidos filtrables y el 75% de sólidos suspendidos del agua negra, son de materia orgánica. Donde las principales de sustancias orgánicas son las proteínas con porcentajes del 40 al 60%, también los hidratos de carbono con porcentajes de 25 al 50% y aceites con un 10% (Fernández, 2020).

#### **2.3.6 Nitrógeno**

Dentro del tratamiento de aguas residuales por lodos activados, el nitrógeno es necesario para el progreso de las bacterias. Las principales son: nitritos, nitratos, nitrógeno amoniacal y orgánico. La presencia de nitrógeno en el agua determinará la viabilidad de aplicar un tratamiento biológico. Si hay un exceso o deficiencia de este nutriente, se deberá agregar o eliminar según sea necesario, con el objetivo de mantener un rango óptimo para el desarrollo de los microorganismos (Fernández, 2020).

#### **2.3.7 Oxígeno disuelto**

El oxígeno disuelto determina la concentración de vida acuática aerobia. Por lo que la falta de este elemento impide que se auto purifique el agua. Según la temperatura, su rango en aguas dulces es de 7 mg/L a 35°C y 14,6 mg/L a 0°C, sin embargo, para el tratamiento de aguas residuales mediante el proceso de lodos activados, es necesario asegurar una adecuada aireación en función de la demanda de masa microbiana.

Asimismo, se busca mantener una concentración residual de oxígeno disuelto (OD) de 2 mg/L (Almeida, 2020).

### 2.3.8 pH

Sirve para indicar cual es el nivel de alcalinidad o acidez. El pH es una concentración de iones hidrogeno en el agua. La medición de este parámetro es relevante en el tratamiento de aguas residuales, ya que las bacterias necesitan consumir la materia orgánica presente y para ello el agua debe estar en un rango entre 6,5 a 8,5. Si no es el caso, las condiciones del agua impulsan al crecimiento de hongos que crecen con un pH menor a 6 (Almeida, 2020).

## 2.4 PROCESOS UNITARIOS

Una PTAR (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales) es una instalación diseñada para tratar y purificar las aguas residuales antes de ser devueltas al medio ambiente. Estas plantas utilizan una combinación de procesos unitarios para eliminar los contaminantes presentes en las aguas residuales. A continuación, se presentan algunos de los procesos unitarios comunes utilizados en una PTAR:

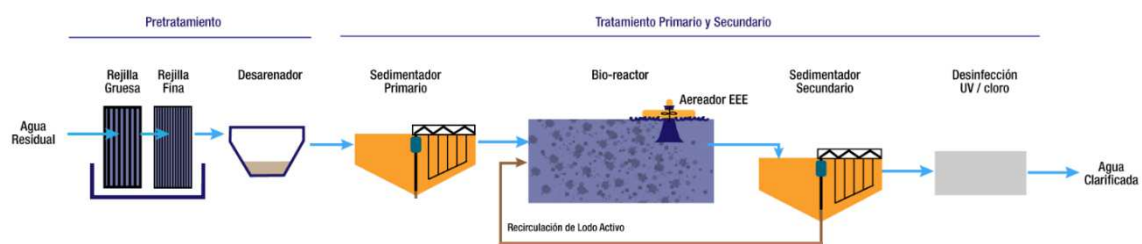


Ilustración 1: Esquema de procesos unitarios  
Elaborado por: SEPTAR

### 2.4.1 Tratamiento preliminar

Dentro de este proceso de aguas residuales se remueve los sólidos grandes y los materiales flotantes presentes en las aguas residuales. El tratamiento preliminar ayuda a proteger el equipo de tratamiento posterior, reduce la carga orgánica y facilita el tratamiento biológico (Almeida, 2020).

El tratamiento preliminar incluye la eliminación de materiales gruesos, tales como palos, piedras y otros objetos grandes que puedan obstruir los equipos de tratamiento. Además, se eliminan los materiales flotantes, como aceites y grasas, mediante el uso de separadores de grasa y aceite. Finalmente, el tratamiento preliminar también puede incluir la eliminación de arena y otros materiales inorgánicos mediante el uso de dispositivos de sedimentación.

En un estudio publicado en la revista científica *Water Science and Technology* (Eslamian, 2013), se evaluó el rendimiento de un mecanismo de tratamiento preliminar que utilizaba una combinación de rejillas y sedimentadores. Los resultados mostraron que este sistema fue eficaz para la remoción de materiales flotantes y sólidos suspendidos, disminuyendo la carga orgánica en un 38%. Además, se encontró que el sistema de tratamiento preliminar fue capaz de disminuir significativamente los niveles de contaminantes en las aguas residuales, lo que permitió un tratamiento biológico más eficaz en el siguiente proceso de tratamiento (Almeida, 2020).

#### **2.4.2 Tratamiento primario**

La etapa inicial del tratamiento de aguas residuales, conocida como tratamiento primario, desempeña un papel fundamental al eliminar los materiales flotantes y sólidos en suspensión presentes en las aguas residuales. Estos sólidos pueden incluir materia orgánica, arena, grava, alimentos no digeridos, papel y otros materiales que pueden obstruir las tuberías de alcantarillado (Almeida, 2020).

El tratamiento primario se realiza en grandes tanques de sedimentación donde el agua residual se deja reposar durante un período de tiempo, permitiendo que los sólidos más pesados se depositen en el fondo del tanque y los materiales flotantes suban a la superficie. Luego, el agua residual tratada se descarga en el medio ambiente.

Según (Rushton, 2021) el tratamiento primario de aguas negras es una técnica efectiva y de bajo costo para remover los sólidos suspendidos y los materiales flotantes de las aguas residuales. Este proceso es ampliamente utilizado en todo el mundo, especialmente en países en desarrollo, por su simplicidad y costo reducido. Sin embargo, el tratamiento

primario no logra una eliminación total de los contaminantes presentes en el agua residual, como los nutrientes y los patógenos. Por lo tanto, se requieren etapas adicionales de tratamiento, como el tratamiento biológico y químico, para eliminar estos contaminantes.

Otro estudio realizado por (McGraw-Hill, 1995) señala que el tratamiento primario es un proceso mecánico simple y eficiente que puede eliminar entre el 50% y el 70% de los sólidos en suspensión presentes en las aguas negras. El proceso de sedimentación es un método de tratamiento primario común que se utiliza en plantas de tratamiento de aguas residuales de todo el mundo. La sedimentación primaria puede ser analizada y mejorada mediante la adición de sustancias químicas coagulantes o floculantes que pueden ayudar a aglutinar los sólidos suspendidos y hacer que sean más fáciles de eliminar del agua residual.

### **2.4.3 Tratamiento secundario**

El tratamiento secundario de aguas negras se utiliza para eliminar los contaminantes químicos y biológicos que no se remueven en el tratamiento primario. Este proceso es fundamental para garantizar que el agua residual tratada sea lo suficientemente limpia como para ser devuelta al medio ambiente sin causar daño. El tratamiento secundario utiliza procesos biológicos y químicos para eliminar los contaminantes, y puede incluir la remoción de nutrientes como el fósforo y el nitrógeno, así como la eliminación de patógenos y otros contaminantes (Feng, 2021).

El proceso de lodos activados es uno de los métodos biológicos más frecuentemente empleados en el tratamiento secundario de aguas residuales. Este proceso utiliza bacterias aeróbicas para descomponer los compuestos orgánicos presentes en el agua residual. El proceso de lodos activados se lleva a cabo en grandes tanques de aireación, donde las bacterias se mezclan con el agua residual y el aire se bombea para proporcionar oxígeno a las bacterias. Después de la aireación, el agua negra tratada se descarga en un tanque de sedimentación secundaria, en los que, los sólidos suspendidos se asientan y se eliminan.

Otro proceso común utilizado en el tratamiento secundario de aguas residuales es la filtración biológica. Este proceso utiliza un medio filtrante biológico, como grava o arena,

para proporcionar un ambiente ideal para el desarrollo de bacterias aeróbicas. Estas bacterias se adhieren al medio filtrante y descomponen los componentes orgánicos presentes en el agua. La filtración biológica se utiliza como un proceso de tratamiento secundario independiente o como un proceso de tratamiento avanzado después del proceso de lodos activados para eliminar los nutrientes y otros contaminantes (Feng, 2021)

#### **2.4.3.1 Carga másica**

La carga másica en aguas residuales se refiere a la cantidad de contaminantes presentes en una cierta cantidad de agua residual. Resulta imprescindible realizar esta acción para evaluar la calidad del agua y determinar la extensión del tratamiento requerido con el fin de eliminar los contaminantes antes de reintroducir el agua al entorno natural. La carga másica se expresa típicamente en términos de masa de contaminantes por unidad de volumen de agua, como miligramos por litro (mg/L) (Feng, 2021).

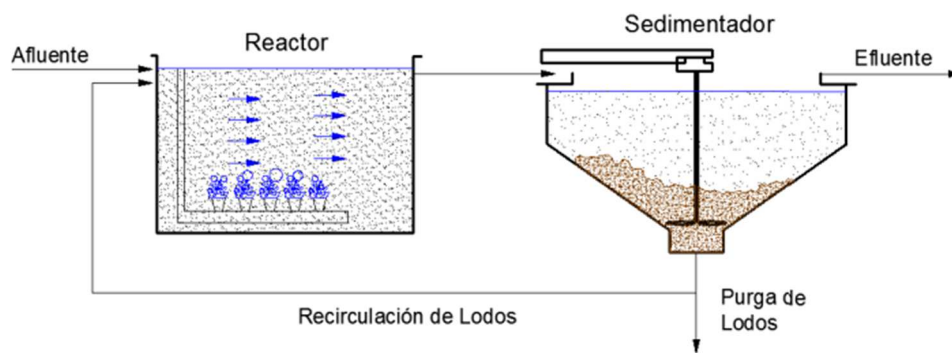
La carga másica se calcula multiplicando la cantidad de contaminantes en el agua residual por el caudal de agua que fluye a través del sistema de tratamiento. Es una medida útil para comparar la cantidad de contaminantes que se generan en diferentes puntos de un sistema de tratamiento de aguas residuales y para determinar la eficacia de los procesos de tratamiento en la eliminación de contaminantes. La reducción de la carga másica de contaminantes en las aguas residuales es esencial para proteger la calidad del agua y minimizar el impacto ambiental de las descargas de aguas residuales.

#### **2.4.3.2 Tiempo de retención celular**

El tiempo de retención celular (TRC) en aguas residuales es un parámetro primordial en el diseño y operación de sistemas de tratamiento biológico. Se refiere al tiempo aproximado que las células microbianas se mantienen en el reactor de tratamiento antes de ser eliminadas del sistema. El TRC se mide en días y se calcula dividiendo el volumen del reactor por el caudal de flujo de entrada (Torres, 2017).

El TRC es un factor crítico en la eficacia del tratamiento biológico, ya que determina el tiempo que las bacterias tienen para metabolizar los contaminantes en el agua residual. Si

el TRC es demasiado corto, las bacterias no tendrán suficiente tiempo para metabolizar completamente los contaminantes, lo que puede resultar en una eficacia de tratamiento insuficiente. Por otro lado, si el TRC es demasiado largo, se producirá una acumulación excesiva de lodos biológicos, lo que puede reducir el rendimiento del sistema y aumentar los costos de tratamiento. Por lo tanto, es importante determinar el TRC óptimo para cada sistema de tratamiento biológico en base a las propiedades específicas del agua negra y las condiciones operativas (Torres, 2017).



*Ilustración 2: Esquema de un sistema de recirculación para garantizar el tiempo de retención celular  
Elaborado por: (Sanchez D. , 2013)*

#### **2.4.4 Tratamiento terciario**

El tratamiento terciario de aguas residuales es la etapa final en el proceso de tratamiento de aguas negras. Su objetivo principal es remover los contaminantes que no se han eliminado en las anteriores etapas del tratamiento, incluyendo sólidos suspendidos, nutrientes y patógenos. El tratamiento terciario incluye una variedad de tecnologías de tratamiento avanzadas, como la filtración de membrana, la desinfección con luz ultravioleta y la eliminación de nutrientes mediante procesos biológicos y químicos. El tratamiento terciario es esencial para garantizar la calidad del agua para su reaprovechamiento, especialmente en áreas donde el agua es escasa. (Torres, 2017)

Según la (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos , 2021) el tratamiento terciario puede incluir procesos de remoción de nutrientes como la desnitrificación y la eliminación de fósforo, así como procesos de desinfección para eliminar patógenos. La eliminación de nutrientes resulta crucial para prevenir la eutrofización en los cuerpos receptores, mientras que la desinfección desempeña un papel esencial en la prevención

de la propagación de enfermedades transmitidas a través del agua. Además, la filtración de membrana ha demostrado ser una tecnología eficaz y rentable para el tratamiento terciario de aguas residuales, ya que es capaz de eliminar eficazmente los patógenos y sólidos suspendidos.

