



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

MODELACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL REACTOR BIOLÓGICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE AMBATO

NILDA CONSUELO RAMOS GAVILANES

Trabajo de Titulación modalidad: Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de:

MAGÍSTER EN INGENIERÍA QUÍMICA APLICADA

Riobamba – Ecuador

Enero 2022

2022, Nilda Consuelo Ramos Gavilanes

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el
Derechos de Autor



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, titulado MODELACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL REACTOR BIOLÓGICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE AMBATO, de responsabilidad de la señora Consuelo Ramos ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Ing. Juan Carlos González García.Ph. D.

PRESIDENTE



Firmado electrónicamente por:
**JUAN CARLOS
GONZALEZ
GARCIA**

Ing. Daniel Antonio Chuquín Vasco. Mag.

DIRECTOR



Firmado electrónicamente por:
**DANIEL ANTONIO
CHUQUIN VASCO**

Ing. Mayra Paola Zambrano Vinueza. Mag.

MIEMBRO



Firmado electrónicamente por:
**MAYRA PAOLA
ZAMBRANO
VINUEZA**

Ing. Nelson Santiago Chuquín Vasco. Mag

MIEMBRO



**HACEMOS
HISTORIA**

Carrera Mecánica
Ing. Nelson
Chuquin
0987 133285
2022.01.18
16:47:32-05'00'

Riobamba, enero 2022

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, Nilda Consuelo Ramos Gavilanes, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Nilda Consuelo Ramos Gavilanes

N° Cédula: 180459773-8

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Nilda Consuelo Ramos Gavilanes, declaro que el presente **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este proyecto de investigación de maestría.

Nilda Consuelo Ramos Gavilanes

N° Cédula: 180459773-8

DEDICATORIA

El presente trabajo, lo dedico a Dios por bendecirme y permitirme cumplir mis sueños, a mi hijo y mi esposo por ser mi inspiración, mi apoyo incondicional y fortaleza para alcanzar mis objetivos.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios por guiarme en cada escalón de mi vida, a mi hijo y esposo por ser mi fortaleza y apoyo incondicional, a mis padres por el esfuerzo y cariño brindado para lograr mis metas, a mi tutor el Ing. Daniel Chuquín y a mis colaboradores el Ing. Nelson Chuquín y la Ing. Mayra Zambrano por sus enseñanzas y aporte invaluable a este proyecto

A todos ellos mi eterno y sincero agradecimiento.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	XVI
SUMMARY	XVII
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema de Investigación	1
1.1.1. Situación Problemática.....	1
1.1.2. Formulación del problema	1
1.1.3. Problemas Específicos.....	2
1.2. Justificación del proyecto	2
1.3. Objetivos de la investigación.....	2
1.3.1. Objetivo General.....	2
1.3.2. Objetivos Específicos	2
1.4. Hipótesis	3
1.4.1. Hipótesis General	3
1.4.2. Hipótesis Específicas.....	3
CAPÍTULO II.....	4
2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	4
2.2. Marco Conceptual.....	5
2.2.1. Estaciones depuradoras	5
2.2.2. Alternativas de diseño	6

2.3. Bases Teóricas	6
2.3.1. Tratamiento de aguas mediante uso de fangos activos	6
2.3.2. Caracterización de fangos	6
2.3.3. Remoción de nitrógeno en estaciones depuradoras	7
2.3.4. Procesos de nitrificación y desnitrificación	7
2.3.5. Remoción de nitrógeno	7
2.3.6. Optimización de remoción de nutrientes	8
2.3.7. Simulación en Plantas de Tratamiento.....	8
2.3.8. Control y operación de estaciones depuradoras: modelado y simulación	9
2.3.9. Cumplimiento de Normativa Legal Ambiental	9
2.4. Marco Conceptual	10
2.4.1. Agua residual domésticas.....	10
2.4.2. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5)	10
2.4.3. Demanda Química de Oxígeno	10
2.4.4. Desnitrificación.....	10
2.4.5. Fósforo Total.....	10
2.4.6. Nitrógeno Total	10
2.4.7. Nutrientes en agua residual	11
2.4.8. Oxígeno disuelto	11
2.4.9. Reactor biológico	11
2.4.10. Remoción de nutrientes en aguas residuales.....	11
2.4.11. Sólidos suspendidos totales.....	11
2.4.12. Tiempo de retención hidráulico (TRH).....	11
CAPÍTULO III.....	12
3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	12
3.1. Metodología	12
3.1.1. Tipo y Diseño de la Investigación	12
3.1.2. Método de investigación	12

3.1.3. Enfoque de la investigación	12
3.1.4. Identificación de las variables.....	13
3.1.5. Operacionalización de variables.....	14
3.1.6. Matriz de consistencia	15
3.2. Diseño de la investigación.....	17
3.3. Población de estudio.....	17
3.4. Unidad de análisis.....	18
3.5. Selección de la muestra	18
3.6. Tamaño de la muestra.....	18
3.7. Técnica de recolección de datos.....	18
3.8. Tratamiento y diseño experimental.....	18
3.8.1. Elaboración de las propuestas	18
3.8.2. Análisis de las propuestas.....	19
CAPÍTULO IV.....	20
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
4.1. Análisis de los resultados.....	20
4.1.1. Evaluación de la situación actual de la Planta	20
4.1.2. Pruebas variando el oxígeno disuelto.....	21
4.1.3. Simulaciones variando caudal.....	32
4.1.4. Pruebas variando el IVL	36
4.1.5. Comprobación de Hipótesis.....	48
4.1.6. Discusión de resultados	49
CONCLUSIONES.....	50

RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS.....	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-4. Oxígeno disuelto 0 (mg/L).....	21
Figura 2-4. Remoción de materia orgánica en el reactor biológico a oxígeno 0 mg/L	22
Figura 3-4. Oxígeno disuelto 1 (mg/ L).....	23
Figura 4-4. Remoción de materia orgánica en el reactor biológico a oxígeno 1 mg/L	24
Figura 5-4. Oxígeno disuelto 1,5 (mg/ L)	25
Figura 6-4. Remoción de materia orgánica en el reactor biológico a oxígeno 1,5 mg/L	26
Figura 7-4. Oxígeno disuelto 2,0 (mg/ L).....	27
Figura 8-4. Remoción de materia orgánica en el reactor biológico a oxígeno 2,0 mg/L	28
Figura 9-4. Oxígeno disuelto 3,0 (mg/ L).....	29
Figura 10-4. Remoción de materia orgánica en el reactor biológico a oxígeno 3,0 mg/L ..	30
Figura 11-4. Remoción de materia orgánica en el reactor biológico a Caudal mínimo 22651 (m ³ / d).....	32
Figura 12-4. Remoción de materia orgánica en el reactor biológico a Caudal medio 45435 (m ³ / d).....	33
Figura 13-4. Remoción de materia orgánica en el reactor biológico a Caudal máximo 64664 (m ³ /d).....	34
Figura 14-4. Remoción de materia orgánica IVL 30 (ml/g).....	36
Figura 15-4. Remoción de materia orgánica IVL 40 (ml/g).....	37
Figura 16-4. Remoción de materia orgánica IVL 50 (ml/g).....	38
Figura 17-4. Remoción de materia orgánica IVL 60 (ml/g).....	39
Figura 18-4. Remoción de materia orgánica IVL 80 (ml/g).....	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-3: Operacionalización de variables	14
Tabla 2-3: Matriz de consistencia.....	15
Tabla 3-3: Diseño de las propuestas	19
Tabla 1-4: Pruebas variando el oxígeno disuelto.....	21
Tabla 2-4: Resultados Simulaciones Variando Cantidad de Oxígeno.....	31
Tabla 3-4: Resultados variando el Caudal de Entrada-Tiempo de Retención hidráulico.....	35
Tabla 4-4: Relaciones entre el IVL y las características de sedimentación de los lodos activos	36
Tabla 5-4: Resultados variando la cantidad de biomasa.....	41
Tabla 6-4: Resumen de Resultados simulados en el West Lab Kit	42
Tabla 7-4: Resultados de Aplicación en Planta a Caudal máximo	43
Tabla 8-4: Resultados de Aplicación en Planta a Caudal medio	44
Tabla 9-4: Resultados de Aplicación en Planta a Caudal mínimo.....	45
Tabla 10-4: Cálculo del Error de Aproximación	47

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3. Esquema del diseño de la investigación	17
Gráfico 1-4: Levantamiento de la línea base de Operación.....	20
Gráfico 2-4. Resultados de las simulaciones	43
Gráfico 3-4. Resultados aplicados en Planta a caudal máximo	44
Gráfico 4-4. Resultados aplicados en Planta a caudal medio	45
Gráfico 5-4. Resultados aplicados en Planta a caudal mínimo	46

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A Esquema del Tratamiento de la Planta de Tratamiento de la PTAR Ambato

Anexo B Normativa Ambiental para vertido a un cuerpo de Agua Dulce

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de investigación, fue incrementar la remoción de materia orgánica del reactor biológico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Ambato, se realizó el levantamiento de la línea base de la operación actual en la cual se determinó que la remoción de materia orgánica fue del cuarenta y ocho por ciento, primeramente se realizó la gestión de la licencia estudiantil del software West Lab kit específico para modelado de aguas residuales, como segundo punto se determinó que la cantidad de oxígeno disuelto, el tiempo de retención hidráulico y la cantidad de biomas son las variables que afectan directamente en la operación del reactor biológico, para la simulaciones se tomó en cuenta tres escenarios el primero variando el caudal, el oxígeno y la cantidad de sólidos, para todos los escenarios se mantuvo constantes las demás variables, teniendo como resultados globales setenta y seis por ciento de remoción de materia orgánica, se realizó un análisis de las mejores alternativas para la optimización y esto fue aplicado en la situación real de la Planta donde se obtuvo ochenta y cinco por ciento de remoción de materia orgánica, superando lo obtenido en la simulación; como punto final se validó la propuesta comparando los resultados de vertido al río con la Tabla 9 del TULSMA ratificando el cumplimiento de la Normativa Legal Ambiental en todos los resultados obtenidos, se recomienda realizar la simulación para la línea de fangos de la Planta.

Palabras clave: <REACTOR BIOLÓGICO>, <TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO>, <OXÍGENO DISUELTO>, <OPTIMIZACIÓN>, <REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA>.

**LUIS
ALBERTO
CAMINO
S
VARGAS**

Firmado digitalmente
por LUIS ALBERTO
CAMINOS VARGAS
Nombre de
reconocimiento (DN):
c=EC, l=RIOBAMBA,
serialNumber=060276
6974, cn=LUIS
ALBERTO CAMINOS
VARGAS
Fecha: 2021.12.20
11:40:06 -05'00'



0132-DBRAI-UPT-IPEC-2021

SUMMARY

The objective of this research was to evaluate the removal of organic matter from the biological reactor of the Wastewater Treatment Plant of the city of Ambato in Ecuador. When the base line of the current operation was raised the removal of organic matter was forty-eight percent. An evaluation of the West Lab software specific kit for wastewater modeling was performed. It was determined that the amount of dissolved oxygen, the retention time of the hydraulic, and the amount of biomes were the variables that directly affected the operation of the biological reactor. For the simulations, three scenarios were evaluated by varying the flow, oxygen, and the amount of solids. For all other variables, the results found a seventy-six percent removal of organic matter. An analysis of the best alternatives for optimization obtained an eighty-five percent rate of removal of organic matter which exceeded what was obtained in the simulation. Finally, the results of the discharge into the river with Table 9 of the TULSMA confirmed compliance with the Environmental Legal Regulations which resulted in a recommendation to perform the simulation for the sludge line of the plant facility.

KEYWORDS: <BIOLOGICAL REACTOR>, <HYDRAULIC RETENTION TIME>, <DISSOLVED OXYGEN>, <OPTIMIZATION>, <REMOVAL OF ORGANIC MATTER>.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de Investigación

En el presente trabajo de investigación se plantea el modelado y optimización de las condiciones operativas del reactor biológico de la planta de tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Ambato, en base a la situación actual el objetivo es incrementar la remoción de materia orgánica en el reactor biológico mejorando la calidad del efluente vertido al río y minimizando el contenido de nutrientes que provocan efectos de eutrofización y desórdenes en los ecosistemas.

1.1.1. *Situación Problemática*

La depuración de aguas residuales urbanas es un ámbito muy estudiado en la actualidad, debido a la creciente contaminación de los cuerpos de agua dulce, esto en miras a mantener el equilibrio trófico de la naturaleza, por tanto, surge la necesidad de plantear mejoras continuas. En Ecuador existen 421 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (Ambientales, 2015). La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Ambato es una depuradora con capacidad media de 760 l/s, permitiendo abarcar el 80% de aguas generadas por la ciudad, posee un reactor biológico de capacidad de 10261,9 m³(zona anóxica y zona áereobia) (Base de datos PTAR Ambato, 2020), cuyo objetivo principal es la remoción de materia orgánica ; dentro de ello lo que se busca es mejorar esta remoción, permitiendo reducir la carga orgánica en el vertido final hacia el cuerpo de agua dulce

1.1.2. *Formulación del problema*

¿La simulación y optimización del reactor biológico de la Planta de Tratamiento de Aguas residuales de la ciudad de Ambato, permitirá incrementar la remoción de materia orgánica?

1.1.3. Problemas Específicos

¿Cuáles son las condiciones de diseño significativas para el óptimo funcionamiento del reactor biológico de la PTAR Ambato?

¿Cuáles son los parámetros de diseño significativos para mejorar la remoción de materia orgánica en el reactor biológico?

1.2. Justificación del proyecto

El presente trabajo tiene como objetivo principal mejorar la remoción de materia orgánica del reactor biológico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Ambato, esta necesidad se justifica en la importancia de optimizar el sistema que actualmente elimina el 50% de materia orgánica representada como DQO, NT, NH₄, PT, DBO₅, la presente investigación busca establecer la alternativa más adecuada para la optimización de la planta de tratamiento de agua residual con el fin de cumplir con los objetivos de calidad de agua y los requisitos de vertido establecidos en la normativa vigente, mediante el uso del programador West(Student Labkit), con el cual se analizarán las variables y características de las aguas residuales urbanas, y se establecerán las condiciones óptimas de operación del reactor biológico. Esto comprende las principales variables de operación (Tiempo de retención hidráulico, concentración de oxígeno disuelto, entre otros).

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo General

- Modelar y optimizar el reactor biológico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Ambato

1.3.2. Objetivos Específicos

- Realizar un estudio de la operación actual del reactor biológico de la planta de tratamiento de agua de la ciudad de Ambato.
- Determinar el tiempo de retención hidráulico adecuado en el reactor biológico para

la remoción de materia orgánica representada como nitrógeno amoniacal.

- Establecer la cantidad de oxígeno disuelto necesaria para remover la materia orgánica representada como nitrógeno total en el reactor biológico
- Determinar la concentración de sólidos suspendidos totales necesaria para mejorar la remoción de materia orgánica representada como DQO y DBO5 en el reactor biológico
- Validar la optimización del reactor biológico, en función de la Tabla 9 del TULSMA. “Límite De Descarga A Cuerpo De Agua Dulce”

1.4. Hipótesis

1.4.1. *Hipótesis General*

- Al modelar y optimizar el reactor biológico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Ambato se tendrá una remoción de materia orgánica superior al cincuenta por ciento, en base a la situación actual.

1.4.2. *Hipótesis Específicas*

- Al realizar el estudio de operación actual de la planta de tratamiento de agua de la ciudad de Ambato, permitirá encontrar los puntos de mejora en el reactor biológico.
- Al determinar el tiempo de retención hidráulico adecuado en el reactor biológico mejorará la remoción de materia orgánica representada como nitrógeno amoniacal.
- Al establecer la cantidad de oxígeno disuelto necesaria mejorará la remoción de materia orgánica representada como nitrógeno total.
- Mejorará la remoción de materia orgánica como DQO, DBO5 si se encuentra el valor correcto de Sólidos suspendidos totales.
- Al realizar la optimización del reactor biológico, se validará la propuesta, verificando el cumplimiento de la Normativa Legal Ambiental vigente

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

En la actualidad el tratamiento de las aguas urbanas requiere tecnología sofisticada debido a que contienen nutrientes como nitrógeno y fósforo, los cuales provocan desequilibrios en los ecosistemas así como la eutrofización, además como una mejora en la calidad de los cuerpos de agua dulce y la nutrición infantil libre de contaminantes como los coliformes fecales.

Por tanto para garantizar una buena depuración del agua se debe considerar en el caso del reactor Biológico, el tiempo que el agua permanece en el reactor (tiempo de retención hidráulico), cantidad de oxígeno disuelto, cantidad de sólidos suspendidos totales (biomasa), estos identificados como parámetros importantes para la remoción de materia orgánica.