En conclusión, el tratamiento terciario de aguas residuales es una etapa crítica del proceso de tratamiento de aguas residuales que se utiliza para remover los contaminantes que no se han eliminado en los procesos anteriores del tratamiento. Las tecnologías de tratamiento avanzadas utilizadas en el tratamiento terciario, como la filtración de membrana, la desinfección con luz ultravioleta y la eliminación de nutrientes, son esenciales para asegurar la calidad del agua para su reutilización y para prevenir la contaminación de los cuerpos de agua receptores.

#### **2.4.5 Tratamientos anaeróbico y aeróbico**

Estos tratamientos pueden incluir procesos aeróbicos y anaeróbicos, que se utilizan para eliminar diferentes tipos de contaminantes. El tratamiento aeróbico implica el uso de oxígeno para eliminar los componentes orgánicos en el agua residual. La transformación de la materia orgánica en dióxido de carbono y agua se produce gracias a la actividad de microorganismos aeróbicos que la consumen durante este proceso. El tratamiento anaeróbico, por otro lado, se lleva a cabo en ausencia de oxígeno y utiliza microorganismos anaeróbicos para descomponer la materia orgánica en agua y biogás.

Según un estudio publicado en la revista científica *Chemosphere* (Chen, 2014), el tratamiento aeróbico es eficaz para eliminar materia orgánica soluble en el agua, como las grasas, proteínas y carbohidratos. El proceso aeróbico también puede eliminar bacterias y otros microorganismos patógenos presentes en las aguas residuales. Por otro lado, el tratamiento anaeróbico es más eficaz para eliminar compuestos orgánicos insolubles, como los lípidos y los hidrocarburos. Además, el proceso de tratamiento anaeróbico produce biogás, que se puede emplearse como una fuente de energía renovable.

Otro estudio publicado en la revista *Water Research* (Eslamian W. , 2018) señala que el tratamiento aeróbico y anaeróbico se pueden combinar para mejorar la eficiencia del tratamiento de aguas negras. En este proceso, primero se lleva a cabo el tratamiento anaeróbico para descomponer la materia orgánica insoluble, seguido del tratamiento aeróbico para eliminar la materia orgánica soluble restante. La combinación de ambos procesos puede proporcionar una mayor eficiencia en la eliminación de contaminantes y disminuir el consumo energético en el proceso de tratamiento.

## 2.5 SIMULACION

La simulación es una representación matemática de diversos procesos ya sean físicos, biológicos o químicos que ocurren en tanques y reactores. No obstante, el hecho de que los datos experimentales se ajusten correctamente al modelo y que logre predecir cual será el comportamiento de la planta, no significa que estén adecuados en el ámbito microbiológico (Artos & Constante, 2020).

La IWAQ (International Association on water quality) desarrollo distintos modelos matemáticos que permitan demostrar procesos biológicos que ocurren en las plantas de tratamiento de aguas residuales denominados (“Task Group on Mathematical Modelling for Design and Operation of Activated Sludge Process”). Algunos de los más utilizados son los propuestos por la IWA (International water association), una serie de modelos “Activated sludge model” (ASM1, ASM2d, ASM3) y la anaerobia ADM1 (Anaerobic digestion model 1) (Artos & Constante, 2020).

Los softwares de simulación contienen herramientas ampliamente utilizadas en análisis de procesos, y de diseños. Los simuladores también son capaces de predecir parámetros de calidad desde el influente de estaciones depuradoras. Los resultados de estas se presentan en gráficas y tablas con información fácil de interpretar. No obstante, se requiere conocimiento de los procesos para usar las herramientas y colocar los parámetros correctamente, de esa manera iniciar con la simulación y obtener resultados exactos. En la Tabla 1 se observan distintos softwares de simulación (Artos & Constante, 2020).

Tabla 1: Softwares de simulación

Simulador	Creador	Origen
ASIM	EAWAG	Suiza
DESASS	Calagua group- UPV	España
BIOWIN	Envirosim Associates L.d	Canadá
EFOR	DHI.Inc	Dinamarca
GPS-X	Hydromantis Inc.	Canadá
SIMBA	IFAK-System Gmbh	Alemania
STOAT	WRc Group	Reino unido
WEST	Hemmin N.V	Bélgica
EDAR1.0	CEIT-Cadagua	España
AQUASIM	EAWAG	Suiza

### 2.5.1 Importancia de la simulación

- Nos permite tener hipótesis en base a los resultados.
- Analizar la problemática antes de realizar la obra.
- Modificar ciertos parámetros experimentales y realizar series de simulación.
- Verificar las hipótesis.
- Obtener mejores resultados en optimización de la PTAR.

### 2.5.2 Software STOAT

Se desarrollo en 1988 en Reino Unido por WRC (Water Research Centre), se define como una aplicación de simulación dinámica para sistemas depuradoras de aguas residuales. Este software es utilizado por ingenieros y planificadores de todo el mundo para simular y analizar el comportamiento de los mecanismos de tratamiento de aguas negras. Con Stoaat, los usuarios pueden modelar y simular redes de alcantarillado, estaciones de bombeo, plantas de tratamiento y otros componentes del sistema de aguas residuales. (Sanchez, Mejía, & Amarocho, 2015).

Así mismo, permite diseñar modelos propios partiendo de existentes, con distintas configuraciones para los reactores biológicos. Se han desarrollado diversos enfoques que utilizan la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) como indicadores en los diferentes procedimientos de tratamiento; primario; secundario y terciario. Esta aplicación de simulación también incluye el secado térmico de fangos e incineración.

Una de las características más destacadas de Stoa es su capacidad para predecir y controlar el riesgo de inundaciones en las áreas urbanas y rurales. El software utiliza modelos hidrológicos avanzados para simular la descarga de aguas pluviales y el nivel de las aguas subterráneas, lo que permite a los usuarios analizar el riesgo de inundaciones y tomar medidas preventivas. Además, Stoa cuenta con una interfaz de usuario intuitiva que permite a los usuarios visualizar los resultados de las simulaciones en tiempo real, esto simplifica la toma de decisiones y favorece la comunicación con los demás integrantes del equipo.

Otra ventaja de Stoa es su capacidad para optimizar el diseño y el funcionamiento de los sistemas de tratamiento. El software puede ayudar a los ingenieros y planificadores a encontrar la configuración óptima para los componentes del sistema, lo que puede reducir los costos de operación y construcción, y mejorar la eficiencia del sistema. Además, Stoa puede simular el rendimiento del sistema bajo diferentes escenarios, lo que permite a los usuarios evaluar el impacto de las decisiones de diseño y operación dentro de la salud pública y medio ambiente (Sanchez, Mejía, & Amarocho, 2015).

Stoa también es una herramienta valiosa para la gestión de activos y la programación a larga duración de las estaciones de depuración de aguas residuales. El software puede ayudar a los usuarios a identificar los activos críticos del sistema y a desarrollar planes de mantenimiento y reparación para garantizar su funcionamiento óptimo. Además, Stoa puede ayudar a los usuarios a planificar la expansión y el crecimiento del sistema de tratamiento de aguas negras Con el fin de atender los requerimientos venideros de la población y el desarrollo económico.

### **2.5.2.1 Modelos de simulación**

Dentro del software STOAT existen diferentes tipos de modelos para cada proceso unitario de la planta de depuración de aguas residuales. Se va a presentar a continuación algunos de los modelos usados en la simulación.

## **BOD**

El tanque primario se modela como varios tanques bien mezclados en serie, cada uno con el mismo volumen y área de sedimentación, y se asume que opera a volumen constante. Los componentes dentro del tanque primario son los mismos que los del tanque de tormenta. El DBO particulado, los sólidos volátiles y no volátiles se dividen en fracciones sedimentables y no sedimentables. (WRC PLC STOAT, 1994)

El modelo asume que la proporción entre sedimentable y no sedimentable en las aguas residuales entrantes es fija para cada componente. Normalmente, las concentraciones de sólidos totales de entrada bajas tendrían altas fracciones de material no sedimentable, mientras que la fracción sedimentable aumentaría a medida que aumenta la concentración de sólidos totales.

## **ASAL1**

Según (Wooldrige, 1933) la mayoría de la población bacteriana en el fango activado no estaba viva. Sus experimentos demostraron que las bacterias no vivas eran capaces de eliminar la DBO de una mezcla de reacción incluso en ausencia de células vivas.

Concluyeron que, debido a la gran proporción de células no vivas en el fango activado, estas células solo necesitarían conservar una parte de su actividad original para ser responsables de la mayor parte de la actividad bioquímica observada en el fango. Estos hallazgos han sido respaldados por estudios más recientes utilizando quimiostatos.

El modelo WRC se compone de varias ecuaciones diferenciales escritas como un balance de masa alrededor de un reactor completamente mezclado. A medida que aumenta el número de reactores en serie, el modelo se acerca más a un flujo en tapón. Doce tanques en serie proporcionan una excelente aproximación a un reactor de flujo en tapón real. Cada tanque contiene el mismo número de componentes, con una ecuación diferencial para cada uno. Los componentes se dividen en autótrofos, que utilizan amoníaco, y heterótrofos, que utilizan la DBO. (WRC PLC STOAT, 1994)

## **SSED y OXID**

Existen cinco modelos de sedimentación disponibles y deben utilizarse dependiendo del modelo usado en el tanque de aireación, para continuar con el proceso de manera correcta.

*Tabla 2: Modelos de sedimentación dependiendo de los modelos de aireación  
Elaboración: Guía STOAT*

<b>Modelo de aireación</b>	<b>Modelo de sedimentación</b>
ASAL1	SSED 1
ASAL2	SSED 2
ASAL3	GENERICICO
ASAL5	SSED5
IAWQ1	GENERICICO
IAWQ2	GENERICICO

### 3 CAPITULO III: METODOLOGIA

#### 3.1 Ubicación

La planta de tratamiento que se va a simular será realizada en un terreno perteneciente a ETAPA EP en el área de Guangarcucho, entre la autopista Cuenca-Azogues y la vía a Jadán, dentro de la parroquia Nulti, en las coordenadas WGS84:  $x=734896$   $y=9685662$ , una altitud de 2330 msnm. El área comprendida es de 7.47 ha. (ETAPA EP, 2020).



Ilustración 3: Ubicación de la zona de estudio

Elaborado por: Autora

#### 3.2 Población y caudal

La planta de tratamiento de Guangarcucho está diseñada para el caudal sobrante que no puede ser tratado por la PTAR de Ucubamba, las zonas de Challuabamba y Nulti. Los parámetros de diseño en relación a población y caudal están proyectados al año 2050, tomando en cuenta que el estudio se realizó en 2017.

En cuanto a caudal, se tomará para el diseño un valor de 1200 L/s.

Tabla 3: Caudal medio del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas negras de Guangarcucho.

Año	PTAR Guangarcucho (L/s)
2018	308
2020	1.200
2025	1.200
2030	549
2035	561
2040	748
2045	970
2050	1.200

Elaboración: Empresa consultora GREELEY AND HANSEN

Para la población el valor proyectado al 2050 es de 367000 habitantes.

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Población equivalente	p.e.	367.000

Ilustración 4: Población equivalente

Elaborado por: Empresa consultora GREELEY AND HANSEN

### 3.3 Caracterización del agua residual

**pH:** El pH se determina utilizando un medidor de pH correctamente calibrado. El electrodo del medidor se sumerge en la muestra de agua residual y se registra el valor del pH.

**DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno):** La DBO se mide siguiendo el método establecido en la norma ecuatoriana NTE INEN 2844. Este método implica la dilución y mezcla de una muestra de agua residual con una solución de nutrientes y microorganismos. Luego, se registra la disminución del oxígeno disuelto durante un período de incubación específico.

**DQO (Demanda Química de Oxígeno):** La DQO se mide utilizando el método descrito en la norma ecuatoriana NTE INEN 2845. Este método involucra la oxidación química de la muestra de agua residual con un reactivo fuerte en presencia de un catalizador. Luego, se mide la cantidad de oxígeno consumido durante la reacción química.


**Sólidos:** Los sólidos suspendidos se miden mediante el método de filtración establecido en la norma ecuatoriana NTE INEN 2843. Este método consiste en filtrar una muestra de

agua residual a través de un filtro de membrana adecuado, seguido de un proceso de secado y pesaje del residuo sólido.

**Amonio, fosfatos y nitratos:** La medición de estos parámetros se realiza siguiendo los métodos establecidos en las normas ecuatorianas correspondientes (NTE INEN 2846 para amonio, NTE INEN 2847 para fosfatos y NTE INEN 2848 para nitratos). Estos métodos implican reacciones químicas específicas con reactivos adecuados, seguidas de la medición del cambio de color o la absorbancia espectrofotométrica resultante.

### 3.3.1 Resultados de la caracterización

Los parámetros de la caracterización del agua fueron tomados de un monitoreo realizado a la planta de Ucubamba el 6 de septiembre del 2022 y analizado en el laboratorio de la Universidad Católica de Cuenca de calidad de agua, HYDROLAB.

 Universidad Católica de Cuenca		CIITT- LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA- HYDROLAB		
		HACIENDA MIRACIELOS-RICAURTE		
Análisis	Método de Referencia / Método Interno	Unidad	MUESTRA	
			Día	Resultados 21-050
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	Método 5210- Literal D. Técnica: Respirométrica	mg/L	M1	207
Demanda Química de Oxígeno	Método 5220- Literal D. Técnica:	mg/L	M1	230
Sólidos	Técnica:Gravi	mg/L	M1	120
Amonio	Método del Salicilato 10031	mg/L	M1	19.5
Fosfatos	Método 4500- P Literal:E Técnica:	mg/L	M1	2.24
Nitratos	Método 4500- NO3 Literal:	mg/L	M1	16.8

*Ilustración 5: Caracterización del agua  
Elaborado por: Universidad Católica de Cuenca*

Del ensayo facilitado por el laboratorio también se obtuvo los porcentajes de solubilidad de los valores analizados.

Tabla 4: Porcentajes de solubilidad de parámetros

DBO lim	207	mg/l	% Soluble	40
DQO	230	mg/l	% Soluble	35
Xsst	120	mg/l	% SSV	75
NKT	36.3	mg N/l	% Soluble	70
P Total	2.24	mg P/l	% Soluble	70

Elaborado por: Universidad Católica de Cuenca

Obteniendo así las siguientes fracciones solubles y suspendidas.

Tabla 5: Caracterización del agua

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
DBOlim soluble	82.8	mg/l
DQO soluble	121.45	mg/l
Solidos volátiles suspendidos	90	mg/l
NKT soluble	25.41	mg N/l
Fosforo total soluble	1.57	mg P/l
DBOlim suspendido	124.2	mg/l
DQO suspendido	225.55	mg/l
Solidos suspendidos no volátiles	30	mg/l
NKT suspendido	10.89	mg N/l
Fosforo total suspendido	0.672	mg P/l
Materia orgánica inerte	38.65	mg DQO/l
Solidos suspendidos volátiles biodegradables	49.56	mg SS/l
Solidos suspendidos volátiles no biodegradables	40.44	mg SS/l
Temperatura	17.5	C°
pH	6.98	N/A

Elaborado por: Autora

### 3.4 Diseño propuesto.

A partir de la caracterización del agua a tratar se define que es una composición típica de agua negra urbana con una pequeña carga de material orgánico, por ello se planteó hacer un tratamiento biológico para un sistema de lodos activados convencional, aplicando estándares de diseño para el tratamiento de aguas residuales urbanas comunes.

Tabla 6: Criterios de diseño

Criterios de diseño	Valor	Unidad
Oxígeno disuelto en el reactor	2	mg/L
Tiempo de retención celular $\Theta_c$	5	Días
Sólidos en el caudal de recirculación	7000	mg SS/l
Sólidos en el efluente $SS_{efl}$	50	mg SS/l
Sólidos en el reactor $XSST$	3500	mg SS/l
$f$ (DBO5/DBOlim)	0.68	N/A

Elaborado por: Autora

Con el tiempo de retención celular asignado de 5 días se obtuvo una carga másica de 0.28 (Kg DBO<sub>5</sub> /Kg XSST. Día), para una temperatura de 17.5 C° a lo que se encuentra dentro de los valores recomendados de diseño.

Proceso	$C_m$ (Kg DBO <sub>5</sub> /Kg SST.día)		
	T < 20 °C	T = 20 °C	T > 20 °C
Alta carga	1.2–2.0	1.5–2.3	3.5–4.5
Convencional	0.15–0.40	0.2–0.45	0.25–0.6
Oxidación total	≤ 0.07	≤ 0.10	≤ 0.12

Ilustración 6: Valores de carga másica para tratamientos de lodos activados en aguas residuales domésticas.  
Obtenido de:

Para calcular la carga másica, se usa la siguiente expresión:

Ecuación 1: Carga másica

$$C_m T = \frac{(Q_{med} \times (DBO_{lim.sol} + X_s) \times f (DBO_5/DBO_{lim}))}{XSST \times V}$$

Donde:

$Q_{med}$  : Caudal medio (m<sup>3</sup>/d)

$DBO_{lim.sol}$ : DBO límite de sólidos

$XSST$ : Sólidos totales en el reactor (mg SS/l)

$V$ : Volumen del reactor. (m<sup>3</sup>)

$f$  (DBO<sub>5</sub>/DBO<sub>lim</sub>):

$$C_m T = 0.28 \text{ (Kg DBO}_5 \text{ /Kg XSST. Día)}$$

### **3.5 Descripción de las alternativas a simular**

#### **3.5.1 Alternativa 1: Proceso de lodos activados**

El proceso de tratamiento secundario de crecimiento suspendido conocido como lodos activados emplea microorganismos para eliminar sólidos no sedimentables, sedimentables y sólidos orgánicos disueltos. Lodos activados, se refiere a la presencia de hongos, bacterias, y protozoos en las partículas del agua residual tratada. Los microorganismos y las partículas mencionadas están presentes en las aguas residuales en su estado original. Durante el proceso de tratamiento, los microorganismos son cultivados en tanques de aireación, donde se les suministra oxígeno y nutrientes necesarios para su desarrollo (ETAPA EP, 2020).

En las estaciones de aguas residuales, se lleva a cabo un tratamiento preliminar en donde lo principal es la eliminación de basura, escombros y sólidos inorgánicos de gran tamaño. Posteriormente, se utiliza un sistema de sedimentación primaria para eliminar partículas orgánicas sedimentables y material flotante. El mecanismo de lodos activados es capaz de tratar tanto el agua en su estado original como el efluente de los sedimentadores primarios. Los microorganismos presentes en los tanques de aireación, en los lodos activados consumen los sólidos presentes en el agua. El agua tratada luego atraviesa a un proceso de sedimentación secundaria, en donde se separan los microorganismos y sólidos del agua mediante la decantación. Los microorganismos y sólidos sedimentados se recirculan parcialmente a los tanques de aireación, mientras que el agua purificada se dirige al proceso subsiguiente de tratamiento (ETAPA EP, 2020).

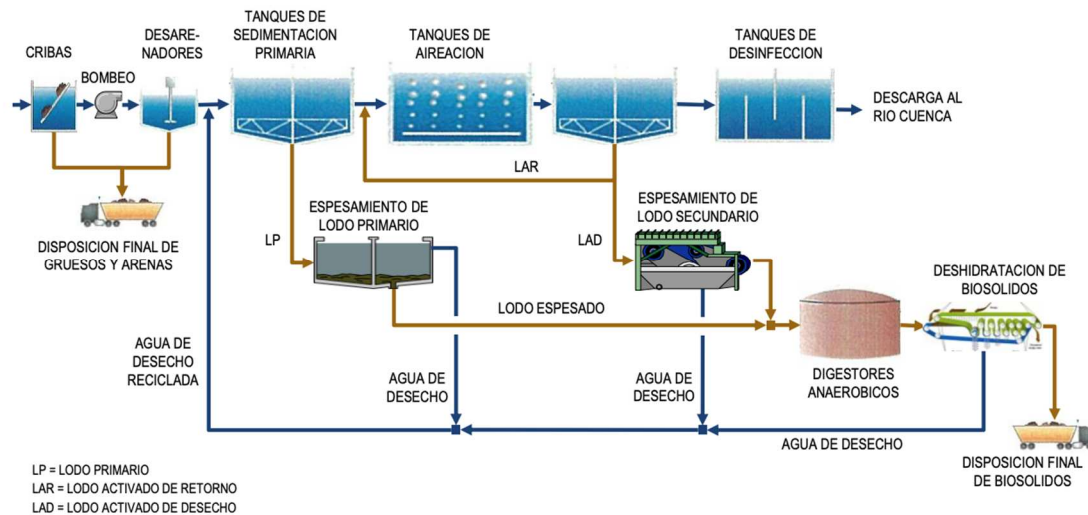


Ilustración 7: Esquema de alternativa 1. Lodos activados convencionales

Elaborado por: Empresa consultora GREELEY AND HANSEN

### 3.5.1.1 Sistema de pretratamiento

El objetivo del sistema de pretratamiento es remover los sólidos grandes presentes en el agua negra antes de que sea bombeada hacia la cabecera de la planta para su tratamiento. Este sistema de pretratamiento incluye una cámara de llegada donde el agua residual ingresa a través del interceptor, así como cribas para extraer los sólidos gruesos, una estación de bombeo y un sistema para extraer arena. De esta manera, se asegura que el agua residual que llega al proceso siguiente de tratamiento esté libre de sólidos gruesos que puedan obstruir el equipo o causar problemas en el proceso de tratamiento (ETAPA EP, 2020).

Para la limpieza mecánica, se seleccionaron cribas de paso gruesas de 38mm y cribas finas de 6mm y con una capacidad de 4320 m<sup>3</sup>/h, con un vertido de sólidos retenidos en una transportadora que alimenta una prensa de residuos (ETAPA EP, 2020).

En la estación de bombeo se optó por bombas sumergibles que evitan la obstrucción y disponen de frecuencia variable para ajustar la descarga a la entrada de flujo.

En cuanto al desarenado, se empleó desarenadores de flujo horizontal en la modelación, pero en la optimización se han instalado tipo vórtice para mejorar el proceso. Para

asegurar la redundancia del sistema, se implementaron dos tanques desarenadores siguiendo parámetros de diseño estándar, y se implementó un sistema de remoción de arenas.

Las bases de diseño proporcionada por etapa para este sistema se observan en la Tabla 7.

Tabla 7: Parámetros de diseño del sistema de pretratamiento

<b>Cribas de remoción gruesas</b>	
Tipo	Criba de limpieza mecánica
Número de unidades	2
Aberturas	38mm
<b>Cribas de remoción finas</b>	
Tipo	Criba de limpieza mecánica
Número de unidades	2
Aberturas	6mm
<b>Bombas de Afluente</b>	
Tipo	Criba de limpieza mecánica
Número de unidades	3 + 1
Capacidad en firme (L/s)	2640
<b>Desarenadores</b>	
Tipo	Vórtice
Número de unidades	2
Capacidad/ Unidad (L/s)	1305
Dimensiones	13.5m x 13.5m x 1m

Elaborado por: Empresa consultora GREELEY AND HANSEN

Los parámetros presentados en la tabla 7, se utilizarán para la simulación de este proceso. En caso de las cribas gruesas y finas se ocupará su diámetro y en el desarenador se ocuparán sus dimensiones.

### 3.5.1.2 Tratamiento Primario

- La modelación considera 3 sedimentadores primarios circulares de 4m de profundidad y 35m de diámetro.
- Los sedimentadores cuentan con canaletas del efluente y vertederos de rebose.
- El efluente continúa hacia los reactores biológicos.