Por lo antes descrito y para garantizar una remoción de nutrientes aceptable y sostenible se precisa definir las condiciones de operación óptimas del reactor biológico.

La depuración de aguas urbanas e industriales cada vez es más demandado a nivel legal como medidas correctivas para el medio ambiente y a nivel del país se está iniciando la construcción de nuevas Plantas de Tratamiento y desarrollo de nuevas ordenanzas que puedan controlar los vertidos industriales.

El objetivo de este proyecto de investigación es encontrar las condiciones óptimas de trabajo del reactor biológico con el fin de incrementar la remoción de materia orgánica y garantizar el vertido final más limpio contribuyendo a la sanidad del río y los moradores de la ciudad.

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Estaciones depuradoras

Las aguas residuales enviadas a los cauces naturales contienen en su composición colorantes artificiales, sales y materia orgánica. Las aguas residuales se caracterizan, midiendo ciertos parámetros como pH, sólidos disueltos totales (TDS), demanda biológica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO) (Saravanan, N., 2020)

Los sistemas de tratamiento de agua residual urbana constan de varios procesos físicos, químicos y biológicos que se llevan a cabo con el fin de minimizar el impacto ambiental y dar cumplimiento a los requisitos de vertido establecidos en la normativa ambiental vigente. Las depuradoras constan generalmente de dos líneas que corresponden al agua y a los fangos generados. Las etapas que conforman la línea de agua son: el pretratamiento (retención de sólidos) el tratamiento primario (decantación primaria), el tratamiento secundario (decantación secundaria) y tratamiento terciario (desinfección con cloro, ozono ó ultravioleta o filtración por membrana). Para el tratamiento de los fangos se dispone generalmente de espesado por flotación, digestión anaerobia (la estabilización del fango) y su posterior deshidratación donde la tercera parte del agua ha sido separada del fango, facilitando el transporte de los mismos. Los sobrenadantes generados en el espesado y deshidratación del fango se recirculan al inicio del proceso de la planta, aunque existe la línea de sobrenadante la cual permite tratar específicamente para la eliminación o recuperación de nutrientes. Los tratamientos de fangos activados convencional disponen de: la oxidación biológica en el reactor biológico y la separación líquido sólido que se realiza en el decantador secundario. Una fracción del fango decantado se extrae del sistema (purga de fangos en exceso) que luego pasará a la línea de fangos para su estabilización, o directamente a espesado y/o deshidratación; la otra parte se recircula al reactor para mantener la población bacteriana en el sistema. El proceso convencional de fangos activados funciona bajo tiempos de retención celular (TRC) medios debido a esto los fangos necesitan de una digestión posterior. Por otra parte el proceso de oxidación total, el cual es una variante de los fangos activados, funciona con valores de TRC elevados, debido a esto los microorganismos presentes compiten por el alimento existente utilizando incluso su propia masa celular. Esta situación da lugar a un efluente altamente tratado con una producción de fangos baja. A causa del elevado TRC el fango se estabiliza en el reactor biológico, por tanto las etapas siguientes serían espesamiento y deshidratación. (Melo, 2016)

2.2.2. Alternativas de diseño

Las tecnologías generalmente se identifican de acuerdo al tamaño de la Planta de tratamiento de aguas residuales (EDAR) y a la caracterización física, química y microbiológica del agua a tratar. Dentro de la IWA (International Water Asociación) Grupos de profesionales se han especializado en el diseño, operación y costos de las Plantas de Tratamiento clasificadas de acuerdo a su magnitud en grandes, medianas y pequeñas (Gherghel, 2020)

2.3. Bases Teóricas

2.3.1. Tratamiento de aguas mediante uso de fangos activos

En las estaciones depuradoras convencionales es típico el tratamiento mediante lodos activados, en promedio, se producen entre 5 y 8 toneladas de lodo en el tratamiento de 10.000 toneladas de aguas residuales, los cuales se deben disponer de acuerdo a su caracterización química y biológica. (Quxiu, 2020)

Para el tratamiento con lodos activados se requiere oxigenación mediante soplantes de gran tamaño con un consumo energético alto que representa generalmente el 50 y 60 % del uso de toda la estación depuradora. (Rhys, 2020)

2.3.2. Caracterización de fangos

Los fangos pueden contener de acuerdo a su procedencia, gran cantidad de nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, minerales constituyéndose un abono de alta calidad, Debido a sus altas concentraciones de contaminantes y microorganismos patógenos, es necesario realizar ensayos periódicos llamaos CRETIBB, los cuales caracterizan de forma completa la composición de los fangos. Actualmente, los procesos de tratamiento utilizados los fangos incluyen el proceso de compostaje húmedo, biorreactores de membrana, reactor anaeróbico seguido de deshidratación, y humedales, remediación de suelos áridos. (Zhan, 2020)

2.3.3. Remoción de nitrógeno en estaciones depuradoras

El proceso de eliminación de nitrógeno biológico convencional, incluye nitrificación autotrófica y desnitrificación heterotrófica bajo condiciones aeróbicas y anóxicas / anaeróbicas respectivamente, el procedimiento operativo consta de un selector o cámara anóxica seguida de una aerobia, además, este proceso de eliminación de nitrógeno es difícil de aplicar en aguas residuales que contienen alta cantidad de carbono orgánico, ya que los microorganismos presentan dificultad para adaptarse. (Yang, 2020)

2.3.4. Procesos de nitrificación y desnitrificación

Los procesos de nitrificación y desnitrificación permiten la eliminación microbiana de amonio. Durante la etapa de nitrificación, el amonio se oxida a nitrógeno, en condiciones aeróbicas, mientras que durante la desnitrificación, el nitrato se reduce a nitrógeno molecular en condiciones anaeróbicas. El óxido nitroso, es el tercer mayor contribuyente al calentamiento climático provocado por el hombre después del dióxido de carbono y el metano, considerado como el agente de alto impacto como destructor de la capa de ozono. (Thakur, 2019)

El óxido nitroso es un producto intermedio o subproducto de la conversión de nitrógeno y de tratamientos biológicos que conducen a la generación de N_2O el cual tiene efectos negativos en la capa de ozono. (Chen, 2019)

Las estrategias convencionales para prevenir la nitrificación consiste en inhibir el crecimiento de bacterias oxidantes de nitritos (como alta concentración de amoníaco libre y temperatura adecuada) cuando no se puede inhibir este efecto, la Planta tiene mayor dificultad para soportar la carga contaminante de ingreso. (Yuan, 2020)

2.3.5. Remoción de nitrógeno

En la actualidad la contaminación por nitrógeno es considerado como un problema a nivel del mundo por sus efectos negativos en la ecología, salud de los seres vivos, y la

preservación de la capa de ozono, las EDAR que disponen de nitrificación y desnitrificación convencional pueden remover más del 50% de nitrógeno, que ingresa a la Planta, permitiendo reducir los efectos de la eutrofización en los sistemas acuáticos, por el bajo costo y eficiencia de remoción, esta técnica es altamente utilizada. (Yang, 2020)

2.3.6. *Optimización de remoción de nutrientes*

Las plantas de tratamiento de aguas residuales convencionales constan de procesos biológicos utilizados para la eliminación de nutrientes que normalmente presentan los tratamientos (anaeróbicas, anóxicas y aeróbicas), teniendo como limitante el gran volumen del reactor necesario para remover la materia orgánica, limitándolas por costos y espacio, la eficiencia del tratamiento depende en gran manera del tiempo de retención hidráulica (HRT), es uno de los parámetros críticos de diseño influyendo en los costos y condiciones de diseño, así como en la eficiencia de remoción de nutrientes del agua residual y considerando los caudales de recirculación de fangos activados involucrando también la concentración de sólidos suspendidos en el licor mezcla. (Almomani, 2020) Dentro de los tratamientos secundarios encontramos, decantadores cónicos, DAFS, para acondicionamiento de fangos mediante procesos de coagulación -floculación, que permite separar los sólidos del agua, donde los sólidos pasan a la siguiente etapa de tratamiento generalmente digestión anaerobia y el agua (clarificado) se regresa al inicio del tratamiento de agua. (Duarte, y otros, 2015)

2.3.7. *Simulación en Plantas de Tratamiento*

Los procesos industriales demandan de un control automatizado, organizado y preciso que cuente con alarmas para fallos, y que permita configurar los parámetros de acuerdo a las necesidades del proceso con la facilidad de realizarlo desde un ordenador, la configuración es el conjunto de procesos controlados por actuadores y reguladores automáticos ordenados por señales por cable ó por red inalámbrica, permitiendo plasmar el control y operación del proceso en una arquitectura organizada. (Gautama, 2020)

La automatización de procesos es muy importante para controlar los procesos de manera eficiente, en la actualidad los controles pueden realizarse desde dispositivos móviles

como los celulares y ordenadores, facilitando la respuesta ante fallos en el proceso.(Fonseca, 2017)

Los controles automáticos permiten la visualización de todos los componentes eléctricos del proceso, con beneficios como detectar fallas de manera inmediata y reaccionar ante situaciones de emergencia. (Sahu, 2017)

2.3.8. *Control y operación de estaciones depuradoras: modelado y simulación*

Los tratamientos biológicos conllevan una elevada complejidad tanto desde el punto de vista de modelado como, por supuesto, de control y operación. Para poder ubicar convenientemente el problema, se presenta una caracterización de las aguas residuales urbanas y las necesidades de depuración asociadas. El control y operación se presentan en modelados de lenguaje de programación bien estructurados y de alta complejidad. Se presentan los modelos de la familia ASM; poniendo especial énfasis en el ASM1 que se describe en más detalle; así como las características de otras unidades de proceso como el decantador y su interconexión. En estos modelos destacan los entornos BSM de benchmarking, que han sido esenciales para todo el posterior desarrollo en la actividad de control y operación. (Vilanova, 2017)

La inteligencia artificial (IA) es una herramienta poderosa que se aplica comúnmente en ingeniería multidisciplinar debido a su funcionalidad para resolver problemas del mundo, por medio del uso de algoritmos y leyes físicas. (Aani, 2019)

2.3.9. *Cumplimiento de Normativa Legal Ambiental*

El proceso de lodos activados, aunque está destinado principalmente a la eliminación de contaminantes orgánicos, elimina tanto el fósforo como el nitrógeno, El fósforo es el nutriente más difícil de remover, requieren un tratamiento exclusivo, y los compuestos nitrogenados ejercen una demanda de oxígeno que influye en el costo de operación de las Plantas.

Las aguas residuales urbanas constituyen un aporte importante de nitrógeno y fósforo hacia el ambiente, incrementando la posibilidad de procesos de eutrofización, por lo que es

importante tengan un tratamiento previo el vertido hacia los cauces naturales, la Normativa Legal Ambiental Ecuatoriana establece que los vertidos deben dar cumplimiento a las diferentes especificaciones y límites permisibles de acuerdo con el origen del mismo, la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Ambato, tiene el vertido final hacia el río, siendo esto un vertido a un cuerpo de agua dulce, por lo cual en este proyecto se compara con la Tabla 9. “Límite De Descarga A Cuerpo De Agua Dulce”.

2.4. Marco Conceptual

2.4.1. Agua residual domésticas.- Las aguas de desecho cloacales, producto de la actividad humana, contienen materia orgánica e inorgánica presente como materia suspendida y disuelta (Rodríguez, 2017)

2.4.2. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5).- Es la cantidad de oxígeno disuelto consumida por un agua residual durante la oxidación por vía biológica, de la materia orgánica biodegradable (Hanna, 2016)

2.4.3. Demanda Química de Oxígeno.- Cantidad de oxígeno en mg/l consumido en la oxidación de las sustancias, por medios químicos. (Huerta, 2020)

2.4.4. Desnitrificación.- descomposición del nitrógeno nítrico en condiciones anaerobias, para metabolizar el oxígeno, se convierte en nitrógeno gas. (Fluence, 2019)

2.4.5. Fósforo Total.- Las fuentes más importantes de fósforo en el agua residual son: materia fecal humana, residuos de alimentos, detergentes sintéticos, artículos para limpieza del hogar descargas industriales y comerciales, su exceso en el agua provoca eutrofización. (Villegas, 2018)

2.4.6. Nitrógeno Total.- El nitrógeno puede encontrarse disuelto en el agua en diversos estados de oxidación, nitrógeno amoniacal, nitratos, nitritos, su exceso en el agua

provoca eutrofización. (Carrera, 2017)

- 2.4.7. **Nutrientes en agua residual.**- Las aguas residuales también contienen nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, que son elementos esenciales que las plantas necesitan para crecer (Li, 2019)
- 2.4.8. **Oxígeno disuelto.**- Concentración de oxígeno en un líquido, depende de la temperatura y presión de la atmósfera, importante condicionante para determinar el desarrollo de la vida acuática. (Ana, 2016)
- 2.4.9. **Reactor biológico.**- tanque que dispone un área aireada y una no aireada, que permite eliminar la materia orgánica(nitrógeno, fósforo) (Fluence, 2019)
- 2.4.10. **Remoción de nutrientes en aguas residuales.**- Cuando el fósforo y el nitrógeno no son eliminados de las aguas residuales, se acelera el proceso de eutrofización en los cuerpos de agua receptores, la eliminación de nutrientes provenientes de aguas residuales consiste en utilizar algún método físico, químico o biológico para eliminarlos. (Quitán, 2018)
- 2.4.11. **Sólidos suspendidos totales.**- composición heterogénea de partículas presentes en el agua residual, determinados mediante procedimiento gravimétrico por filtración y secado. (Industrial, 2016)
- 2.4.12. **Tiempo de retención hidráulico (TRH).**- el tiempo que el líquido que entra en tu recipiente tarda en salir del mismo. (Vega, 2020)

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Metodología

3.1.1. *Tipo y Diseño de la Investigación*

El presente trabajo de investigación es de tipo cuasi-experimental, en base a los análisis de laboratorio, referencias bibliográficas referente a tratamiento de aguas residuales, y los resultados de las programaciones en el programa Mike Waste (Student Labkit) se establecerá una evaluación de parámetros que permitan mejorar la remoción de materia orgánica en el reactor biológico, además es de tipo Longitudinal, pues se realizará el análisis repetitivo de las variables independientes (DQO, NT, NH₄, PT, DBO₅) así como la dependiente, en busca de la mejor alternativa de operación del reactor biológico.

3.1.2. *Método de investigación*

El método para utilizarse en la investigación es inductivo ya que se pretende observar el comportamiento de las variables independientes ante los cambios de consignas y de tipo sintético, porque integro las variables independientes (DQO, NT, NH₄, PT, DBO₅) para mejorar la remoción de materia orgánica

3.1.3. *Enfoque de la investigación*

El enfoque es de tipo cuantitativo, pues para la ejecución se necesitará los cálculos (Tiempo de retención hidráulico, cantidad de sólidos suspendidos totales), los resultados de laboratorio (análisis de DQO, NT, NH₄, PT, DBO₅), y los resultados de las simulaciones con los cuales se realizará su respectiva interpretación y análisis.