Las bases de diseño para los sedimentadores primarios se muestran en la siguiente tabla 7.

Tabla 8: parámetros de diseño del sistema de tratamiento primario

<b>Sedimentadores primarios</b>	
Tipo	Circular, Accionamiento Central
Número de unidades	3
Tamaño/ unidad Diámetro x profundidad	35 x 4

Elaborado por: Empresa consultora GREELEY AND HANSEN

En el caso de los sedimentadores primarios presentados en la tabla 8, se tomará en cuenta el diámetro por la profundidad de la misma para el ingreso de datos de la simulación.

### 3.5.1.3 Tratamiento biológico

- El sistema de aireación escalonada fue considerado mediante difusores de membrana fina y cónica ubicados en el fondo de los tanques.
- El diseño de este sistema tiene un SRT (tiempo de retención de sólidos) de 4 a 5 días.
- Se considero una profundidad de 5 metros para los tanques de aireación
- El diseño cuenta con 4 tanques de aireación de 24m de ancho, 5m de profundidad y 55m de longitud.
- El diseño de este sistema se basa en la separación del agua clarificada del lodo biológico.
- Los sedimentadores secundarios constan de 4 tanques circulares de 4.5m de profundidad y 40 metros de diámetro.
- La recirculación de lodos biológicos a los tanques de aireación, se basa en la modelación de bombas sumergibles.
- El efluente circula por gravedad hacia el siguiente proceso, desinfección.

Tabla 9: parámetros de diseño del tratamiento secundario

<b>Tratamiento secundario</b>	
Tipo	Lodos activados con alimentación escalonada
Número de unidades	4
Tamaño/ unidad Diámetro x profundidad	55 x 25 x 5
Volumen Total	26100
<b>Sedimentadores Finales</b>	
Tipo	Circulares
Número de unidades	4
Tamaño/ unidad Diámetro x profundidad	40 x 4.5
Volumen Total	25340

Elaborado por: Empresa consultora GREELEY AND HANSEN

Dentro del tratamiento biológico se tomará en cuenta las bases de diseño para la simulación, los volúmenes de los parámetros mostrados en la tabla 9.

#### 3.5.1.4 Desinfección.

El sistema de desinfección para las alternativas analizadas es una desinfección ultravioleta. Este tipo se considera gracias a su eficiencia, a no requerir usos químicos corrosivos y peligrosos y por su tecnología que logra disminuir ciertos costos de equipos con motor vida útil.

Tabla 10: parámetros de diseño del sistema de desinfección.

<b>Desinfección Ultravioleta UV</b>	
Tipo	Desinfección Ultravioleta con lámparas escalonadas
Numero de lámparas	300
Volumen Total m3	15.45

Elaborado por: Empresa consultora GREELEY AND HANSEN

Para las tres alternativas planteadas se ocupará el mismo volumen total del proceso de desinfección UV.

#### 3.5.2 Alternativa 2 lodos activados de aireación prolongada en canales de oxidación

El método de tratamiento de lodos activados mediante exposición prolongada al aire en canales de oxidación es una variante que utiliza tiempos prolongados de retención de sólidos (SRT) con el fin de remover material orgánico biodegradable. El canal de

oxidación puede ser circular u ovalado, y está equipado con aireación mecánica. Normalmente, los canales de oxidación son sistemas de mezcla total, pero se pueden adaptar para imitar un sistema de flujo tipo pistón (si se desea un flujo más cercano al pistón, se requieren difusores de aire en lugar de aireación mecánica, aunque esto dejaría de ser considerado como un canal de oxidación) (ETAPA EP, 2020).

Antes de los canales de oxidación, generalmente se encuentra un sistema de tratamiento preliminar. El tratamiento primario no es típico en esta modalidad de tratamiento, por lo tanto, no está contemplado en esta alternativa. El agua que va hacia los canales de oxidación se somete a aireación y se mezcla con el flujo que se recircula y es proveniente del sedimentador secundario. Es necesario llevar a cabo la desinfección del efluente proveniente de la sedimentación secundaria antes de su liberación al cuerpo de agua.

Los aireadores superficiales, como los aireadores de disco, los de tubo, los rotores de cepillo o los difusores de burbuja fina, se emplean con frecuencia. Estos no solo suministran oxígeno a las mezclas de licor, sino que también contribuyen a la recirculación. La aireación tiene el efecto de aumentar rápidamente el nivel de oxígeno disuelto, el cual disminuye a medida que la biomasa lo consume mientras el licor mezclado circula por el reactor. Además, la aireación ayuda a mantener los sólidos en suspensión (ETAPA EP, 2020).

Numerosos creadores han desarrollado adaptaciones en las trincheras de oxidación, específicamente para la remoción de nutrientes. Estas adaptaciones incluyen la implementación de ciclos que alternan etapas anóxicas y aeróbicas, con el fin de lograr la desnitrificación y nitrificación parcial. Además, se han diseñado trincheras con más profundidad y con una superficie reducida para mejorar su capacidad de tratamiento.

Este método de tratamiento es altamente efectivo para instalaciones de menor tamaño, comunidades reducidas o entidades aisladas, donde el costo del terreno no sea excesivo, ya que este enfoque demanda más espacio en comparación con un sistema común de lodos activados.



Ilustración 8: Esquema de alternativa 2: lodos activados con aireación prolongada

Elaborado por: Empresa consultora GREELEY AND HANSEN

### 3.5.2.1 Sistema de pretratamiento

Para esta alternativa se consideran las mismas bases de diseño que la alternativa 1, comprende cribas gruesas y finas para remover sólidos de gran tamaño. Se puede observar los datos del diseño en la tabla 7.

### 3.5.2.2 Tratamiento secundario

Se llevará a cabo el tratamiento secundario utilizando el método de lodos activados con aireación prolongada en zanjas de oxidación.

Las zanjas de oxidación reciben las aguas negras del sistema de pretratamiento, donde se airean y circulan a velocidades entre 0,25 y 0,35 metros por segundos con el objetivo de mantener las partículas sólidas suspendidas en el fluido. El porcentaje de recirculación de los lodos oscila entre el 75% y el 150%. Los períodos de retención abarcan un rango de 4 a 24 días, mientras que el tiempo de retención hidráulica oscila entre 6 y 30 horas en la mayoría de las instalaciones municipales de tratamiento de aguas residuales (ETAPA EP, 2020).

El diseño preliminar se optimizó al incrementar la profundidad de las zanjas. Considerando una profundidad de 8 metros, lo que resulta en un área de zanjas de 10293 m<sup>2</sup>, que puede dividirse en dos baterías de 100 m x 52 m (ETAPA EP, 2020).

La siguiente tabla se presentan los valores de diseño que se emplean en este proceso.

Tabla 11: Sistema de tratamiento secundario

<b>Tratamiento secundario</b>	
Tipo	Aireación prolongada en zanjás de oxidación
Número de unidades	2
Tamaño/ unidad Diámetro x profundidad	100 x 52 x8
Volumen Total	82600
<b>Sedimentadores Finales</b>	
Tipo	Circulares
Número de unidades	4
Tamaño/ unidad Diámetro x profundidad	40 x 5
Área comprendida m <sup>2</sup>	5027

Elaborado por: Empresa consultora GREELEY AND HANSEN

En este proceso de tratamiento secundario se tomará en cuenta para la simulación, el volumen de la zanja de oxidación como el área comprendida del sedimentador, mostrados en la tabla 11.

### 3.5.2.3 Desinfección

Para esta alternativa se considera el mismo diseño de la alternativa 1, un sistema de desinfección ultravioleta. Las bases de diseño se encuentran en la tabla 9.

### 3.5.3 Alternativa 3 tratamiento con filtros percoladores.

Los filtros percoladores son una técnica biológica que se utiliza para tratar instalaciones residuales industriales y municipales desde hace aproximadamente un siglo. Consisten en un reactor biológico no sumergido que utiliza un relleno, ya sea de rocas o plástico para distribuir continuamente el agua negra. Se ha preferido el uso de un medio plástico de relleno debido a su mayor capacidad de tratamiento. El tratamiento se lleva a cabo cuando el agua residual pasa por encima de la capa biológica que se encuentra adherida al medio plástico de soporte (ETAPA EP, 2020).

Se utilizan filtros percoladores con relleno plástico de distintas formas ya sean redondas, cuadradas, entre otras; y profundidades de 4 a 12 metros. Incluyen estructuras de soporte para el medio plástico, también un sistema de dosificación que contiene rociadores de aguas negras y un sumidero inferior que se encarga de recoger el sobrante líquido del filtro (ETAPA EP, 2020).

El agua que ingresa se distribuye de manera homogénea sobre el material de relleno mediante rociadores que se extienden hacia el diámetro interno del filtro y realizan un movimiento circular alrededor del mismo.

Antes de entrar en los filtros percoladores, el agua residual debe ser sometida a un tratamiento preliminar y primario para evitar la obstrucción del medio filtrante con materiales como plásticos y cauchos. El efluente líquido resultante se somete al proceso de sedimentación secundaria y, posteriormente, a un proceso de desinfección antes de su liberación al medio ambiente.

El sistema alberga una comunidad biológica que incluye bacterias facultativas y aerobias, gusanos, larvas de insectos, algas, hongos, entre otros. Estos organismos forman una micropelícula con un espesor típico de 0.1 a 0.2mm (ETAPA EP, 2020).

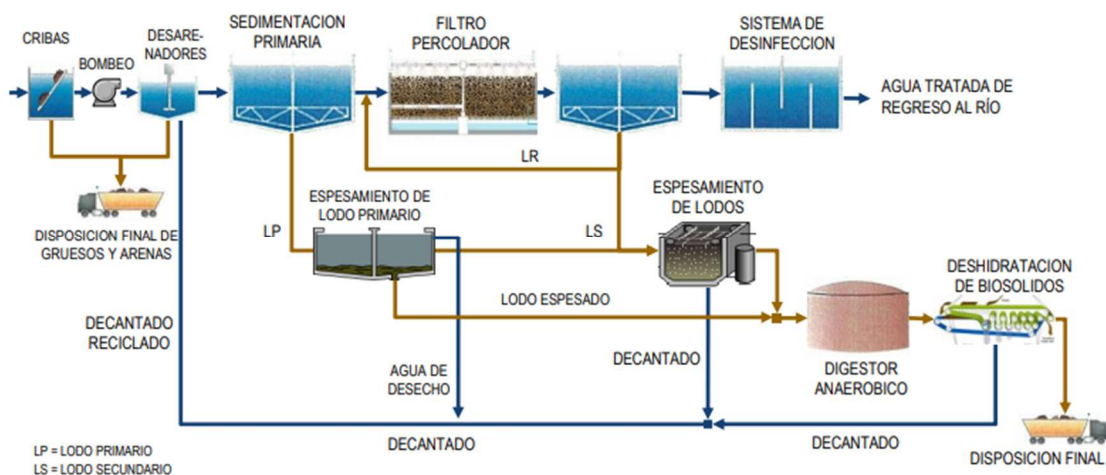


Ilustración 9: Esquema de alternativa 3, filtros percoladores

Elaborado por: Empresa consultora GREELEY AND HANSEN

### 3.5.3.1 Pretratamiento y tratamiento primario

En este sistema de pretratamiento corresponde los mismos modelados de la alternativa 1. Las cribas gruesas y finas para la remoción de sólidos gruesos grandes. En cuanto al tratamiento primario se considera también las bases de diseño de la alternativa 1, es decir 3 tanques sedimentadores (ETAPA EP, 2020).

### 3.5.3.2 Tratamiento secundario

En este sistema corresponde a la instalación de filtros percoladores. La profundidad de los filtros es de 8 metros gracias a uso del medio plástico. En cuanto al diámetro para la modelación se considera un diámetro de 52 metros de los filtros.

Los sedimentadores secundarios tienen las mismas bases de diseño que las dos alternativas anteriores. Los valores para el diseño del tratamiento secundario en filtros percoladores se muestra en la tabla 11 (ETAPA EP, 2020).

Tabla 12: parámetros de diseño del sistema de tratamiento secundario

<b>Tratamiento secundario</b>	
Tipo	Filtros percoladores
Número de unidades	2
Tamaño/ unidad Diámetro x profundidad	52 x 8
Área comprendida m <sup>2</sup>	4248
<b>Sedimentadores Finales</b>	
Tipo	Circulares
Número de unidades	4
Tamaño/ unidad Diámetro x profundidad	40 x 5
Área comprendida m <sup>2</sup>	5027

Elaborado por: Empresa consultora GREELEY AND HANSEN

En el proceso de tratamiento secundario se tomará en cuenta las bases de diseño para la simulación, las áreas comprendidas ya sea del filtro percolador como del sedimentador final mostrados en la tabla 12.

### 3.5.3.3 Desinfección

Para esta alternativa se ocupa de igual manera el proceso de desinfección mediante luz ultravioleta, como en las anteriores alternativas, sus parámetros se muestran en la tabla 9.

## 4 CAPITULO IV: RESULTADOS

### 4.1 Descripción de procesos

A continuación, se describirán los procesos que se ocuparan en todas las alternativas simuladas, estos parámetros se encuentran analizados en el capítulo 3.

#### 4.1.1 Pretratamiento

Los parámetros de las cribas y del desarenador se encuentran en la tabla 7 en el capítulo 3.

##### 4.1.1.1 Sistema de rejas (Screen):

El programa requiere el espaciamiento entre rejas. Se coloca una unidad para cada tipo de rejas (gruesas y finas).



Ilustración 10: Icono en STOAT de rejas

Elaborado por: Autora

Ilustración 11: Especificaciones de rejas gruesas. Captura de pantalla de una interfaz de usuario con un encabezado morado que dice "Edit screen : Page 1 of 1". Hay un campo "Name:" con el texto "REJAS GRUESAS" y un campo "Bar spacing (m):" con el valor "0.038". En la parte inferior hay botones "OK", "Cancel", "Reset", "More" y "Help".

Ilustración 11: Especificaciones de rejas gruesas

Elaborado por: Autora

##### 4.1.1.2 Desarenador (Grit trap):

En este caso se coloca el volumen de la unidad.

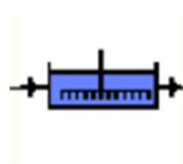


Ilustración 12: Icono en STOAT de desarenador

Elaborado por: Autora

Ilustración 13: Especificaciones del desarenador

Elaborado por: Autora

## 4.1.2 Tratamiento primario

Dentro del tratamiento primario, se encuentra el sedimentador primario, los valores ingresados de volumen y área comprendida se encuentran en la tabla 8 en el capítulo 3 de metodología.

### 4.1.2.1 Sedimentador primario (Primary tank):

La unidad opera bajo el modelo por defecto BOD (Biological Oxygen Demand) que tiene como prioridad decantar los componentes orgánicos biodegradables. Las variables con los que opera son el volumen y el área superficial del sistema.



Ilustración 14: Icono del sedimentador primario

Elaborado por: Autora

Ilustración 15: Especificaciones del sedimentador primario

Elaborado por: Autora

### 4.1.3 Tratamiento terciario

El tratamiento terciario se basa en un parámetro de desinfección uv, y los valores ingresados en la simulación se encuentran en la tabla 10.

#### 4.1.3.1 Desinfección (UV disinfection):

En este caso se requiere el volumen del sistema.

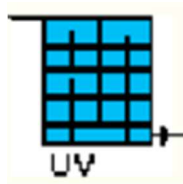


Ilustración 16: Icono de desinfección

Elaborado por: Autora

Una ventana de configuración de software con un encabezado morado que dice 'Edit UV unit : Page 1 of 1'. Dentro de la ventana, hay un campo de texto etiquetado 'Name:' con el valor 'DESINFECCION UV'. Debajo, hay un campo etiquetado 'Volume (m³):' con el valor '15.45'. En la parte inferior de la ventana, hay cinco botones: 'OK', 'Cancel', 'Reset', 'More' y 'Help'.

Ilustración 17: Especificaciones de desinfección

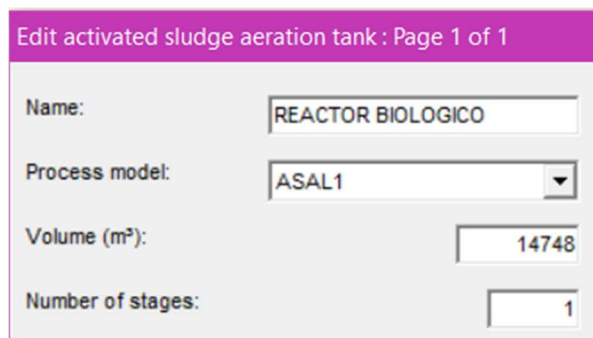
Elaborado por: Autora

### 4.1.4 Alternativa 1: Proceso convencional de lodos activados

En este apartado se tomará en cuenta los valores del tratamiento secundario para la alternativa 1, ya que este proceso es variable para las 3 alternativas. Los valores a ingresar en la simulación se encuentran en la tabla 9.

#### 4.1.4.1 Tratamiento secundario

Reactor biológico (Activated sludge): El biorreactor cuenta de un tanque aireado que opera con una concentración de oxígeno promedio de 2 mg/L para garantizar la oxidación de la materia biodegradable. El modelo que trabaja por defecto es el ASAL1 (Activated sludge model 1) es un modelo simplificado que asume la hidrólisis rápida de las componentes orgánicas biodegradables. Se requiere también el volumen del reactor biológico en m<sup>3</sup>.

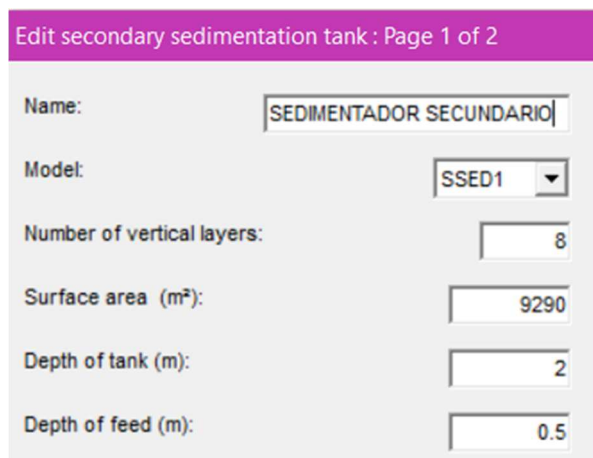


Name:	REACTOR BIOLOGICO
Process model:	ASAL1
Volume (m <sup>3</sup> ):	14748
Number of stages:	1

Ilustración 18: Especificaciones del reactor biológico

Elaborado por: Autora

Sedimentador secundario (Secondary sedimentation Tank): El modelo SSED1 trabaja de manera complementaria con el modelo ASAL1 utilizado en el reactor biológico. Esta unidad es la que controla el caudal de recirculación al reactor biológico. Las variables a ingresar son: área superficial, profundidad del tanque, altura de los lodos.



Name:	SEDIMENTADOR SECUNDARIO
Model:	SSED1
Number of vertical layers:	8
Surface area (m <sup>2</sup> ):	9290
Depth of tank (m):	2
Depth of feed (m):	0.5

Ilustración 19: Especificaciones del sedimentador secundario

Elaborado por: Autora

Operation data		
		Initial
1	Change at time (h):	0.00
2	RAS flow (m <sup>3</sup> /h):	4234.00
3	RAS ratio:	1.00
4	Sludge wastage flow (m <sup>3</sup> /h):	100.00
5	Wastage pump run time (h):	24.00
6	Wastage cycle time (h):	24.00
7	MLSS set-point (mg/l):	0.00

Ilustración 20: Operación de recirculación

Elaborado por: Autora

Dentro de la operación del sedimentador secundario se trabaja con las tasas de recirculación con valores típicos para depuradoras de aguas residuales y urbanas entre 1 y 0.8 para mantener el tiempo de retención celular, y la purga de lodos se ha definido como un valor para evitar que escapen solidos del sedimentador.

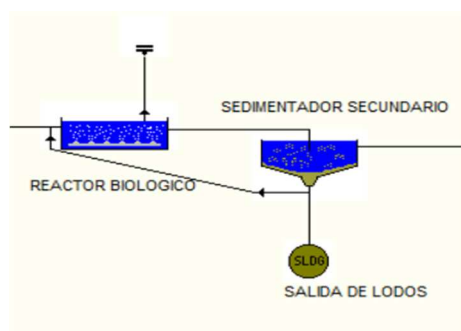


Ilustración 21: Iconos del tratamiento secundario de la alternativa 1

Elaborado por: Autora

#### 4.1.5 Alternativa 2: lodos activados de aireación prolongada en canales de oxidación.

Para la alternativa 2, el tratamiento secundario se basa en zanjas de oxidación, los datos de ingreso para este apartado se encuentran en la tabla 11.

#### 4.1.5.1 Tratamiento secundario

##### Zanja de oxidación prologada (Oxidation ditch):

Utiliza el modelo por defecto OXID1 que no es equivalente al ASAL1 ya que, incluye la desintegración de la materia orgánica en condiciones de anoxia, en donde el aceptor de electrones es el nitrato ( $\text{NO}_3$ ). Y la variable que se debe ingresar es el volumen del reactor.

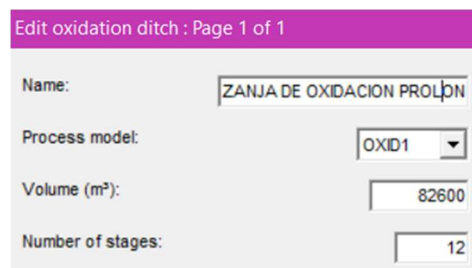


Ilustración 22: Especificaciones de oxidación prolongada

Elaborado por: Autora

##### Sedimentador secundario (Secondary sedimentation tank)

Las operaciones de este sistema trabajan con los mismos parámetros que la alternativa 1.

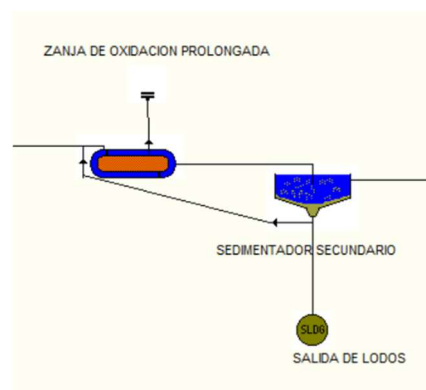


Ilustración 23: Iconos del tratamiento secundario de la alternativa 2

Elaborado por: Autora

#### 4.1.6 Alternativa 3: Tratamiento con filtros percoladores.

Dentro de esta alternativa se considera el filtro percolador como tratamiento secundario, los valores ingresados para la simulación se encuentran en la tabla 12.

##### 4.1.6.1 Tratamiento secundario

###### Filtro percolador (Trickling filter):

Utiliza el modelo por defecto de BOD semi-dynamic asume que la biomasa o biopelícula está totalmente desarrollada por lo que ignora el proceso de crecimiento. Y se proporciona el valor del área superficial en  $m^2$  y la profundidad en m.

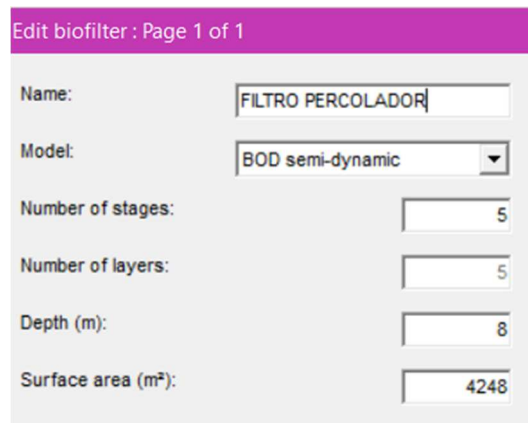


Ilustración 24: Especificaciones del filtro percolador

Elaborado por: Autora

**Sedimentador (Humus tank):** Esta unidad opera como sedimentador primario, el programa STOAT no permite modelar la recirculación para el sistema de filtros percoladores. Se ingresa solamente el valor del área superficial en  $m^2$ .