3.1.4. *Identificación de las variables*

Variable dependiente

- Tiempo de retención hidráulico
- Cantidad de oxígeno disuelto
- Cantidad de sólidos suspendidos totales

Variable independiente

- Porcentaje de remoción de materia orgánica

3.1.5. Operacionalización de variables

Tabla 1-3: Operacionalización de variables

Variable	Definición	Dimensión	Indicadores	Ítems	Instrumentos
Tiempo de retención hidráulico	Es el Tiempo que el agua residual permanece en el reactor biológico	Tiempo de retención hidráulico	Tiempo de retención hidráulica mínimo 1 hora	TRH (horas)	Simulador Mike Waste (Student Labkit)
Cantidad de Oxígeno disuelto	Cantidad de oxígeno que requiere la microfauna del reactor biológico para degradar la materia orgánica	Cantidad de oxígeno disuelto	Cantidad de oxígeno mínima 1 ppm	OD (mg/L)	Medidor de Oxígeno Disuelto en línea E&H
Cantidad de sólidos suspendidos totales	Cantidad de biomasa en reactor biológico	Cantidad de biomasa en el reactor	Cantidad mínima 2000 ppm	SST (mg/L)	Método gravimétrico
Porcentaje de remoción de materia orgánica	Eficiencia de remoción	Porcentaje de Remoción de materia orgánica (DQO, NT, NH ₄ , DBO ₅ , PT)	Remoción mayor al 50 %	Eficiencia (%)	Espectrofotométrico

Realizado por Ramos Gavilanes, Nilda, 2021

3.1.6. Matriz de consistencia

Tabla 2-3: Matriz de consistencia

Formulación del problema		Objetivo General			Hipótesis General	
¿Cuáles son los parámetros por considerar para mejorar la remoción de materia orgánica?		Modelar y Optimizar el reactor biológico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Ambato			Al modelar y optimizar el reactor biológico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Ambato se tendrá una remoción de materia orgánica superior al cincuenta por ciento, en base a la situación actual.	
Preguntas directrices	Objetivo Específico	Hipótesis Específica	Variables	Indicadores	Técnicas	Instrumentos
¿Cuáles son las condiciones de diseño significativas para el óptimo funcionamiento del reactor biológico de la PTAR Ambato?	Realizar un estudio de la operación actual del reactor biológico de la planta de tratamiento de agua de la ciudad de Ambato.”	a) Al realizar el estudio de operación actual de la planta de tratamiento de agua de la ciudad de Ambato, permitirá mejorar la remoción materia orgánica en el reactor biológico..	Porcentaje de remoción de materia orgánica	Remoción mayor al 50%	Espectrofotométrica	Espectrofotómetro UV VIS II MN
¿Cuáles son los parámetros de diseño significativos para mejorar la remoción de materia	b) Determinar el tiempo de retención hidráulico adecuado en el reactor biológico para la remoción de materia orgánica como nitrógeno amoniacal	b) Al determinar el tiempo de retención hidráulico adecuado en el reactor biológico mejorará la remoción de materia orgánica como nitrógeno amoniacal	Tiempo de retención hidráulico	Tiempo de retención hidráulica mínimo 1 hora	Simulación	Simulador Mike Waste (Student Labkit)
	c) Establecer la cantidad de	c) Al establecer la cantidad de	Cantidad de	Cantidad de	Amperométrica	Medid

orgánica en el reactor biológico?	oxígeno disuelto necesaria para remover la materia orgánica como nitrógeno total en el reactor biológico	oxígeno disuelto necesaria mejorará la remoción de materia orgánica como nitrógeno total en el reactor biológico	Oxígeno disuelto	oxígeno mínima 1 ppm		or en línea E&H
	d) Determinar la concentración de sólidos suspendidos totales necesaria para mejorar la remoción de materia orgánica como DQO y DBO5 en el reactor biológico	d) Mejorará la remoción de materia orgánica como DQO y DBO5 si se encuentra el valor correcto de Sólidos suspendidos totales.	Cantidad de Sólidos suspendidos Totales	2000-3000 ppm	Gravimétrico	Estufa/Balanza
	e) Validar la optimización del reactor biológico, en función de la Tabla 9 del TULSMA. "Límite De Descarga A Cuerpo De Agua Dulce	e) Al realizar la optimización del reactor biológico, se validará la propuesta	DQO, NT, NH4, PT, DBO5	TULSMA	-	-

Realizado por Ramos Gavilanes, Nilda, 2021

3.2. Diseño de la investigación

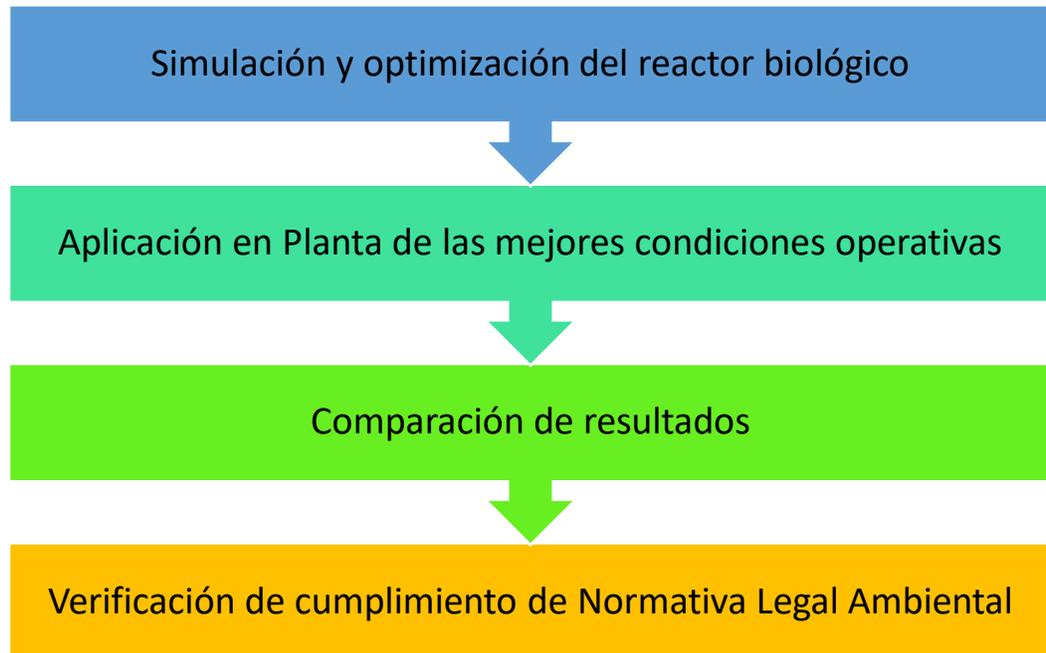


Gráfico 1-3. Esquema del diseño de la investigación
Realizado por Ramos, N. 2021

El presente trabajo de investigación es de tipo cuasi-experimental, en base a los análisis de laboratorio, referencias bibliográficas referente a tratamiento de aguas residuales, y los resultados de las programaciones en el programa Mike Waste (Student Labkit) se establecerá una evaluación de parámetros que permitan mejorar la remoción de materia orgánica en el reactor biológico, además es de tipo Longitudinal, pues se realizará el análisis repetitivo de las variables independientes (DQO, NT, NH₄, PT, DBO₅) así como la dependiente, en busca de la mejor alternativa de operación del reactor biológico. Los resultados fueron comparados con la Normativa Legal Ambiental Tabla 9. Límites de descarga a cuerpo de agua dulce.

3.3. Población de estudio

Se aplicarán los mejores resultados de la simulación en la Planta, teniendo en cuenta la simulación a caudal mínimo, caudal medio y caudal máximo; permitiendo comparar la efectividad de los resultados del software.

3.4. Unidad de análisis

Se analizarán los resultados de remoción de materia orgánica de entrada y salida de la Planta evaluando el porcentaje de remoción de materia orgánica.

3.5. Selección de la muestra

Considerando las simulaciones que arroje el software se tomará la mejor opción a caudal mínimo, caudal medio y caudal máximo, con lo cual se evaluará en la situación real de la Planta.

3.6. Tamaño de la muestra

La investigación se aplicará al 100% de la muestra

3.7. Técnica de recolección de datos

La presente investigación se emplearán técnicas de recolección de datos como: Análisis de contenido cuantitativo con el objetivo de identificar la opción más acertada para la operación del reactor biológico. La observación como método de recolección de datos como el registro de cambios en la apariencia del fango del reactor biológico. Revisión de base de datos de la Planta. Por otro lado, los valores obtenidos en las distintas pruebas, se registrarán en hojas de Excel para su posterior interpretación y análisis.

3.8. Tratamiento y diseño experimental

Para poder determinar si el software es eficaz, es necesario aplicarlo en Planta y comparar los resultados de la simulación con los resultados reales, así como verificar el cumplimiento de la Normativa Legal Ambiental.

3.8.1. *Elaboración de las propuestas*

Los principales factores que pueden influir en la remoción de materia orgánica del reactor biológico son; cantidad de oxígeno disuelto y el tiempo de retención hidráulico.

Tabla 3-3: Diseño de las propuestas

PROPUESTA		PARÁMETROS			
		m 3/d	CANTIDAD DE OXÍGENO	TRH(h)	IVF (ml/g)
PROPUESTA 1	CAUDAL MÍNIMO	22651	0,1.0,1.5,2.0 Y 3.0 mg/L	10,87	30,40,50,60,80
PROPUESTA 2	CAUDAL MEDIO	45435	0,1.0,1.5,2.0 Y 3.0 mg/L	5,42	30,40,50,60,80
PROPUESTA 3	CAUDAL MÁXIMO	64664	0,1.0,1.5,2.0 Y 3.0 mg/L	3,81	30,40,50,60,80

Realizado por Ramos Gavilanes, Nilda, 2021.

3.8.2. Análisis de las propuestas

Los simulaciones realizadas fueron a caudal mínimo, medio y máximo variando en cada caso el oxígeno y la cantidad de fango en el reactor biológico variando solo un parámetro en cada simulación manteniendo constantes los demás, teniendo como resultado las condiciones operativas adecuadas para la mejor remoción de materia orgánica, las cuales son comparadas con datos reales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Ambato, y comprobando que en todos los casos se cumple con lo establecido en la Normativa Legal Ambiental.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de los resultados

4.1.1. Evaluación de la situación actual de la Planta

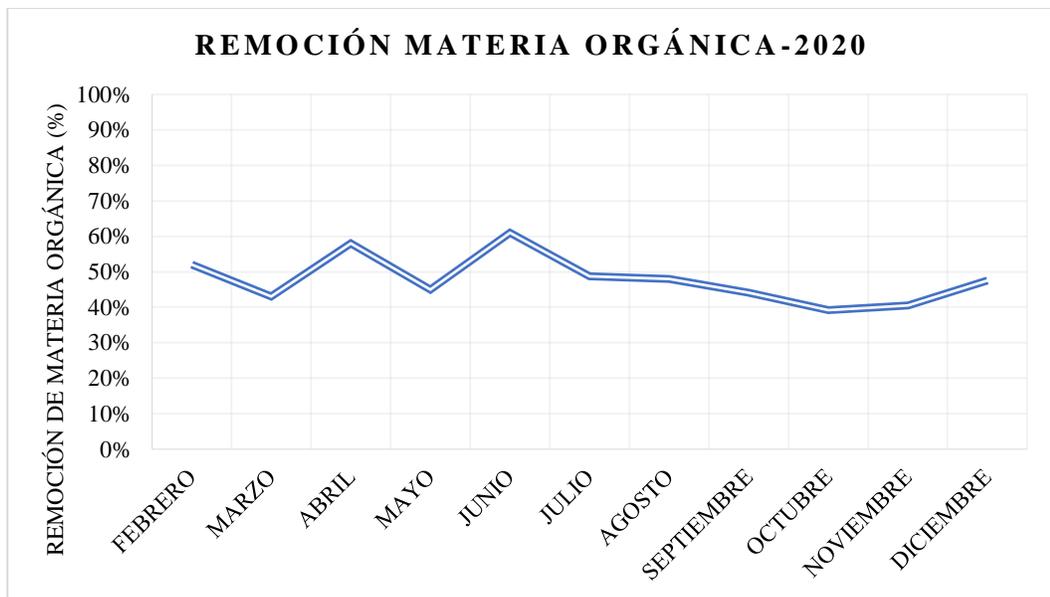


Gráfico 1-4: Levantamiento de la línea base de Operación
Realizado por Ramos, N.2021

La remoción de materia orgánica en el reactor biológico en el 2020 fue de 48%, para lo cual se estableció que las variables de control relevantes son el tiempo de retención hidráulico, la cantidad de oxígeno disuelto y la cantidad de sólidos suspendidos.

4.1.2. Pruebas variando el oxígeno disuelto

Tabla 1-4: Pruebas variando el oxígeno disuelto

CANTIDAD DE OXÍGENO DISUELTO (mg/ L)	CAUDAL (m3/día)	VOLUMEN (m3)	TRH (h)	IVF (mg/m L)
0	64664	10261,9	3,81	50
1,0	64664	10261,9	3,81	50
1,5	64664	10261,9	3,81	50
2,0	64664	10261,9	3,81	50
3,0	64664	10261,9	3,81	50

Realizado por Ramos Gavilanes, Nilda, 2021

En la Tabla 1-4. Se puede observar los ensayos realizados variando la cantidad de oxígeno disuelto desde 0 mg/L, hasta 3.0 mg/L; en estos ensayos se mantuvo el caudal (el tiempo de retención hidráulico) y la carga de sólidos constantes.

4.1.2.1. Oxígeno Disuelto 0 (mg/L)

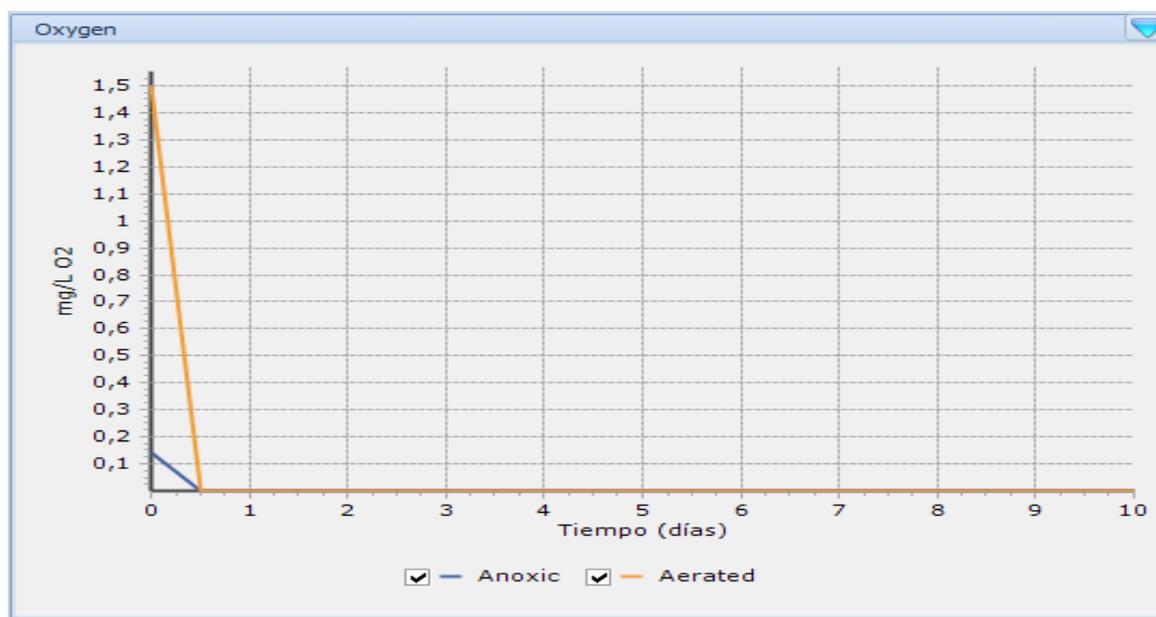


Figura 1-4. Oxígeno disuelto 0 (mg/L)

Realizado por Ramos, Nilda. 2021

Se puede evidenciar en la zona anóxica y aerobia que la cantidad de oxígeno es 0 (mg /L), dentro del reactor biológico.