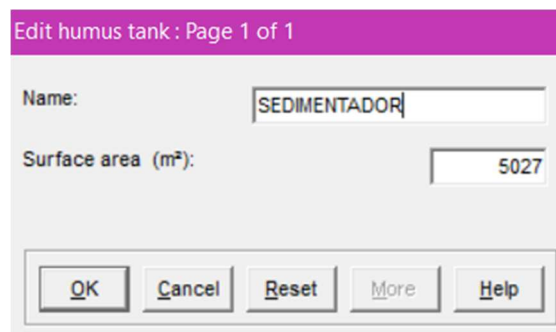


Ilustración 25: Especificaciones del sedimentador

Elaborado por: Autora

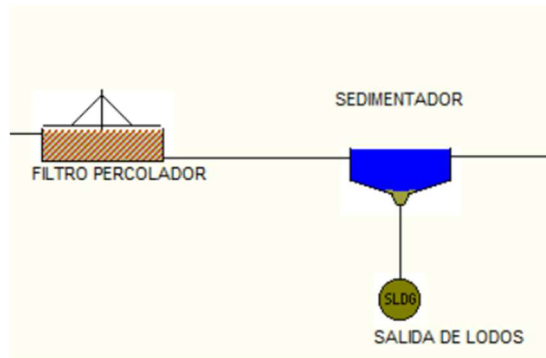


Ilustración 26: Iconos del tratamiento secundario de la alternativa 3

Elaborado por: Autora

## 4.2 Puesta en marcha de alternativas

Las tres alternativas han sido modeladas a caudal y carga de materia orgánica constante. Se creó un perfil con la caracterización del agua obtenida de Hydrolab con sus porcentajes correspondientes de manera suspendida y soluble durante un tiempo 3 meses.

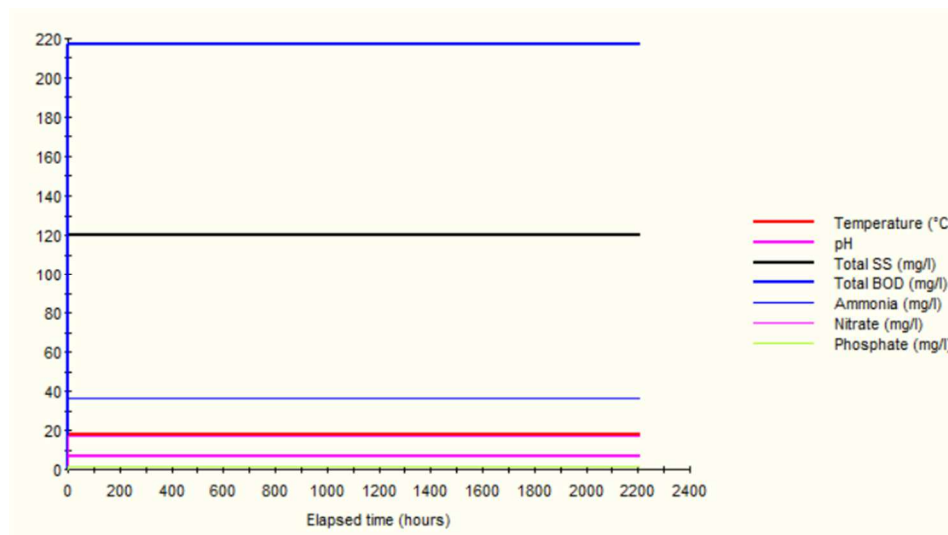


Ilustración 27: Grafico de parámetros constantes de entrada

Elaborado por: Autora

Tabla 13: Parámetros de entrada para la simulación

Temperatura	Ph	Total, solidos suspendidos	Total, BOD	Amonio	Nitrato	Fosfato
17.5	6.98	119.95	216.9	36.28	16.79	1.57

Elaborado por: Autora

Los valores correspondientes a los parámetros de entrada con sus fracciones solubles y suspendidas se pueden observar en la tabla 5 correspondiente a la caracterización del mismo.

### 4.3 Interpretación de los resultados

#### 4.3.1 Alternativa 1:

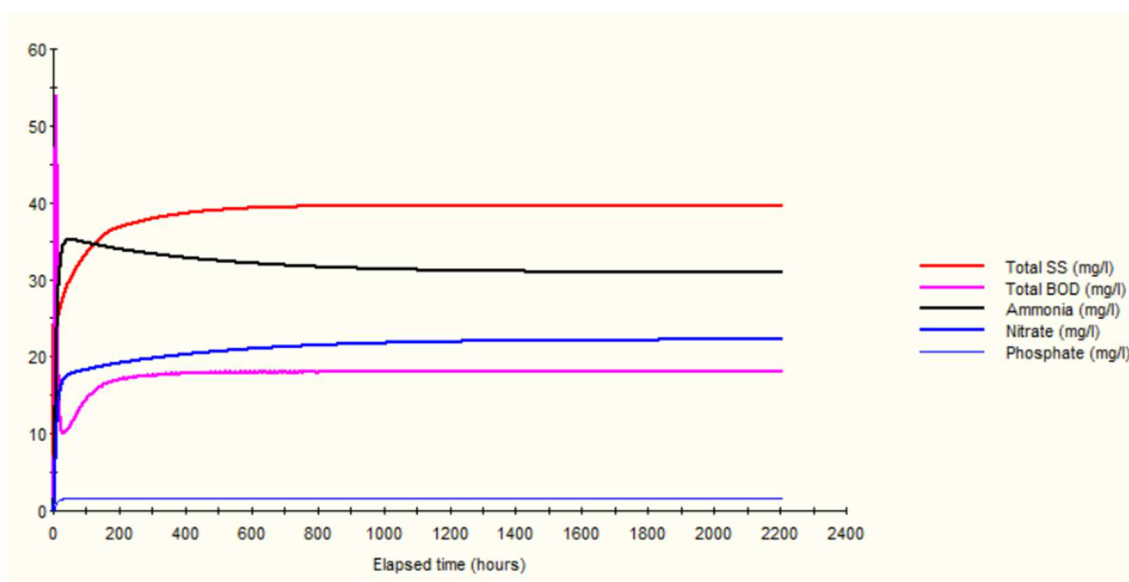


Ilustración 28: Gráfico de resultados de la Alternativa 1

Elaborado por: Autora

Tabla 14: Parámetros de salida de la alternativa 1

Total, solidos suspendidos	Total, BOD	Amonio	Nitrato	Fosfato
38.75	17.72	31.71	21.13	1.56

Elaborado por: Autora

DBO: De acuerdo al diseño de la planta el tiempo de retención celular con el que se ha definido el volumen del reactor biológico, resulta pequeño para degradar la materia orgánica hasta los criterios de vertido.

Sólidos suspendidos: El valor de sólidos suspendidos se encuentra por encima del criterio de vertido, valor que podría disminuir si se trabaja con la tasa de recirculación y purga del sedimentador secundario.

Amonio: La oxidación del amonio a nitrato es limitada por el poco tiempo de retención celular usado para el diseño del biorreactor. Las bacterias autótrofas encargadas del proceso de nitrificación requieren mayor cantidad de tiempo para desarrollarse y poder convertir el amonio a nitrato (McGraw-Hill, 1995).

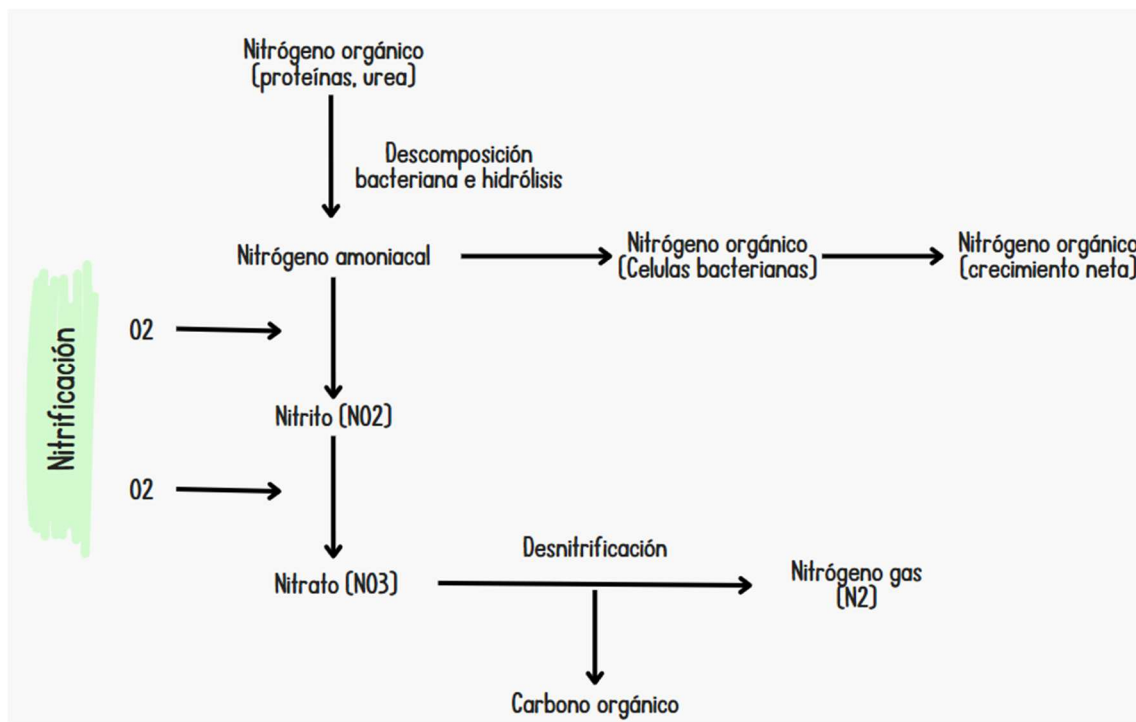


Ilustración 29: Cuadro demostrativo del proceso de la nitrificación

Elaborado por: McGraw-Hill en 1995

Nitratos: Lo poco que se oxida de amonio a nitrato es el incremento que se obtiene de este nutriente en el vertido.

Fosfatos: El diseño de la planta no contempla ningún proceso de eliminación de fosfato. La mínima cantidad de fosfato que se elimina está asociada a las necesidades nutritivas de la biomasa en el reactor.

Cabe indicar que la planta únicamente contempla un diseño de oxidación de la materia orgánica y no la reducción o remoción de nutrientes.

#### 4.3.2 Alternativa 2:

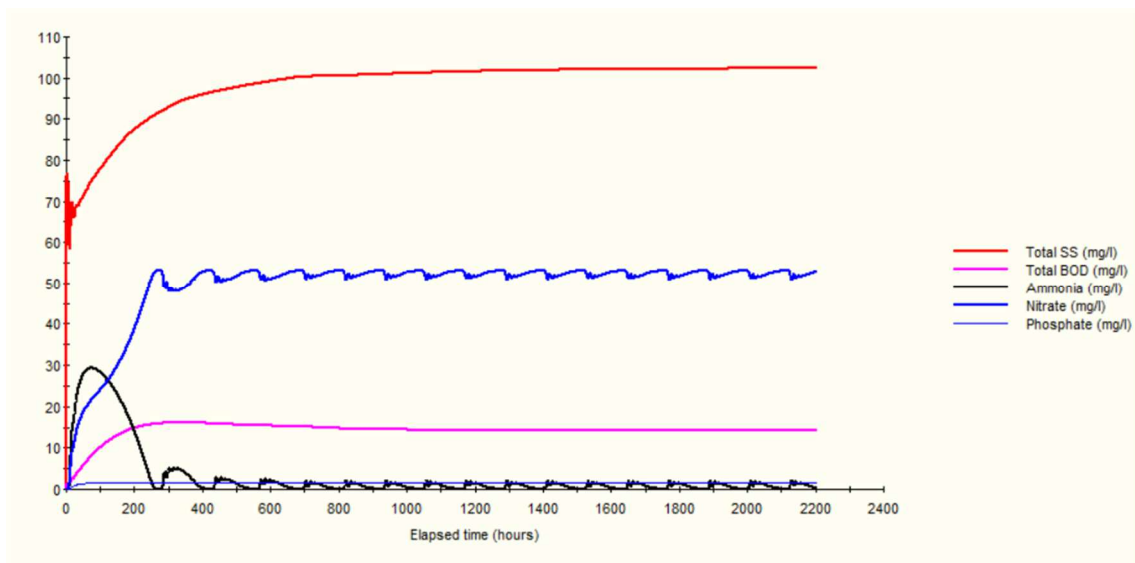


Ilustración 30: Gráfico de resultados Alternativa 2

Elaborado por: Autora

Tabla 15: Parámetros de salida de la alternativa 1

Total, solidos suspendidos	Total, BOD	Amonio	Nitrato	Fosfato
98.19	14.15	3.05	49.38	1.55

Elaborado por: Autora

DBO: La tasa de degradación de la materia orgánica en esta alternativa es mayor a la alternativa 1 debido a que el tiempo de retención celular en este reactor biológico es mayor permitiendo que las bacterias heterótrofas oxiden la mayor parte de la materia orgánica disponible y de manera complementaria en las condiciones de anóxico propias

de un sistema de zanjas de oxidación prolongada, las bacterias heterótrofas facultativas permite incrementar el consumo de materia orgánica para desnitrificar. (McGraw-Hill, 1995)

Sólidos suspendidos: El valor de sólidos suspendidos se encuentra por encima del criterio de vertido, valor que podría disminuir si se trabaja con la tasa de recirculación y purga del sedimentador secundario.

Amonio: La tasa de nitrificación en esta alternativa es mayor debido al mayor tiempo de retención celular bajo que opera el reactor biológico permitiendo a las bacterias autótrofas encargadas de la nitrificación desarrollarse y oxidar gran parte del amonio.

Nitratos: Debido al incremento de nitrificación producido en el reactor ocurre un incremento en la cantidad de nitratos en el vertido debido a que no se ha diseñado la planta para una eliminación biológica de nitratos en condiciones anóxicas para una completa desnitrificación.

Fosfatos: En este caso es igual a la alternativa 1.

### 4.3.3 Alternativa 3:

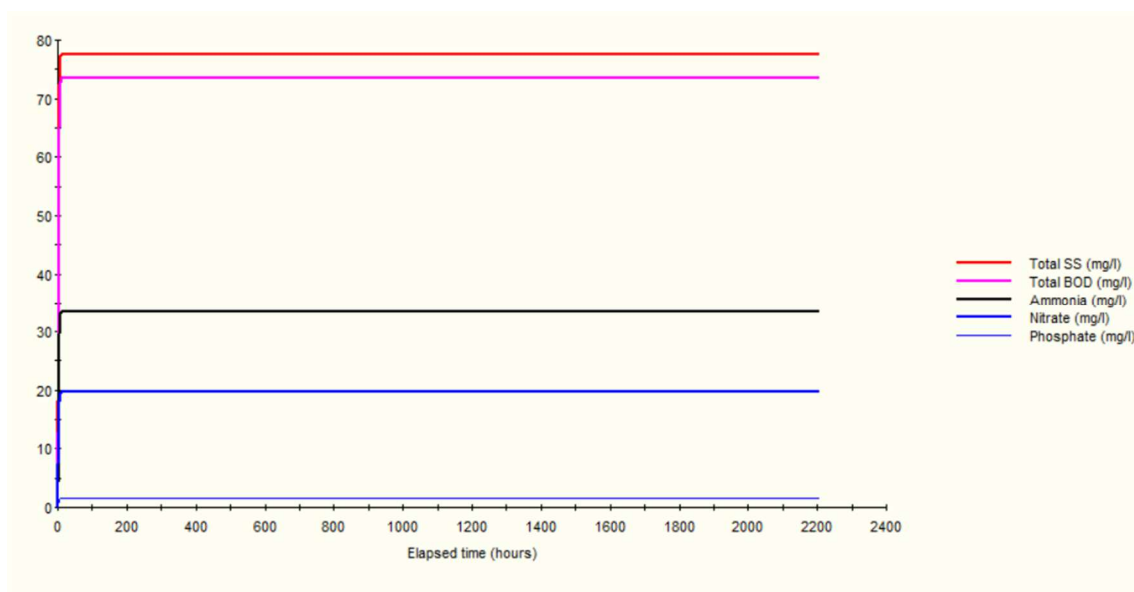


Ilustración 31: Gráfico de resultados de la Alternativa 3

Elaborado por: Autora

Tabla 16: Parámetros de salida de la alternativa 3

Total, solidos suspendidos	Total, BOD	Amonio	Nitrato	Fosfato
77.43	73.33	33.38	19.65	1.57

Elaborado por: Autora

DBO: Al igual que la alternativa 1 el tiempo de retención celular es muy reducido para que la biomasa logre degradar la materia orgánica hasta los límites de vertido planteados para el diseño, a diferencia de la alternativa 1, en los filtros percoladores se necesita mayor capacidad de reactor biológico para oxidar la misma cantidad de materia orgánica ya que las bacterias crecen en una tasa inferior.

Solidos suspendidos: Es igual a las alternativas anteriores, sin embargo, la versión libre del software no permite trabajar con sedimentadores secundarios y su recirculación.

Amonio y nitratos: Sucede igual que la alternativa 1, la planta no está diseñada para una nitrificación y desnitrificación por lo que los valores se mantienen similares al perfil de ingreso.

Fosfato: Sucede igual que las alternativas anteriores.

#### 4.4 Comparación de resultados

La alternativa más eficiente en cuanto a remoción de nitrógeno y materia orgánica es el proceso de zanjas de oxidación prolongada, debido a que es un proceso que permite la oxidación de la materia orgánica, así como del amonio, con una tasa baja de desnitrificación.

Sin embargo, la elección de esta alternativa como propuesta definitiva debe estar relacionada a un análisis técnico económico que comprenda el emplazamiento de la propuesta, así como la mayor tasa de generación de lodos.

Tabla 17: Comparación de parámetros de salida de las 3 alternativas

	Total, solidos suspendidos mg /l	Total, BOD mg /l	Amonio mg/l	Nitrato mg/l	Fosfato mg/l	Lodos kg/h
<b>Alternativa 1</b>	38.75	17.72	31.71	21.13	1.56	747
<b>Alternativa 2</b>	98.19	14.15	3.05	49.38	1.55	174
<b>Alternativa 3</b>	77.43	73.33	33.38	19.65	1.57	308

Elaborado por: Autora

A continuación, se puede observar en las ilustraciones según el diseño de la empresa consultora, las 3 alternativas dentro del área constructiva.



Ilustración 32: Diseño de la alternativa 1, Proceso de lodos convencionales en el emplazamiento

Elaborado:

Elaborado por: Empresa consultora GREELEY AND HANSEN

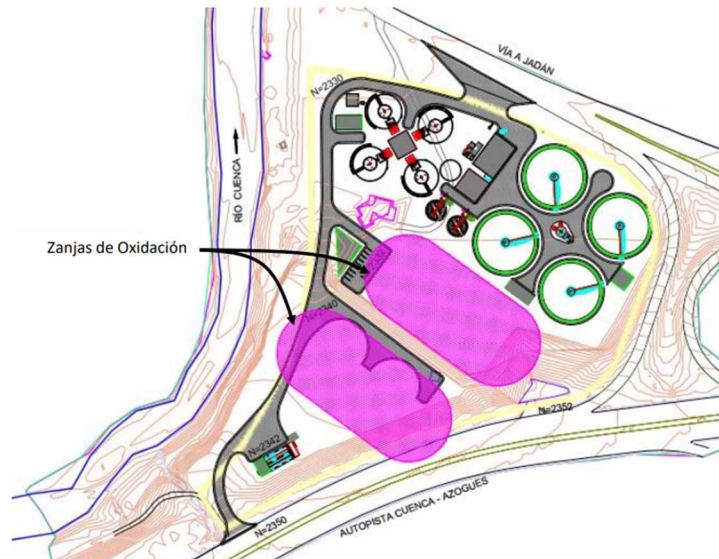


Ilustración 33: Diseño de la alternativa 2, lodos activados de aireación prolongada en canales de oxidación en el emplazamiento.

Elaborado por: Empresa consultora GREELEY AND HANSEN



Ilustración 34: Diseño de la alternativa 3, filtros percoladores en el emplazamiento

Elaborado por: Empresa consultora GREELEY AND HANSEN

Para la elección de la alternativa óptima también debería considerarse el emplazamiento de los módulos del biorreactor, de acuerdo al diseño realizado por la empresa consultora, la alternativa 1 y 3 pueden emplazarse en el predio destinado al proyecto de aguas residuales de Guangarcucho, mientras que para la alternativa 2 el predio está limitado en cuanto a superficie, condicionando la elección de esta alternativa desde el aspecto técnico y económico.

## Conclusiones

La caracterización del agua residual realizado en el laboratorio de la Universidad Católica de Cuenca, se encuentra dentro del rango típico para aguas residuales urbanas, sin embargo, la concentración de materia orgánica oxidable (DQO) es similar a la materia orgánica biodegradable (DBO) algo que debería analizarse a mayor profundidad, especialmente en sus porcentajes solubles y suspendidos.

El caudal de diseño promedio de la planta de 1200 l/s fue considerado recibiendo el aporte de las aguas residuales generadas en el cantón Azogues en la provincia del Cañar, dato que no ha sido modificado desde la elaboración de los estudios hasta el último proceso de licitación que fue suspendido.

Las dimensiones propuestas por la empresa consultora de acuerdo a la simulación indica que las instalaciones del tratamiento biológico, son pequeñas para el volumen de agua a tratar y para los límites de vertido. Sin embargo, cumple con los criterios de vertido de la norma ecuatoriana TULSMA.

En cuanto las variables usadas para la simulación de las tres alternativas se tuvo la limitante de no contar con los valores y tasas de recirculación del sedimentador secundario en el tratamiento biológico, variables indispensables para la correcta operación y depuración de la planta de tratamiento, por lo cual han sido aproximadas mediante valores típicos que contempla la bibliografía.

Las tres alternativas simuladas no contemplan en su diseño operaciones para la eliminación de nutrientes, como son el nitrato y fosfato, no obstante, la alternativa 2 es la que tiene una calidad de efluente con mejores características para evitar la degradación del medio receptor, un valor que se debería tener en cuenta al momento de priorizar alternativas.

La versión libre del software STOAT no permite la aproximación a las condiciones reales de las alternativas de tratamiento, restringiendo el uso de módulos de tratamiento con diferentes líneas de operación, así como no se ha considerado la línea de tratamiento de lodos generados en la depuradora.

## Recomendaciones

- Es necesario contrastar los resultados del ensayo usado para la caracterización del agua con una toma de muestra compuesta del agua residual de Cuenca, en la que se tenga datos de la variación de la concentración de carga contaminante del afluente a tratar.
- Para el diseño de plantas de tratamiento se debería considerar criterios de vertido más estricto que lo que regula la norma ecuatoriana, para ello sería necesario diseñar con mayores tiempos de retención celular para garantizar la oxidación total de materia orgánica y amonio que es descargado al medio receptor, y así evitar la degradación de los cuerpos de agua.
- A pesar de que la norma ecuatoriana no contempla restricciones de vertido a cuerpos que tienen altos índices de sufrir el proceso de eutrofización es necesario que las plantas de tratamiento de aguas residuales eliminen la carga contaminante de nutrientes (fosfatos y nitratos) hasta valores tolerables por el medio receptor.
- La herramienta STOAT permite modelar varios sistemas de tratamiento de aguas residuales, destacando procesos convencionales y variantes en condiciones aerobias, se ve limitada al momento de modelar procesos totalmente anaerobios como son: fosas sépticas o tanques Inhoff, que suelen ser predominantes en plantas de tratamiento rurales.
- Para las plantas de tratamiento rurales se pueden utilizar herramientas como GPS-X pueden ser usadas para poder modelar gran variedad de procesos de tratamiento de aguas residuales y lodos, incluso sistemas anaerobios. Sin embargo, es un software de pago, con un costo sin impuestos de tres mil (\$3.000.00) dólares americanos.
- Los programas permiten evaluar cada uno de los componentes de una PTAR, pudiendo ser usado como herramienta en la toma de decisiones, de igual manera pueden ayudar a optimizar procesos de una depuradora.