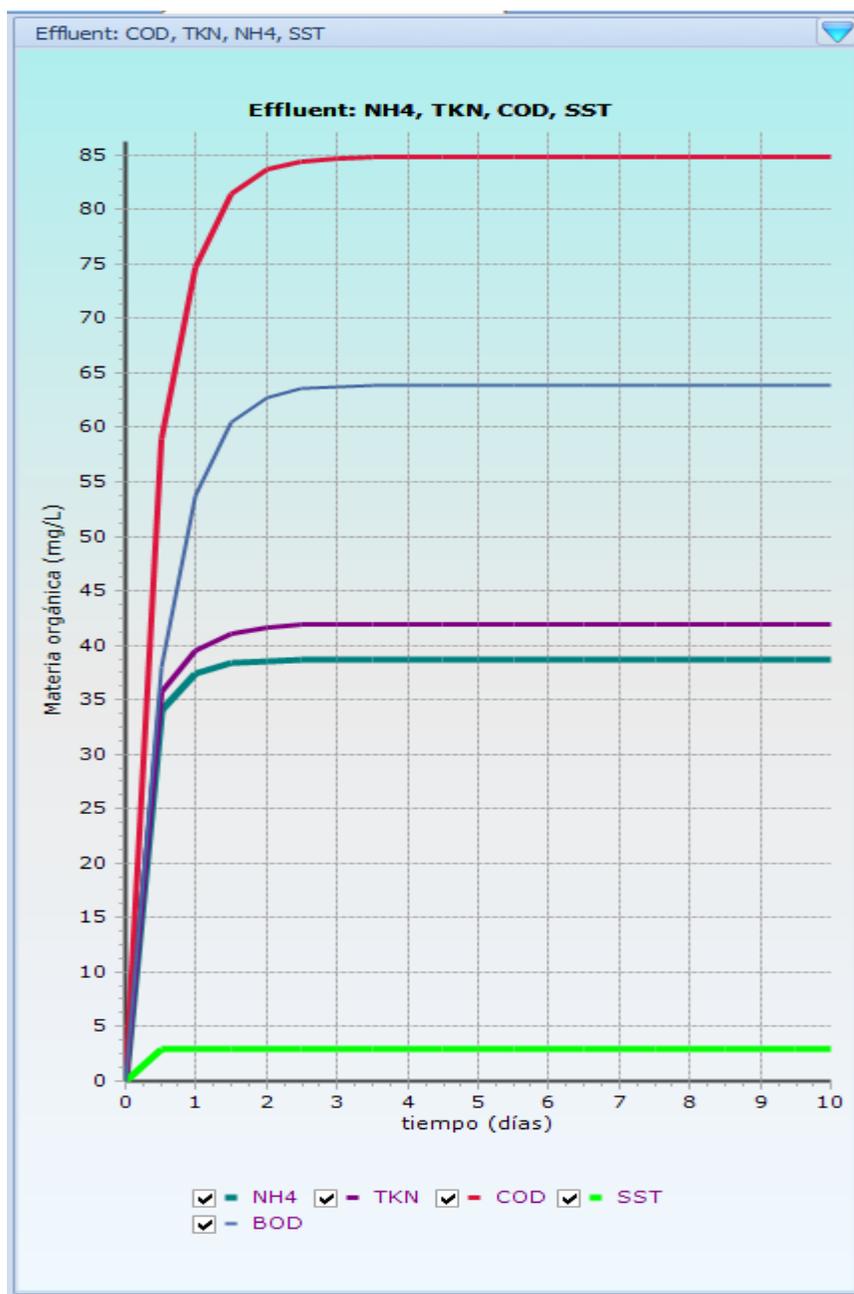


Figura 2-4. Remoción de materia orgánica en el reactor biológico a oxígeno 0 mg/L
 Realizado por Ramos, Nilda, 2021

Remoción de materia orgánica en el reactor biológico, los valores de nitrógeno amoniacal (NH4) tenemos 38,69 mg/L, sobrepasa el límite de la normativa ambiental, 30 mg/L. Los demás parámetros se encuentran por debajo del límite de la Normativa legal Ambiental.

4.1.2.2. Oxígeno Disuelto 1 (mg /L)

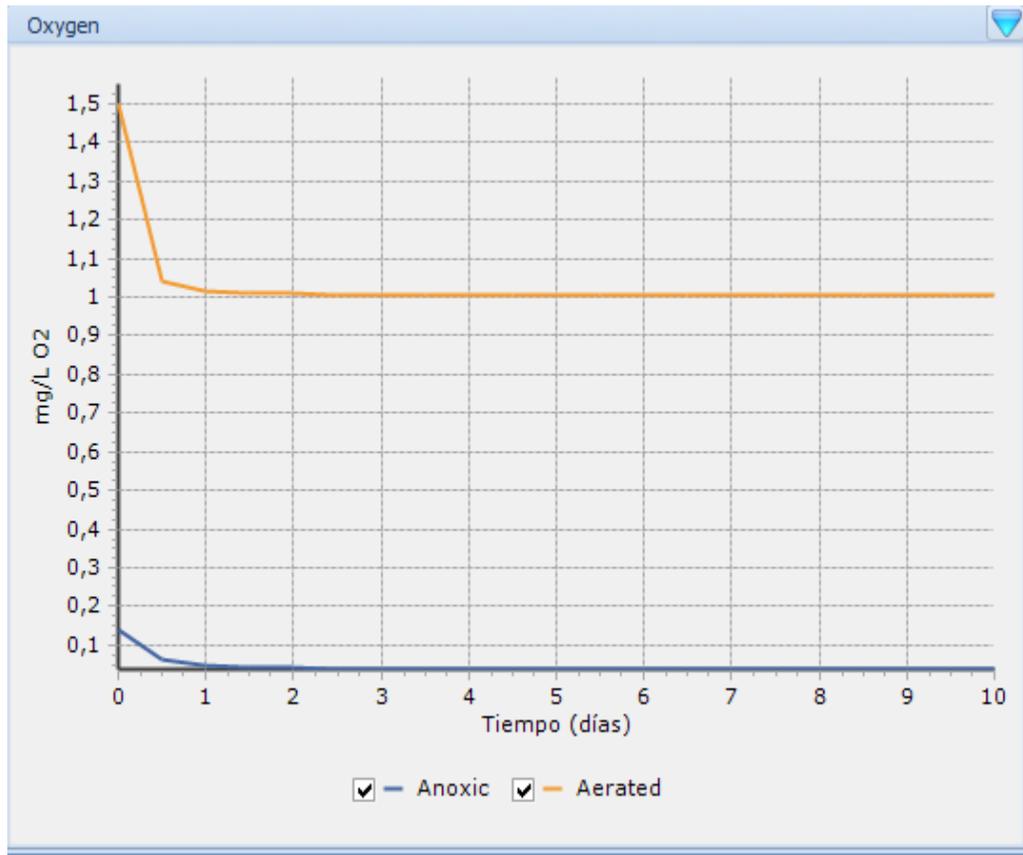


Figura 3-4. Oxígeno disuelto 1 (mg/L)
Realizado por Ramos Gavilanes, Nilda, 2021

En la zona anóxica el oxígeno se mantuvo en 0 mg/L y en la zona aerobia la cantidad de oxígeno fue de 1 mg/L.

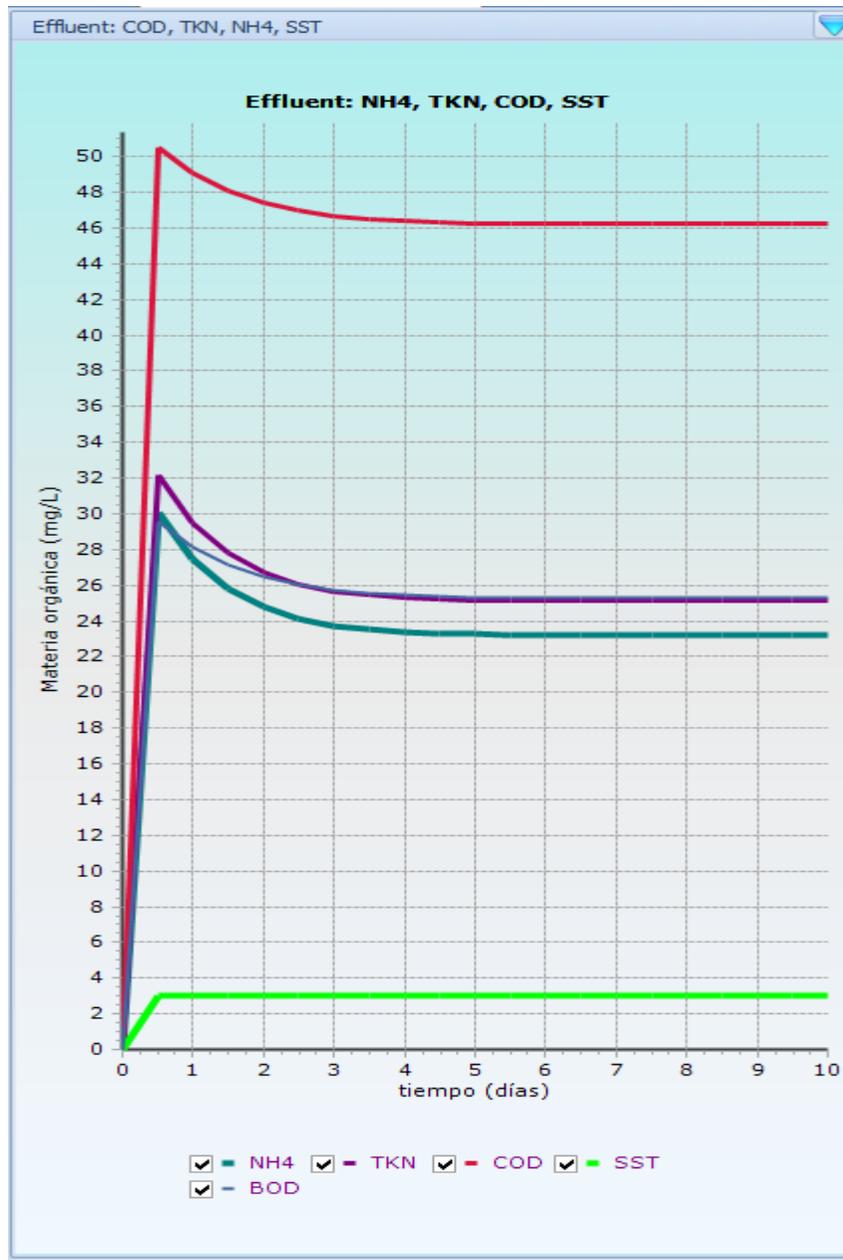


Figura 4-4. Remoción de materia orgánica en el reactor biológico a oxígeno 1 mg/L
Realizado por Ramos Gavilanes, Nilda, 2021

En la ilustración 4-4, se puede evidenciar la remoción de materia orgánica en el reactor biológico, teniendo nitrógeno amoniacal de 23,19 mg/L, por debajo del límite de la Normativa legal Ambiental, los demás parámetros también cumplen por debajo de los límites la Normativa Legal Ambiental.

4.1.2.3. Oxígeno Disuelto 1.5 (mg / L)

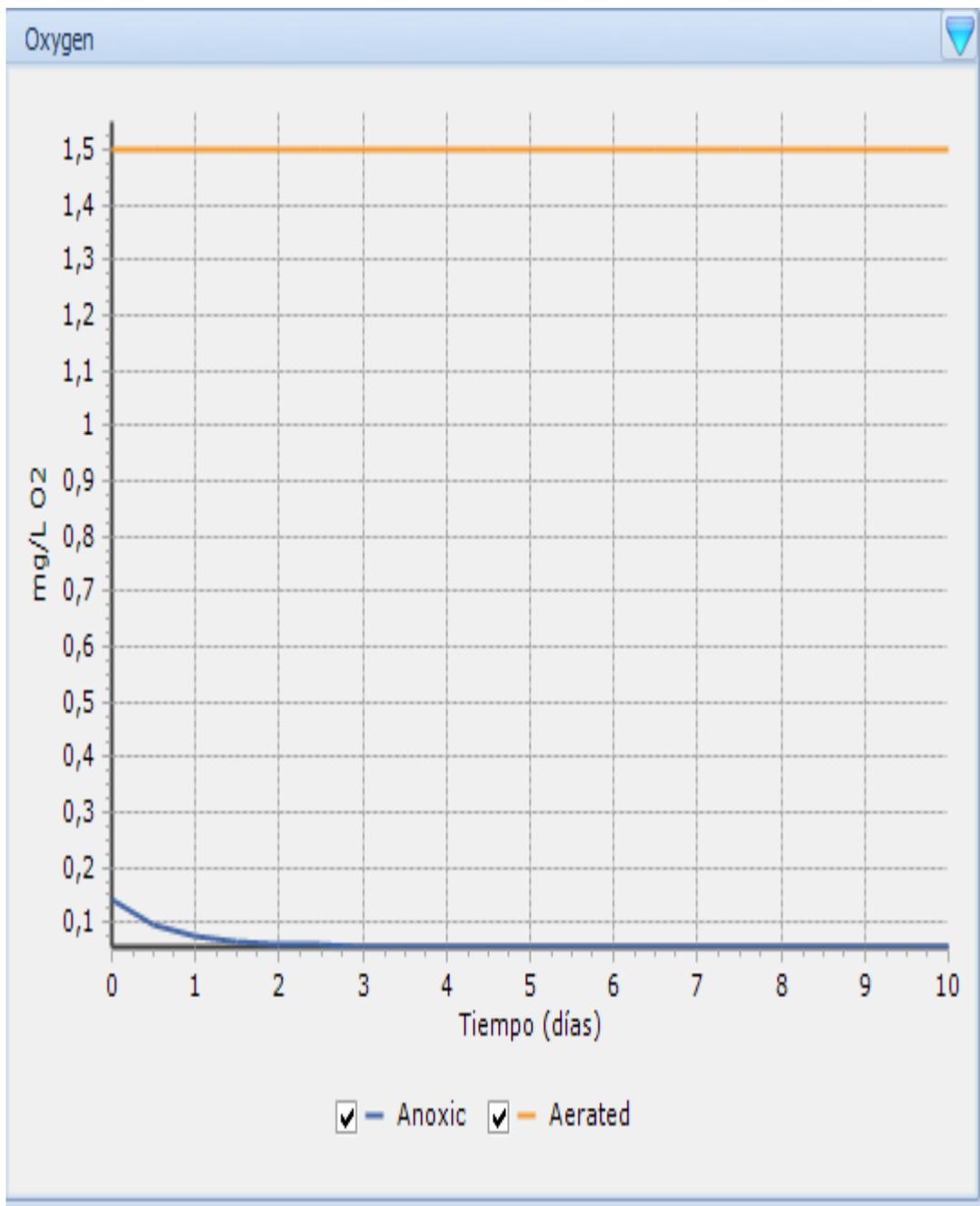


Figura 5.4. Oxígeno disuelto 1,5 (mg/ L)
Realizado por Ramos Gavilanes, Nilda, 2021

Los parámetros de operación para este ensayo fueron la zona anóxica permanece con oxígeno de 0 mg/ L, y en la zona aerobia en 1.5 mg/L.

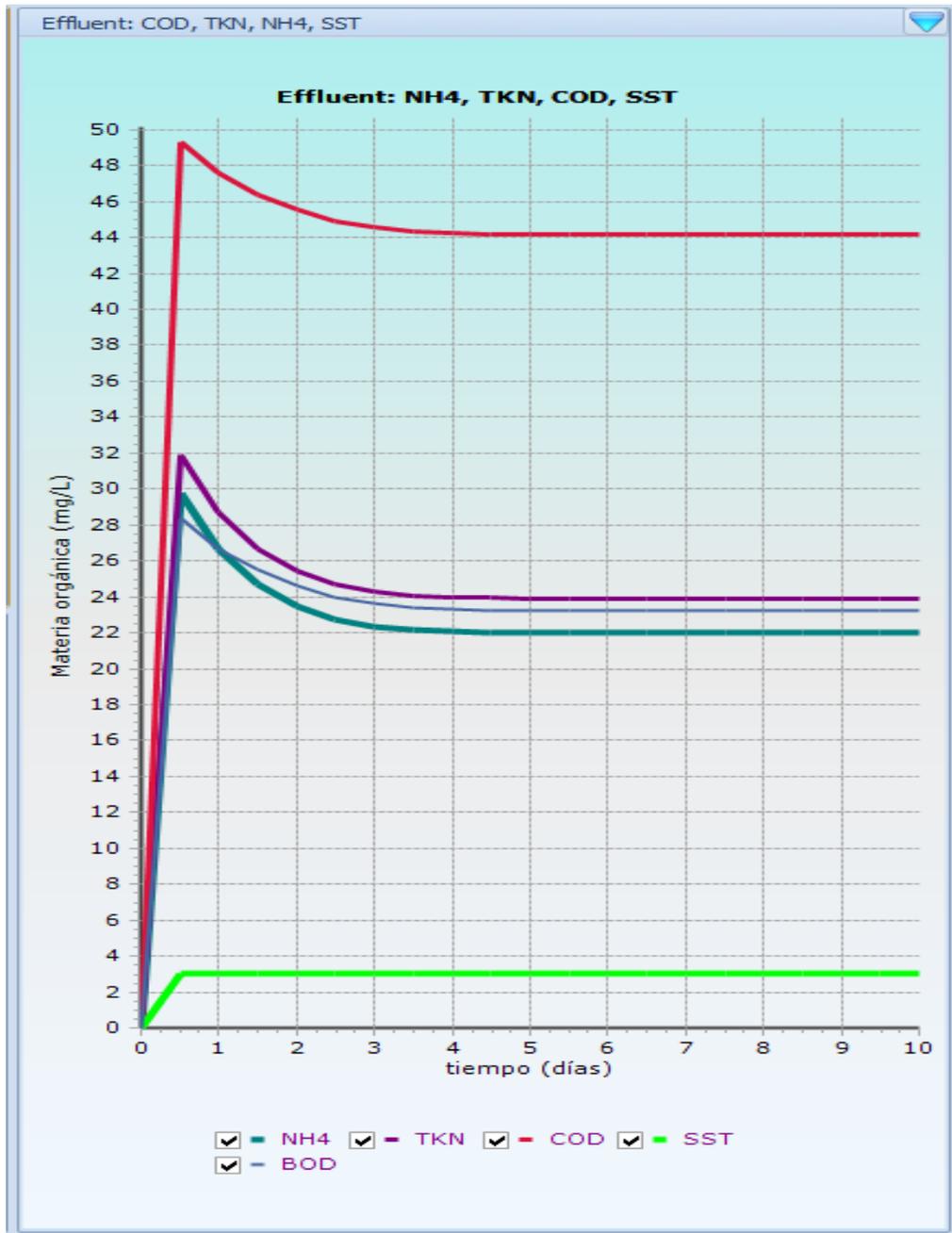


Figura 6-4. Remoción de materia orgánica en el reactor biológico a oxígeno 1,5 mg/L
 Realizado por Ramos Gavilanes, Nilda, 2021

Los resultados de este ensayo a oxígeno disuelto de 1 mg/L, se muestran en la ilustración 6-4, donde el nitrógeno amoniacal (NH₄) cumple por debajo del límite de la normativa (21,97 mg/L),

4.1.2.4. Oxígeno Disuelto 2.0 (mg / L)

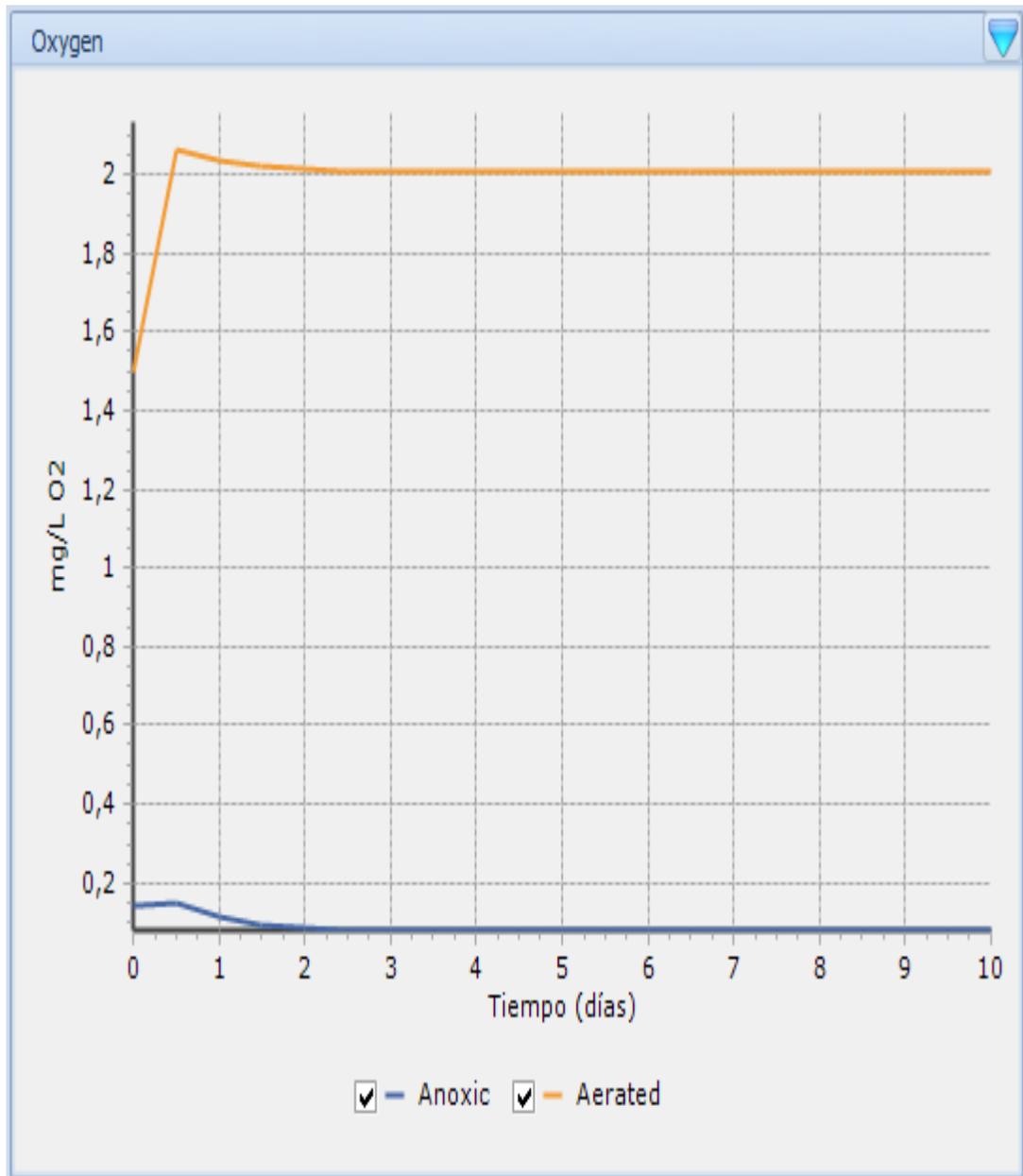


Figura 7-4. Oxígeno disuelto 2,0 (mg/ L)

Realizado por Ramos Gavilanes, Nilda, 2021

En la ilustración 7-4, se puede evidenciar que en el área anóxica el oxígeno disuelto se mantuvo en 0 mg/L, mientras en la zona aerobia se mantuvo en 2 mg/L.

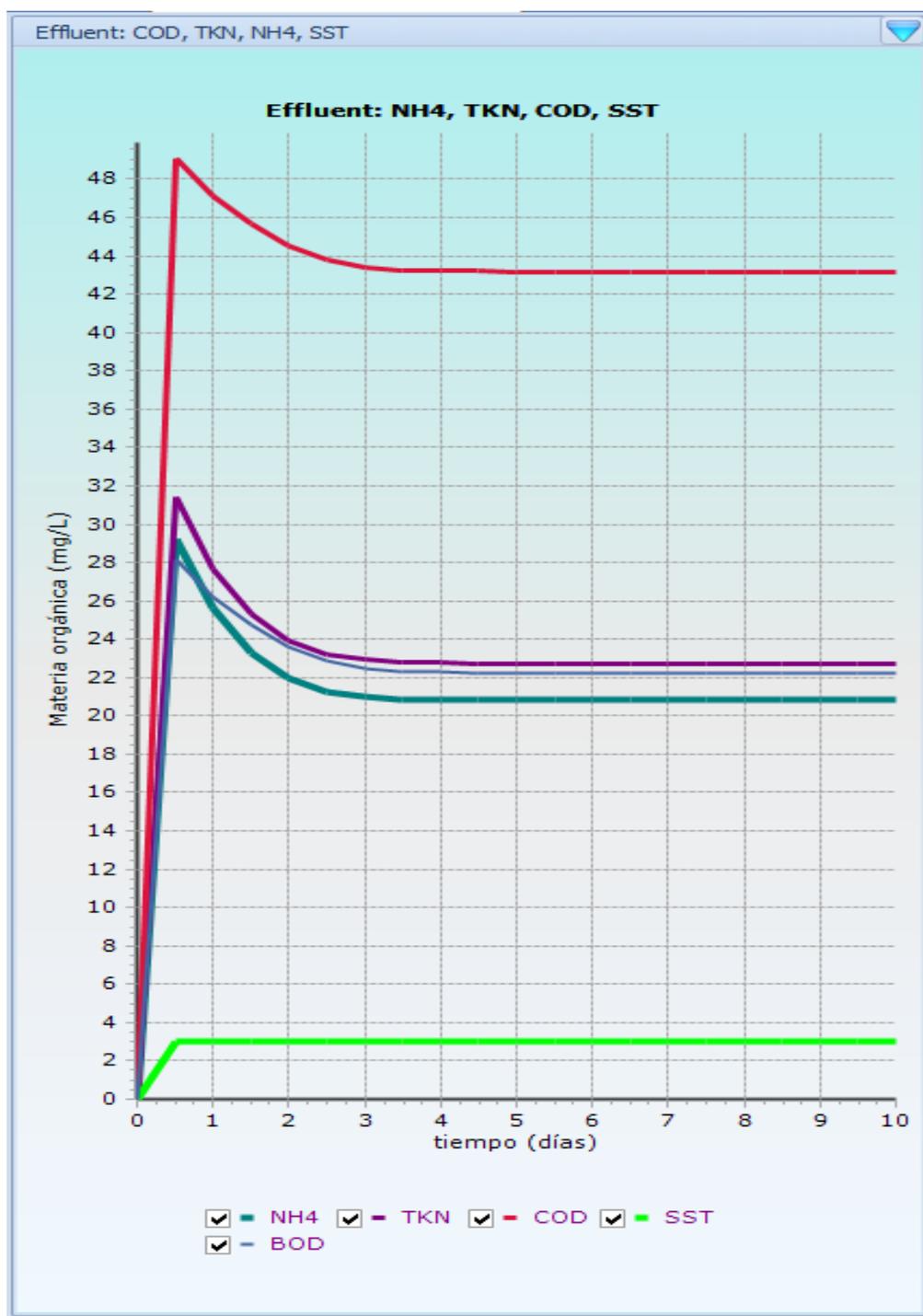


Figura 8-4. Remoción de materia orgánica en el reactor biológico a oxígeno 2,0 mg/L
 Realizado por Ramos Gavilanes, Nilda, 2021

De acuerdo a los resultados que se observa en la ilustración 8-4, el nitrógeno amoniacal llegó hasta 20,81 mg/L, dando cumplimiento a la normativa legal ambiental.

4.1.2.5. Oxígeno Disuelto 3.0 (mg/L)

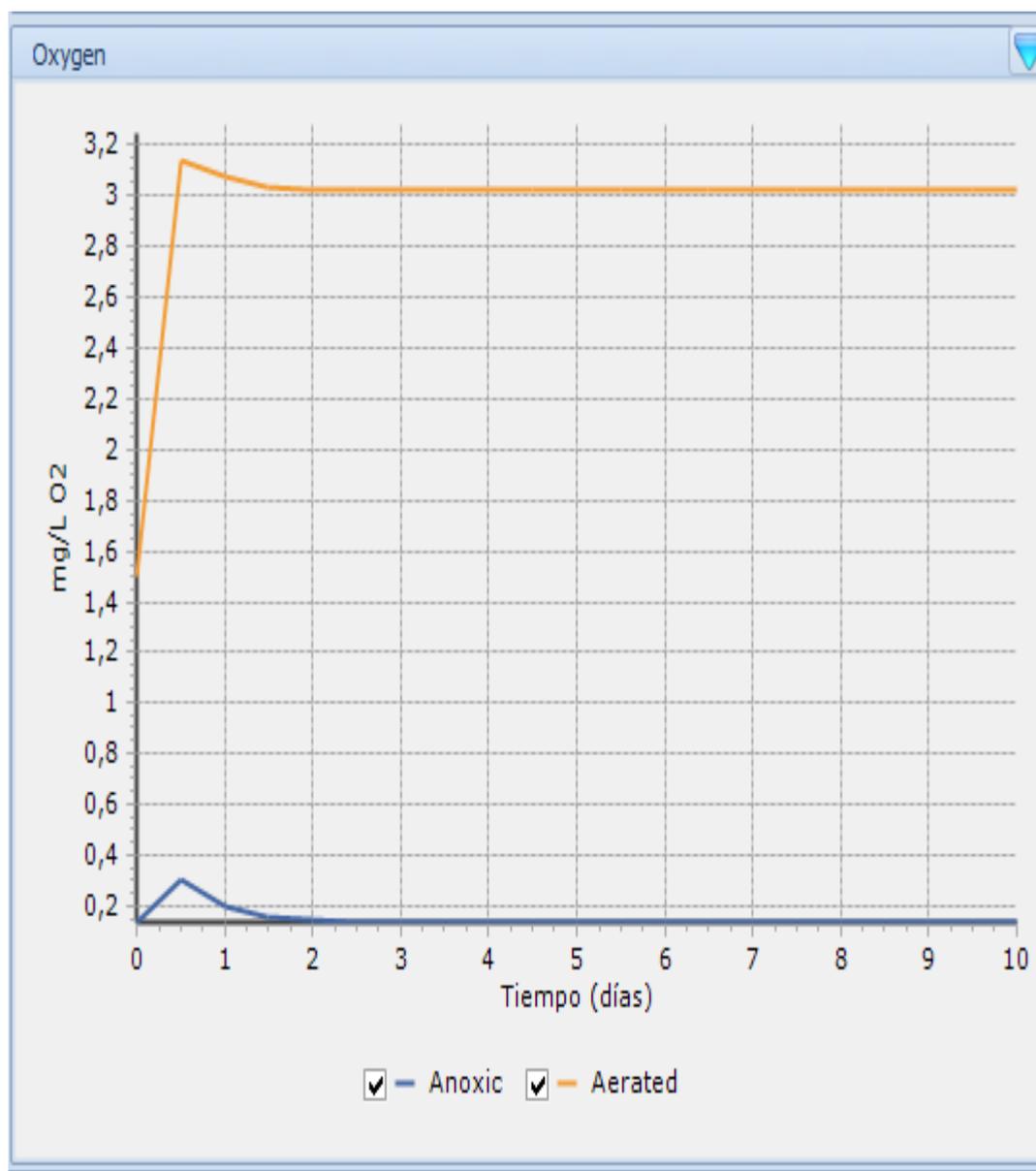


Figura 9-4. Oxígeno disuelto 3,0 (mg/L)
Realizado por Ramos Gavilanes, Nilda, 2021

Para este ensayo se mantuvo el oxígeno disuelto en 0 mg/L, mientras que la zona aerobia se mantuvo en 3 mg/L.

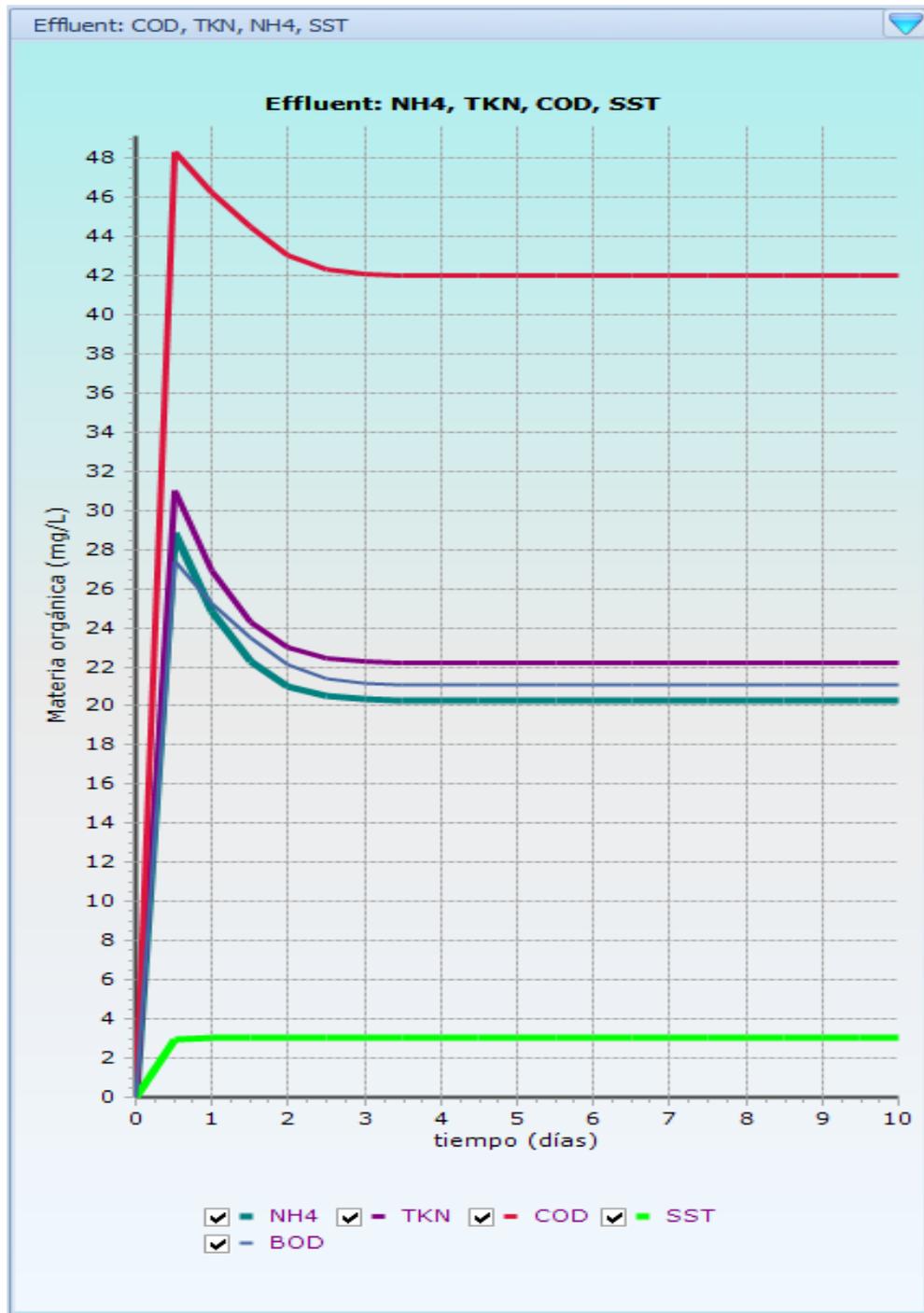


Figura 10-4. Remoción de materia orgánica en el reactor biológico a oxígeno 3,0 mg/L
 Realizado por Ramos Gavilanes, Nilda, 2021