- Los softwares se recomiendan en función del sistema de tratamiento y la capacidad de adquirir herramientas de pago por parte de las parroquias.
- La herramienta STOAT permite modelar el tratamiento que puede ocurrir en una planta de este tipo, por lo que se podrían generar resultados que ayuden a evaluar su funcionamiento y grado de depuración.

## 5 Bibliografía

- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos . (23 de Mayo de 2021). *Tratamiento de aguas residuales municipales*. Obtenido de <https://www.epa.gov/es/tratamiento-de-aguas-residuales-municipales>
- Aguilar, E. (2019). *Evaluación de la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales en la remoción de contaminantes emergentes* . Mexico.
- Almeida, G. (2020). *Análisis de la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales industriales mediante procesos biológicos*. Brasil.
- Artos, B., & Constante, J. (2020). *Modelado y simulación de una planta de tratamiento de aguas residuales empleando modelos ASM*. Quito.
- Cárcamo, W. (2017). Calibración de un simulador para el sistema de lodos activados de la planta de Riles. *Revista Ciencias Estratégicas* , 157-179.
- Castellano, A., & Sanchez, J. (2017). *Modelamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales Salitre mediante el software WEST*. Bogota.
- Chacón, J., & Ramírez, L. (2020). *PROPUESTA DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) PARA EMPRESA DE LÁCTEOS, A PARTIR DE LA SIMULACIÓN DEL SOFTWARE GPS-X*. Bogotá.
- Chen. (2014). Aerobic granular sludge: characterization, mechanism of granulation and application to wastewater treatment. *Chemosphere*, 815-828.
- Díaz, A. (2018). *Optimización del proceso de tratamiento biológico en una planta de tratamiento de aguas residuales municipales*. España.
- Eslamian. (2013). Simulation of wastewater treatment plants: A practical approach. *Water Science and Technology*, 1441-1449.
- Eslamian, W. (2018). Anaerobic/aerobic treatment for the removal of organic pollutants from wastewater. *Water Research*, 410-424.
- Espitia, F. (2017). *DIAGNÓSTICO, EVALUACIÓN Y PLANTEAMIENTO DE MEJORA EN LOS COMPONENTES DE LA PLANTA DE AGUAS RESIDUALES EN EL MUNICIPIO DE BUENAVISTA* . Bogotá.
- ETAPA EP. (2020). *Diseños Definitivos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Guangarcucho, Cantón Cuenca, Provincia del Azuay, Ecuador*. Cuenca.

- Feng, G. (2021). Characterization of Activated Sludge in a Moving Bed Biofilm Reactor and its Performance in Treating Municipal Wastewater. *Journal of Environmental Management*, 278.
- Fernández, M. (2020). *Evaluación del rendimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales mediante procesos físico-químicos y biológicos*. Argentina.
- Gavrilescu. (2012). Simulation model for wastewater treatment plants. *Journal of Environmental Management*, 10-23.
- Gonzalez, A. (2017). *Modelado y simulación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) empleando el software GPS-X*. San Luis Potosí: Centro de investigación y estudios de Posgrado .
- Lopez, G. (2021). *Simulación de una PTAR basado en el modelo de lodos activos N°1 (ASMI) para evaluar la eficiencia de remoción de materia orgánica y nutrientes de las aguas residuales municipales*. Lima, Perú.
- McGraw-Hill. (1995). *INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES, TRATAMIENTO, VERTIDO Y REUTILIZACIÓN*. España.
- Rushton, C. (2021). Development of a novel biological-physical-chemical treatment process for municipal wastewater treatment. *Science of the Total Environment*, 753.
- Sanchez, D. (2013). *SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS PARA LA REDUCCIÓN DE NITRÓGENO*. Santiago de Cali.
- Sanchez, J., Mejía, A., & Amarocho, C. (2015). *Software de ingeniería especializado en el diseño y simulación de plantas de tratamiento de agua residual: revision*. España.
- Torres, E. (2017). *Diseño y operación de una planta de tratamiento de aguas residuales para una comunidad rural*. Perú.
- Villacis, A. (2011). *Estudio de un Sistema de Depuración de Aguas Residuales para reducir la contaminación de Río Ambato y los sectores aledaños, en el sector de Pisocucho, de la parroquia Izamba, del Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua*. Ambato.
- Wooldrige, W. (1933). The stability test of sewage and its relation to ezyme activity. *Biochemical Journal*, 193-201.
- WRC PLC STOAT. (1994). *Process model descriptions*.

## 6 ANEXOS

Esquema realizado en el software STOAT para la simulación de la Alternativa 1: Proceso convencional de lodos activados.

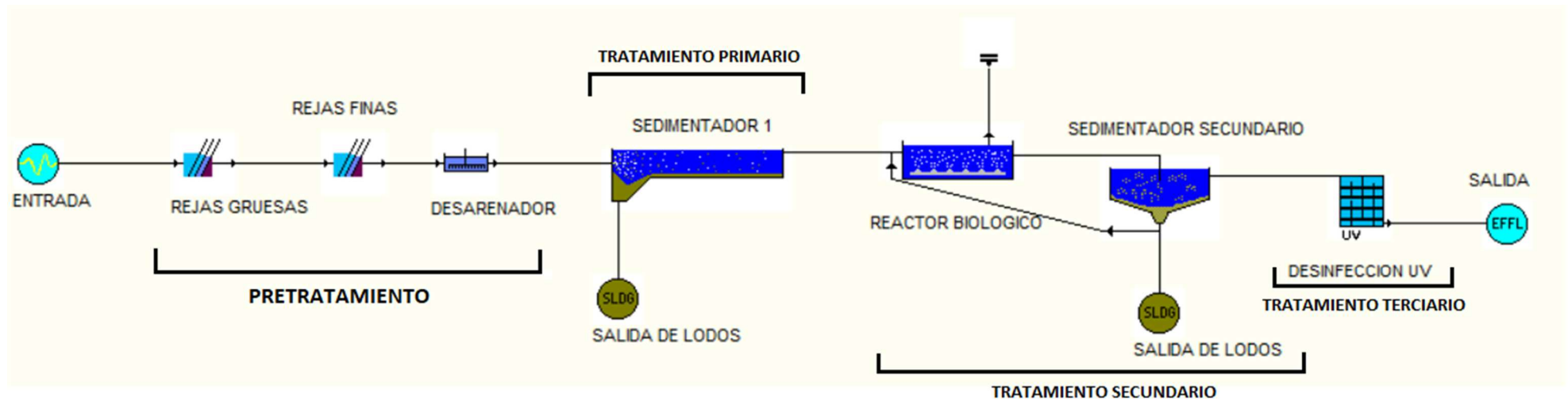
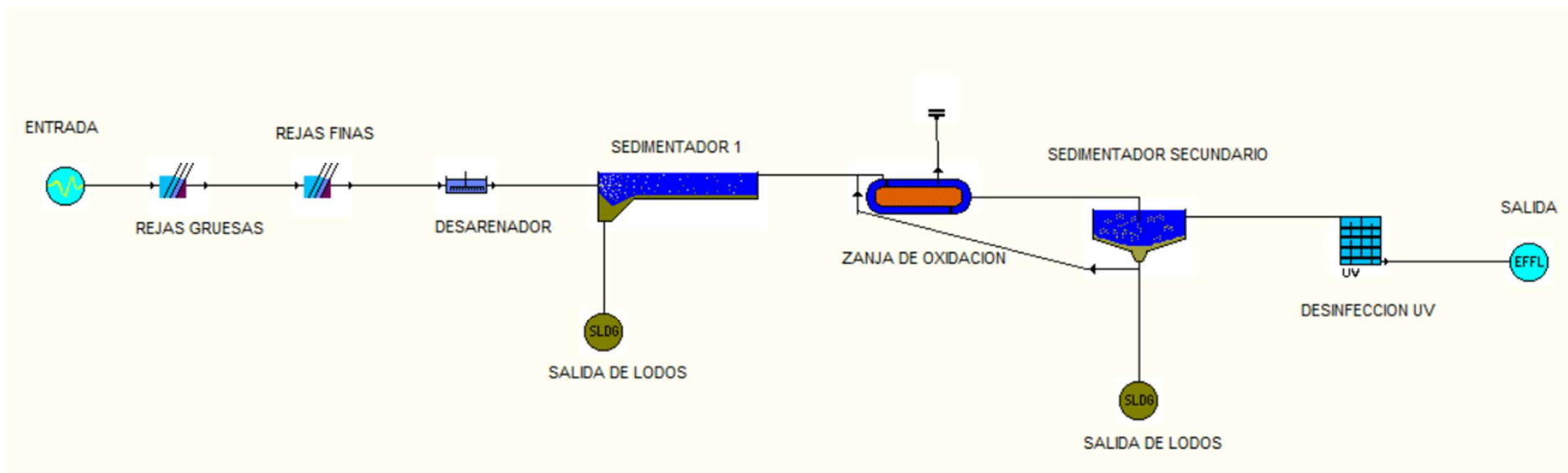


Ilustración 35: Esquema realizado en el software STOAT para la simulación de la Alternativa 1.

Elaborado por: Autora

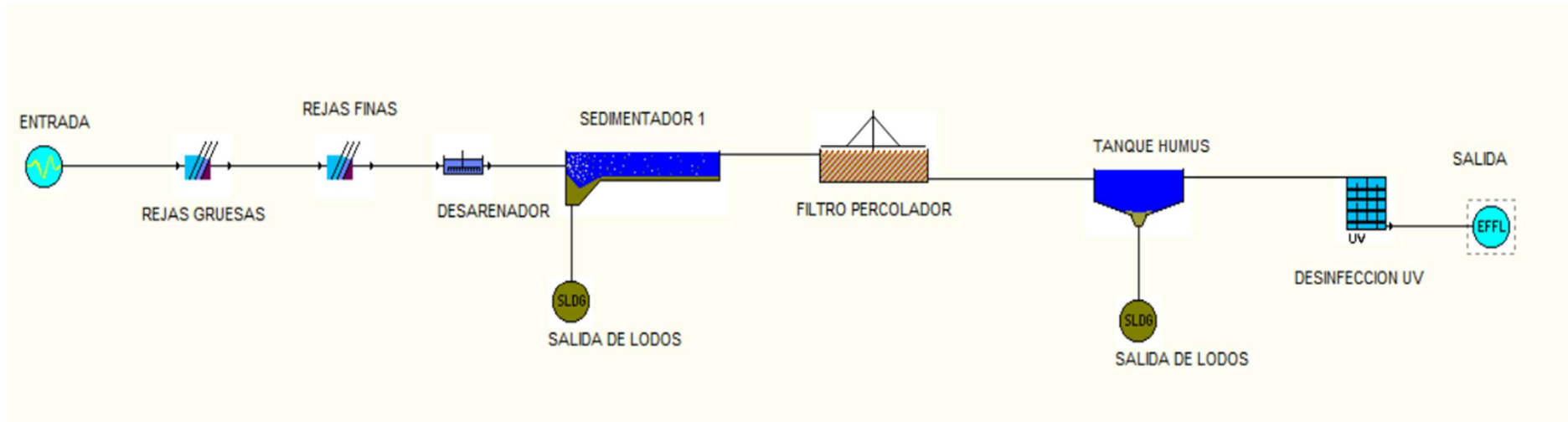
**Esquema realizado en el software STOAT para la simulación de la Alternativa 2: Lodos activados de aireación prolongada en tanques de oxidación**



*Ilustración 36: Esquema realizado en el software STOAT para la simulación de la alternativa 2.*

*Elaborado por: Autora*

**Esquema realizado en el software STOAT para la simulación de la Alternativa 3: Tratamiento con filtros percoladores**



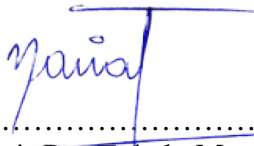
*Ilustración 37: Esquema realizado en el software STOAT para la simulación de la alternativa 3.*

*Elaborado por: Autora*

## DECLARATORIA DE AUTORIA Y RESPONSABILIDAD

María Paz Toledo Martínez portadora de la cédula de ciudadanía N° 0150300895. Declaro ser el autor de la obra: “Simulación del proceso de depuración de la planta de tratamiento de aguas residuales de Guangarcucho”, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 26 de Julio de 2023

F: .....  
  
María Paz Toledo Martínez  
0150300895