En la ilustración 10-4, se puede evidenciar la remoción de materia orgánica como nitrógeno amoniacal se alcanzó un valor de 20,27 mg/L, dando cumplimiento a la normativa legal ambiental

Tabla 2-4: Resultados Simulaciones Variando Cantidad de Oxígeno

CANTIDAD DE OXÍGENO (mg/L)	DQO (mg/L)			Remoción			DBO (mg/L)			Remoción			SST (mg/L)			Remoción			NT (mg/L)			Remoción			NH4 (mg/L)			Remoción			REMOCIÓN GLOBAL			
	E	S	%	E	S	%	E	S	%	E	S	%	E	S	%	E	S	%	E	S	%	E	S	%	E	S	%	E	S	%				
0	557,8	84,81	84,8	476,52	63,89	86,6	357,39	2,99	99,16	52,93	41,9	20,8	34,41	38,69	-12,4	55,8																		
1	557,8	46,21	91,7	476,52	25,27	94,7	357,39	3,04	99,15	52,93	25,1	52,6	34,41	23,19	32,6	74,1																		
1,5	557,8	44,16	92,1	476,52	23,21	95,1	357,39	3,04	99,15	52,93	23,9	54,8	34,41	21,97	36,2	75,5																		
2	557,8	43,18	92,3	476,52	22,23	95,3	357,39	3,04	99,15	52,93	22,74	57,0	34,41	20,81	39,5	76,7																		
3	557,8	41,98	92,5	476,52	21,03	95,6	357,39	3,04	99,15	52,93	22,22	58,0	34,41	20,27	41,1	77,3																		

Realizado por Ramos Gavilanes, Nilda, 2021

En la tabla 2-4, se presenta el resumen de las alternativas ensayadas en el Software, variando el oxígeno disuelto desde 0 hasta 3 mg/l, teniendo como resultado la mejor alternativa en remoción de materia orgánica en 3 mg/L, sin embargo para evitar procesos de desnitrificación en los decantadores secundarios se ensayara en Planta como máximo 2 mg/L.

4.1.3. Simulaciones variando caudal

4.1.3.1. Caudal mínimo 22651 (m³/d)

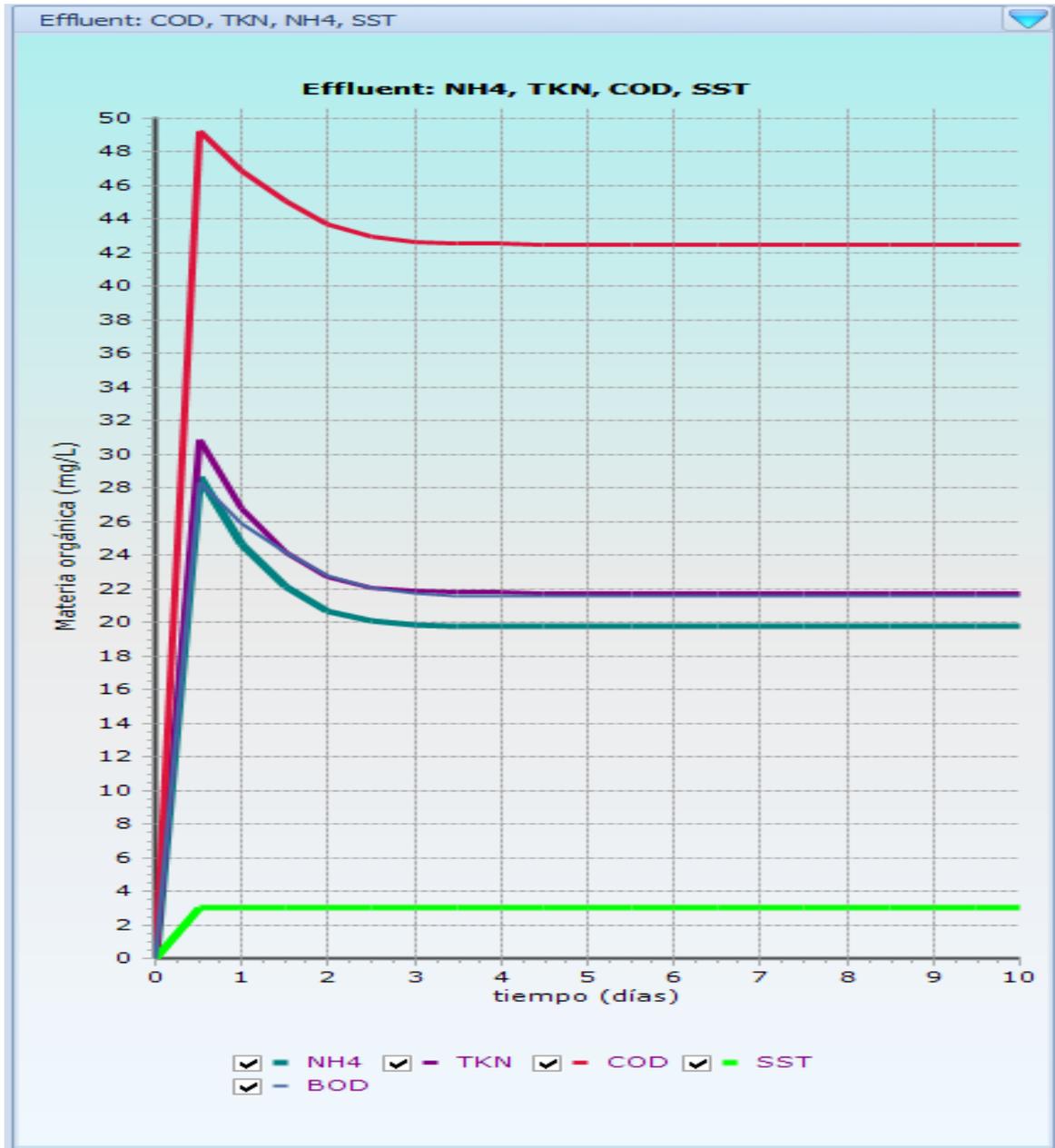


Figura 11-4. Remoción de materia orgánica en el reactor biológico a Caudal mínimo 22651 (m³/d)
Realizado por Ramos Gavilanes, Nilda, 2021

Para un caudal mínimo se obtuvo NTK de 21,75 mg/L, el resultado cumple por debajo del límite de la Normativa Legal Ambiental.

4.1.3.2. Caudal medio 45435 (m³ / d)

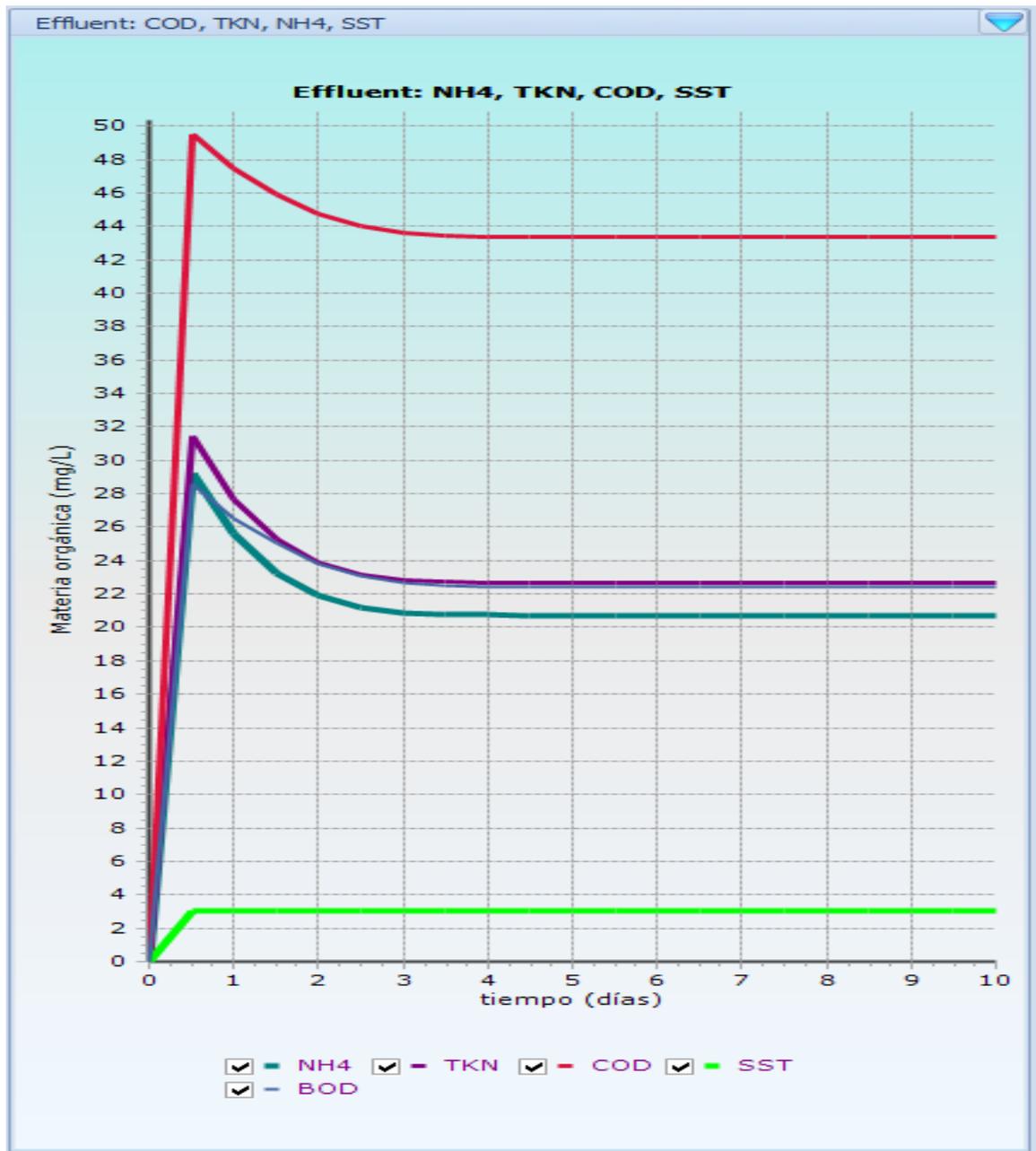


Figura 12-4. Remoción de materia orgánica en el reactor biológico a Caudal medio 45435 (m³/ d)
Realizado por Ramos Gavilanes, Nilda, 2021

Para caudal medio el NTK fue de 22,64 mg/L, el resultado cumple por debajo del límite de la Normativa Legal Ambiental.

4.1.3.3. Caudal máximo 64664 (m³/d)

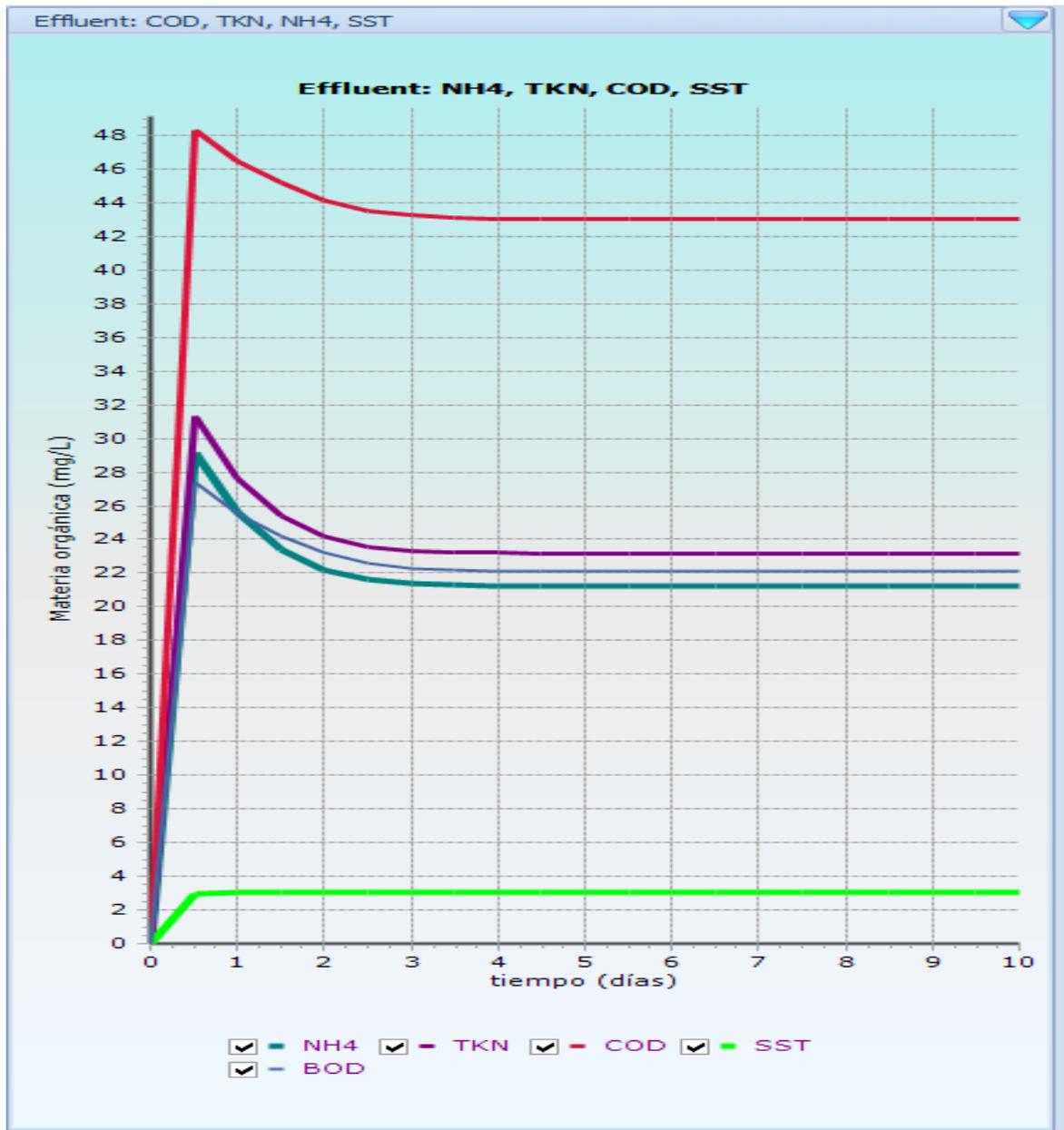


Figura 13-4. Remoción de materia orgánica en el reactor biológico a Caudal máximo 64664 (m³/d)
Realizado por Ramos Gavilanes, Nilda, 2021

Para caudal medio el NTK fue de 23,18 mg/L, el resultado cumple por debajo del límite de la Normativa Legal Ambiental.

Tabla 3-4: Resultados variando el Caudal de Entrada-Tiempo de Retención hidráulico

CAUDAL (m ³ /d)	DQO (mg/L)		Remoción	DBO (mg/L)		Remoción	SST (mg/L)		Remoción	NT (mg/L)		Remoción	NH ₄ (mg/L)		Remoción	REMOCIÓN GLOBAL
	E	S	%	E	S	%	E	S	%	E	S	%	E	S	%	%
22651	557,8	42,48	92,4	476,52	21,54	95,5	357,39	3,05	99,15	52,93	21,75	58,9	34,41	19,76	42,6	77,70
45435	557,8	43,36	92,2	476,52	22,41	95,3	357,39	3,04	99,15	52,93	22,64	57,2	34,41	20,71	39,8	76,74
64664	557,8	43,04	92,3	476,52	22,09	95,4	357,39	3,05	99,15	52,93	23,18	56,2	34,41	21,23	38,3	76,26

Realizado por Ramos Gavilanes, Nilda, 2021

El resumen de los resultados se muestra en la tabla 3-4, alternativas ensayas en el software teniendo que a menor caudal se tiene mayor remoción de materia orgánica esto debido a que el agua tiene mayor tiempo de retención en cada etapa, seguidamente están a caudal medio y máximo.

4.1.4. Pruebas variando el IVL

Los ensayos fueron realizados en base a la teoría para fangos activos, donde el V30 debe mantenerse por debajo de 80 ml/g, para tener una excelente sedimentación y compactación.

Tabla 4-4: Relaciones entre el IVL y las características de sedimentación de los lodos activos

Rango de IVL (m L/ g)	Características de compactación y de sedimentación de lodos activos
<80	Excelente
80-150	Moderado
>150	Pobre

Fuente: GRADY ET AL. 1999

4.1.4.1. Ensayos con IVL EN 30

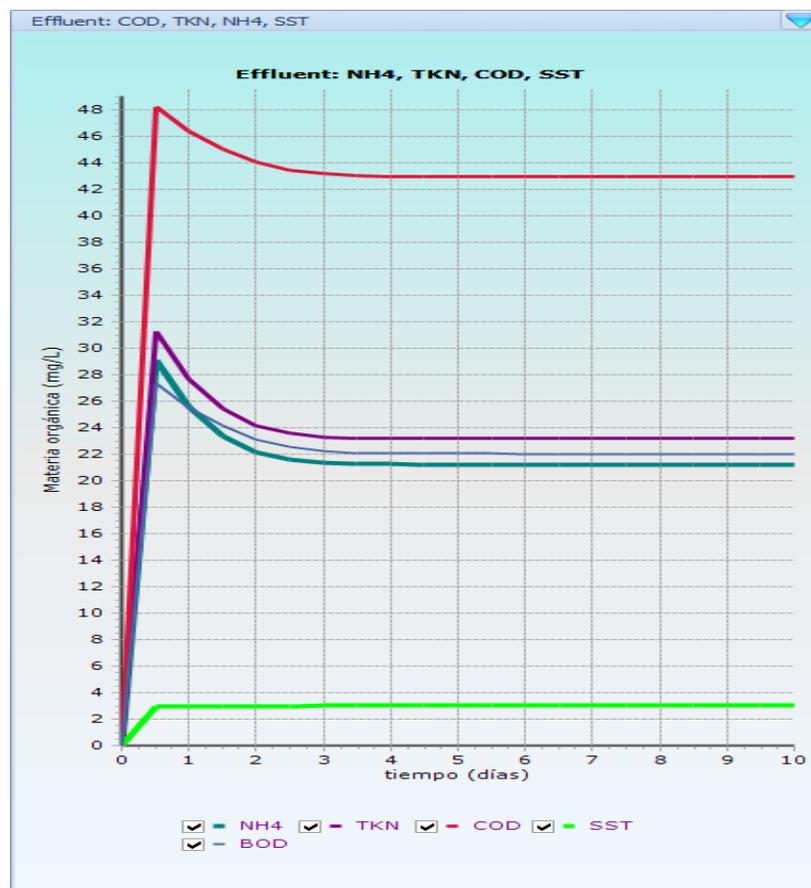


Figura 14-4. Remoción de materia orgánica IVL 30 (ml/g)

Realizado por Ramos Gavilanes, Nilda, 2021

Para un IVL de 30 ml/g se obtuvo DQO de 42.99 mg/L, y de DBO 22.05 mg/L, los valores cumplen por debajo del límite de la Normativa Legal Ambiental.

4.1.4.2. IVL EN 40

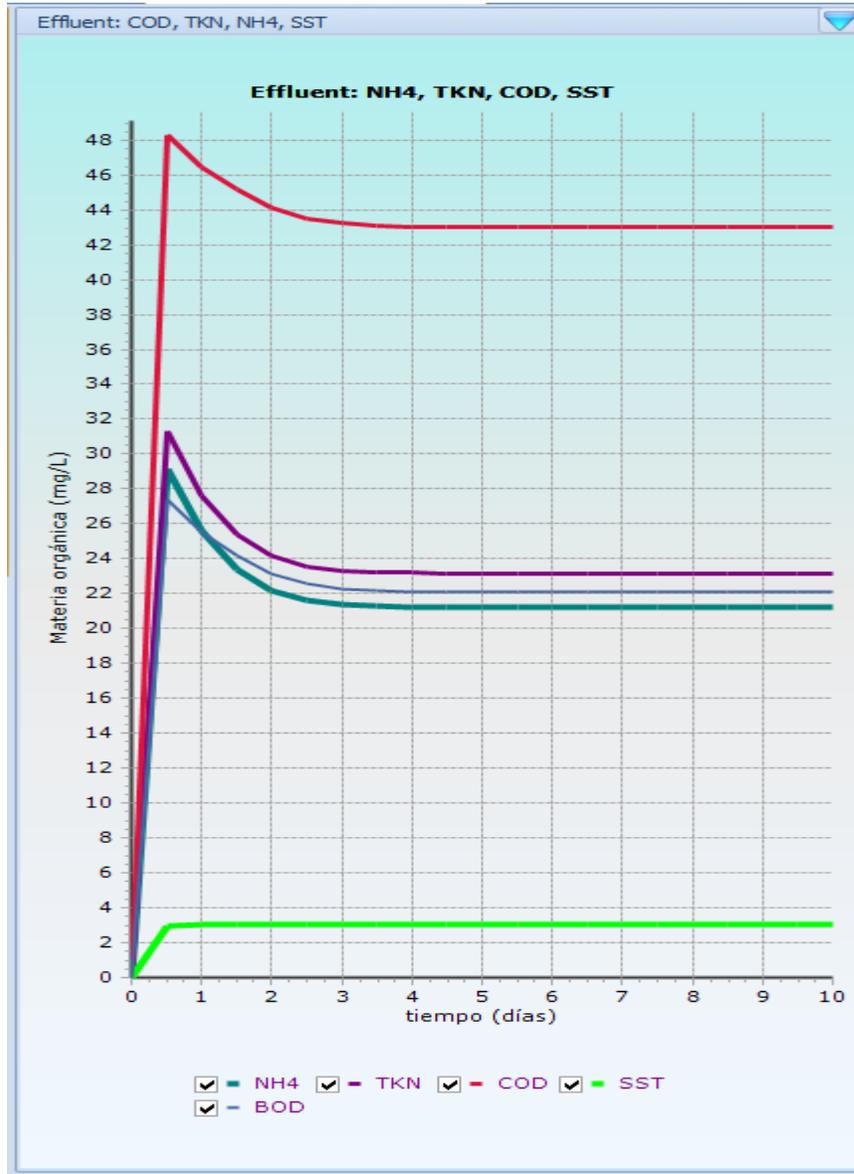


Figura 15-4. Remoción de materia orgánica IVL 40 (ml/g)
Realizado por Ramos Gavilanes, Nilda, 2021

Los resultados para un IVL de 40 ml/g fueron de DQO de 43.01 mg/L, y de DBO 22.07 mg/L, los valores cumplen por debajo del límite de la Normativa Legal Ambiental.

4.1.4.3. IVL EN 50

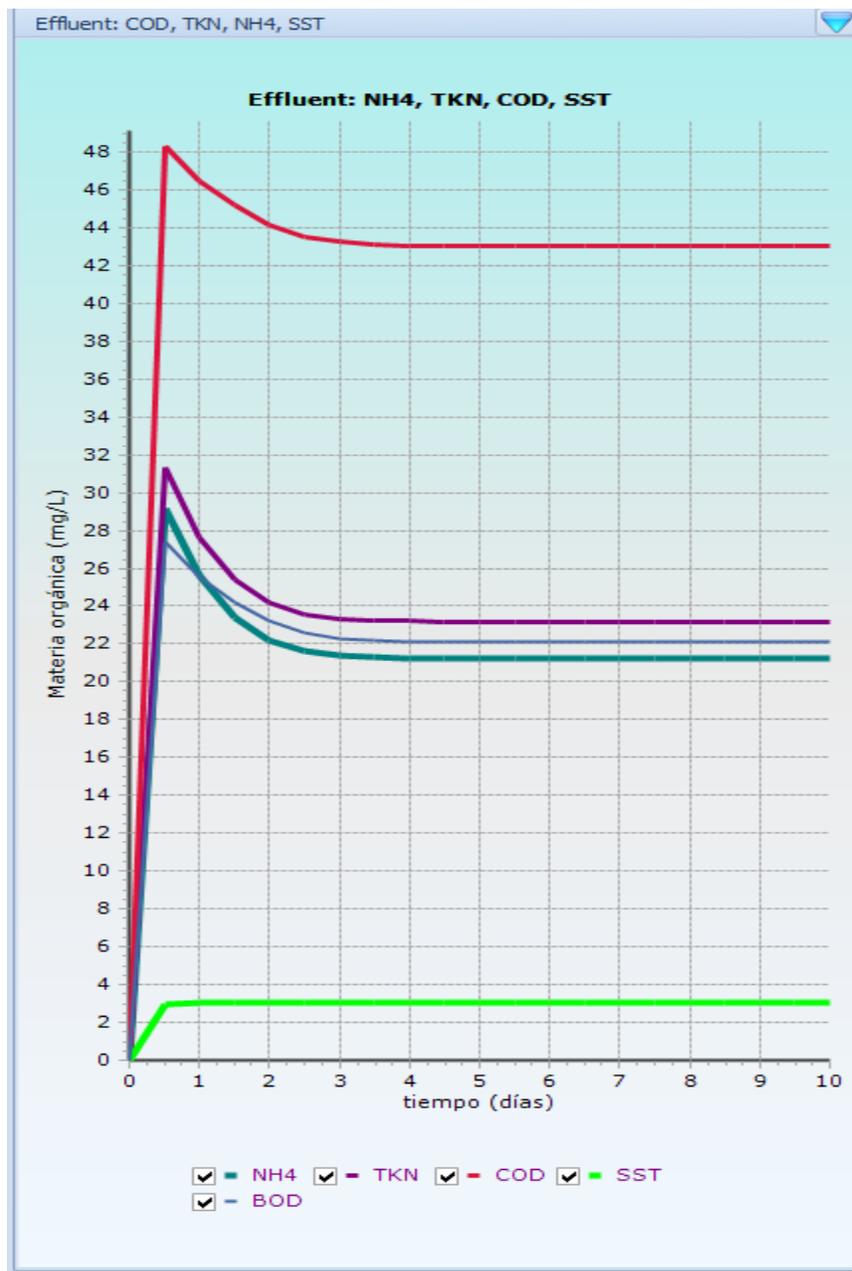


Figura 16-4. Remoción de materia orgánica IVL 50 (ml/g)
Realizado por Ramos Gavilanes, Nilda, 2021

Se observó que para un IVL de 50 ml/g se obtuvo DQO de 43,04 mg/L, y de DBO 22,09 mg/L, los valores cumplen por debajo del límite de la Normativa Legal Ambiental.

4.1.4.4. IVL EN 60

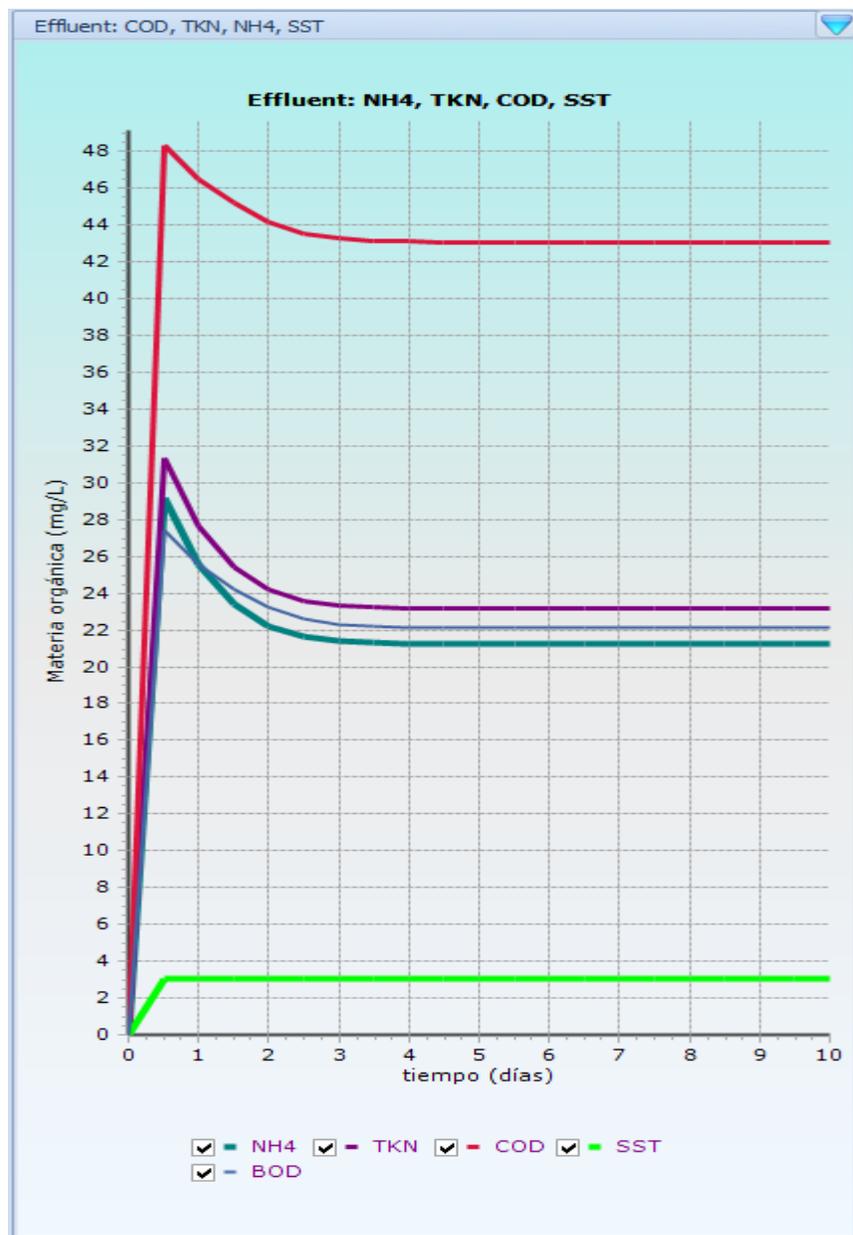


Figura 17-4. Remoción de materia orgánica IVL 60 (ml/g)
Realizado por Ramos Gavilanes, Nilda, 2021

De acuerdo a la figura 17-4, para un IVL de 60 ml/g se obtuvo DQO de 43,07 mg/L, y de DBO 22,11 mg/L, los valores cumplen por debajo del límite de la Normativa Legal Ambiental.

4.1.4.5. IVL 80

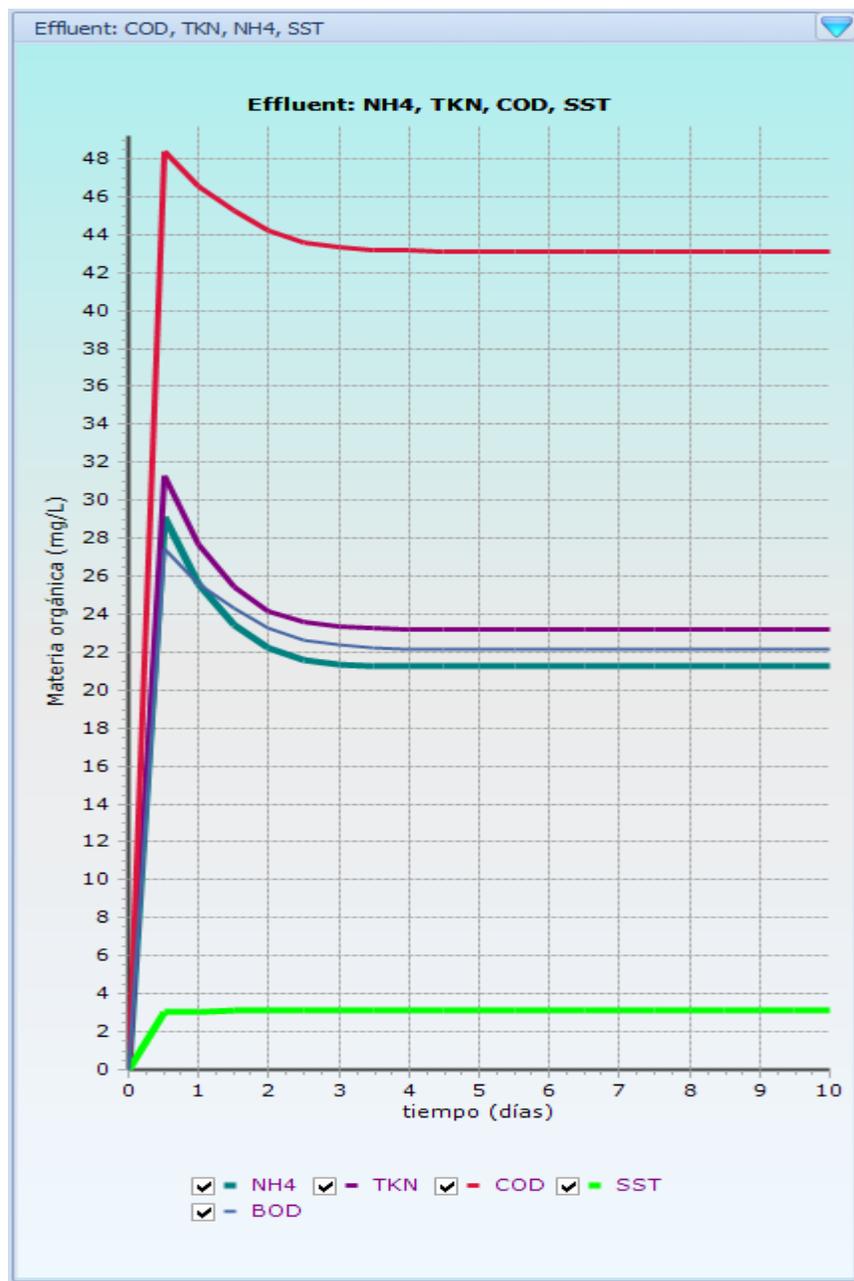


Figura 18-4. Remoción de materia orgánica IVL 80 (ml/g)
Realizado por Ramos Gavilanes, Nilda, 2021

Se muestra en la figura 18-4, que para un IVL de 80 ml/g se obtuvo DQO de 43,12 mg/L, y de DBO 22,16 mg/L, los valores cumplen por debajo del límite de la Normativa Legal Ambiental.

Tabla 5-4: Resultados variando la cantidad de biomasa

IVF (ml /g)	DQO (mg/L)		Remoció n	DBO (mg/L)		Remoció n	SST (mg/L)		Remoció n	NT (mg/L)		Remoció n	NH4 (mg/L)		Remoció n	REMOCIÓ N GLOBAL
	E	S	%	E	S	%	E	S	%	E	S	%	E	S	%	%
30	557,8	42,99	92,3	476,52	22,05	95,4	357,39	3	99,16	52,93	23,17	56,2	34,41	21,23	38,3	76,27
40	557,8	43,01	92,3	476,52	22,07	95,4	357,39	3,02	99,15	52,93	23,17	56,2	34,41	21,23	38,3	76,27
50	557,8	43,04	92,3	476,52	22,09	95,4	357,39	3,04	99,15	52,93	23,18	56,2	34,41	21,23	38,3	76,26
60	557,8	43,07	92,3	476,52	22,11	95,4	357,39	3,06	99,14	52,93	23,18	56,2	34,41	21,23	38,3	76,26
80	557,8	43,12	92,3	476,52	22,16	95,3	357,39	3,1	99,13	52,93	23,18	56,2	34,41	21,23	38,3	76,25

Realizado por Ramos Gavilanes, Nilda, 2021

La tabla 5-4, muestra las alternativas proporcionadas por el software variando la cantidad de sólidos suspendidos en el reactor biológico, teniendo resultados muy similares en todos los casos, determinando que la variación de los sólidos suspendidos puede variar de 30 hasta 80 mg/L.

Tabla 6-4: Resumen de Resultados simulados en el West Lab Kit

VARIABLE	PARÁMETROS				REMOCIÓN MATERIA ORGÁNICA					REMOCIÓN GLOBAL
	VARIACIONES	m3/d	TRH(h)	IVF (m l/g)	DQO % R	DBO % R	SST % R	NT % R	NH4 % R	% R
CAUDAL	Q mín	22651	10,87	50	92,4	95,5	99,1	58,9	42,6	77,7
	Q med	45435	5,42	50	92,2	95,3	99,1	57,2	39,8	76,7
	Q máx	64664	3,81	50	92,3	95,4	99,1	56,2	38,3	76,3
OXIGENO	0,0	64664	3,81	50	84,8	86,6	99,2	20,8	-12,4	55,8
	1,0	64664	3,81	50	91,7	94,7	99,1	52,6	32,6	74,1
	1,5	64664	3,81	50	92,1	95,1	99,1	54,8	36,2	75,5
	2,0	64664	3,81	50	92,3	95,3	99,1	57,0	39,5	76,7
	3,0	64664	3,81	50	92,5	95,6	99,1	58,0	41,1	77,3
SOLIDOS	30	64664	3,81	30	92,3	95,4	99,2	56,2	38,3	76,3
	40	64664	3,81	40	92,3	95,4	99,2	56,2	38,3	76,3
	50	64664	3,81	50	92,3	95,4	99,1	56,2	38,3	76,3
	60	64664	3,81	60	92,3	95,4	99,1	56,2	38,3	76,3
	80	64664	3,81	80	92,3	95,3	99,1	56,2	38,3	76,3

Realizado por Ramos Gavilanes, Nilda, 2021

De acuerdo a los resultados presentados en la Tabla 6-4, Se pudo observar el comportamiento de las variables del agua residual de salida de la Planta, en cada caso; primeramente variando el caudal (tiempo de retención hidráulico) teniendo como mejor remoción de materia orgánica en el caudal mínimo; seguidos de los ensayos de oxígeno donde la mejor remoción se tuvo en 2 y 3 mg/L. Finalmente de los ensayos de cantidad de sólidos suspendidos se obtuvo una remoción similar en todos los casos.



Gráfico 2-4. Resultados de las simulaciones
Realizado por Ramos, N.2021

El gráfico 2-4, muestra que la remoción de materia orgánica en el reactor biológico se mantiene sobre el 50%, a excepción del ensayo con oxígeno disuelto 0 mg/L, donde la remoción es de 55.8%.

Tabla 7-4: Resultados de Aplicación en Planta a Caudal máximo

SITUACIÓN	TRH(h)	DQO	DBO	SST	NT	NH4	REMOCIÓN GLOBAL
REAL	3,74	97,0	97,7	99,69	74,3	68,6	87,5
SIMULACIÓN	3,81	92,3	95,4	99,15	56,2	38,3	76,3

Realizado por Ramos Gavilanes, Nilda, 2021

La tabla 7-4, muestra los resultados a caudal máximo reales aplicados en Planta comparados con los resultados obtenidos en la simulación teniendo una diferencia del 11,2%.

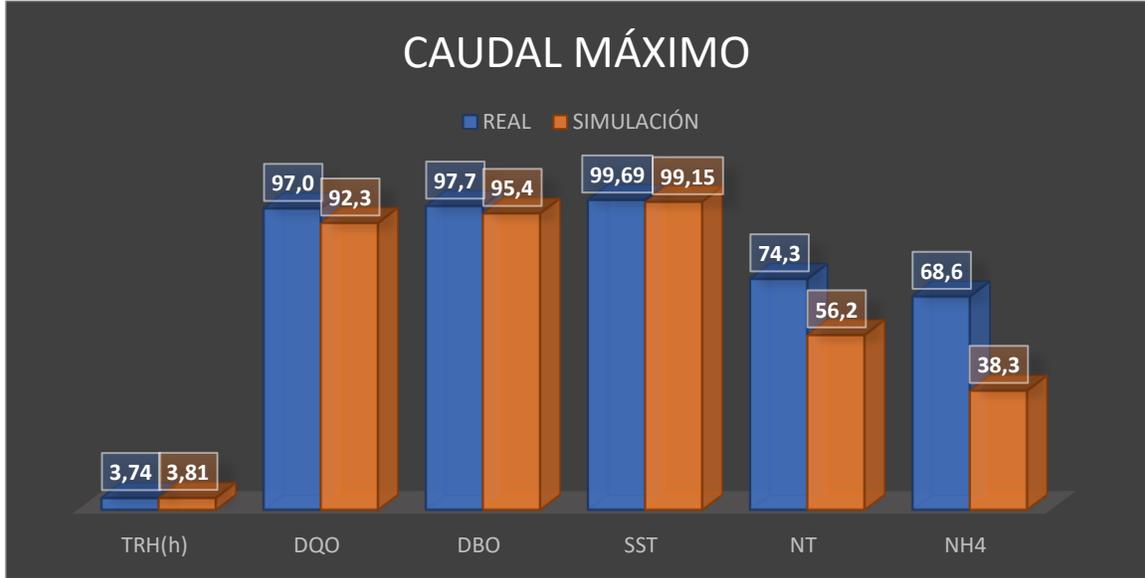


Gráfico 3-4. Resultados aplicados en Planta a caudal máximo
Realizado por Ramos, N.2021

Tabla 8-4: Resultados de Aplicación en Planta a Caudal medio

SITUACIÓN	TRH(h)	DQO	DBO	SST	NT	NH4	REMOCIÓN GLOBAL
REAL	5,36	97,0	92,5	99,37	73,4	31,6	78,8
SIMULACIÓN	5,42	92,2	95,3	99,15	57,2	39,8	76,7

Realizado por Ramos Gavilanes, Nilda, 2021

La tabla 8-4, muestra los resultados a caudal medio obtenidos en la situación real de la Planta y la simulación del software, teniendo una diferencia del 2.1%.

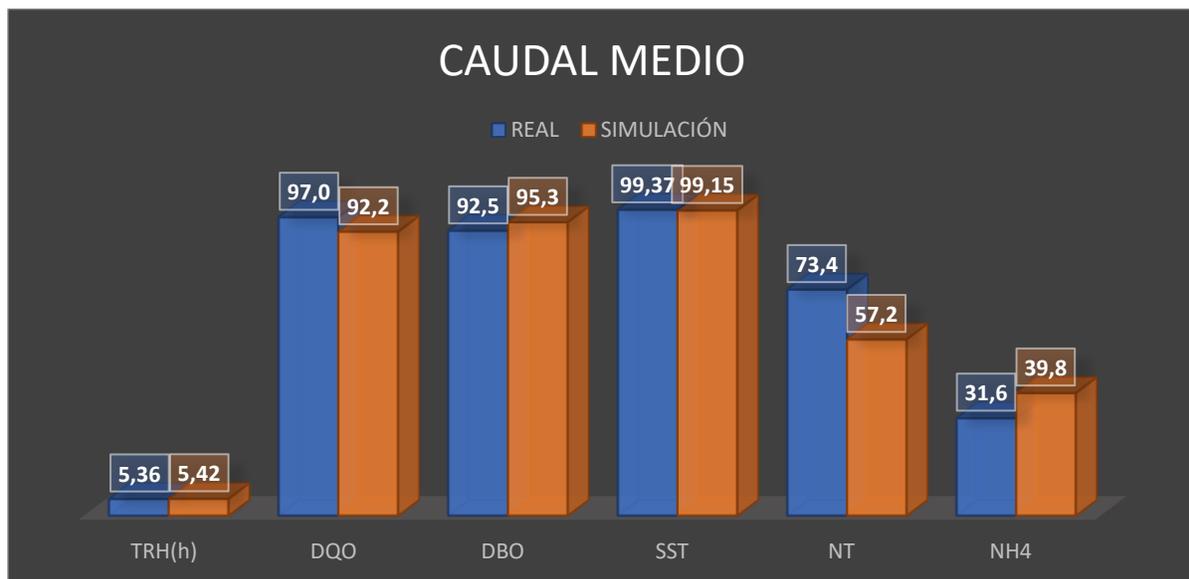


Gráfico 4-4. Resultados aplicados en Planta a caudal medio
Realizado por Ramos, N.2021

Tabla 9-4: Resultados de Aplicación en Planta a Caudal mínimo

SITUACIÓN	TRH(h)	DQO	DBO	SST	NT	NH4	REMOCIÓN GLOBAL
REAL	11,57	95,3	92,2	99,11	76,7	83,1	89,3
SIMULACIÓN	10,87	92,2	95,3	99,1	57,6	40,6	77,7

Realizado por Ramos Gavilanes, Nilda, 2021

La tabla 9-4, muestra los resultados a caudal mínimo obtenidos en la situación real de la Planta y la simulación del software una diferencia del 11,6%.

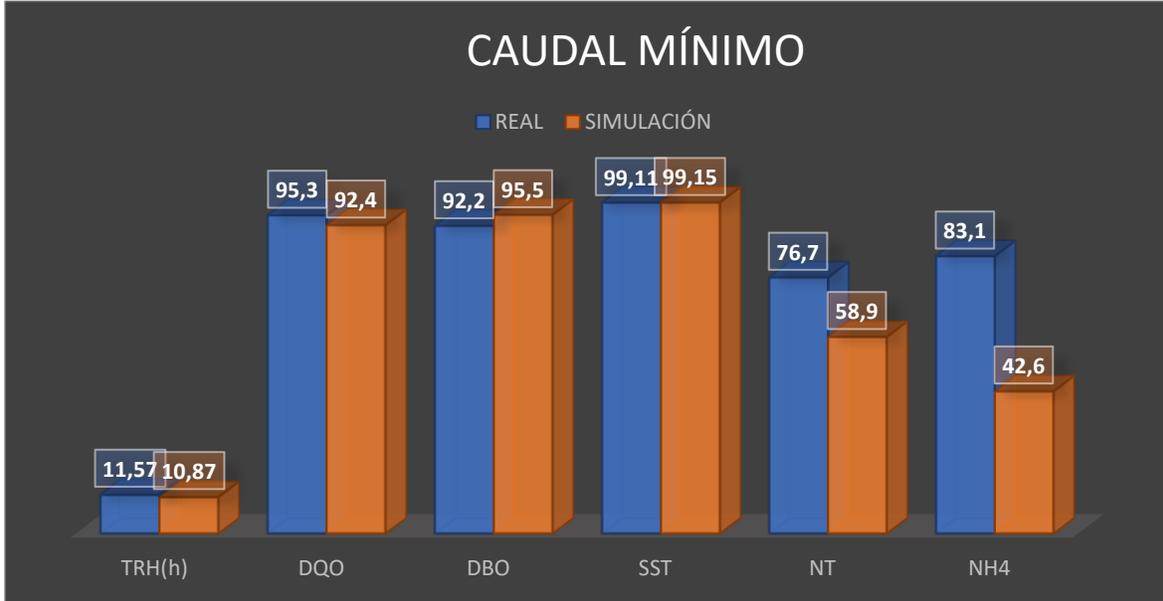


Gráfico 5-4. Resultados aplicados en Planta a caudal mínimo
Realizado por Ramos, N.2021

4.1.4.6. Cálculo del Error de aproximación

$$\delta = \left| \frac{vA - vE}{vE} \right| * 100\%$$

δ = error porcentual

vA = valor real observado

vE = valor esperado

$$\delta = \left| \frac{85,2 - 76,9}{76,9} \right| * 100\%$$

$$\delta = 10,79\%$$

Tabla 10-4: Cálculo del Error de Aproximación

	Valor Real Observado (%)	Valor esperado (%)	Error de aproximación (%)
Caudal Mínimo	89,3	77,7	11,6
Caudal Medio	78,8	76,7	2,7
Caudal Máximo	87,5	76,3	11,2
RESUMEN GLOBAL	85,2	76,9	10,8

Realizado por Ramos Gavilanes, Nilda, 2021

4.1.5. Comprobación de Hipótesis

4.1.5.1. Hipótesis General

De conformidad con los resultados experimentales puedo argumentar que la utilización del software permitió optimizar el funcionamiento operacional del reactor biológico para caudal mínimo, medio y máximo, permitiendo superar el 50% de remoción de materia orgánica.

4.1.5.2. Hipótesis Específicas

- Realizando el estudio actual de operación de la Planta permitió definir las variables importantes que se controlan en el reactor biológico dentro de ellas el caudal de entrada (tiempo de retención hidráulico), la cantidad de oxígeno suministrado y la cantidad de sólidos suspendidos, al simular estas variables permitieron encontrar las mejores opciones de operación de acuerdo al caudal de agua que ingrese a la Planta.
- El tiempo de retención hidráulico idóneo, a caudal máximo es de 3.81 horas, a caudal medio 5.42 horas y a caudal mínimo 10.87 horas, permitiendo tener una remoción de materia orgánica como nitrógeno amoniacal del 68.6, 31.6 y 83.1 % respectivamente.
- La mejor condición operativa fue de 3 mg/L de Oxígeno disuelto sin embargo genera mucho burbujeo en los decantadores secundarios teniendo el riesgo de tener una excesiva producción de nitrógeno gas, en todos los escenarios reales se ensayó a 2 mg/L, teniendo remoción de materia orgánica como nitrógeno total de 74.3, 73.4 y 76.7 % a caudal máximo, medio y mínimo respectivamente.
- En cuanto a IVL no existe variación significativa por tanto se puede mantener una rango de 30 a 80 mg/L, de acuerdo a lo revisado en la teoría, está en el rango que permite buena sedimentación y compactación del fango; permitiendo tener remoción de DQO de 97, 97 , y 95.3 % y DBO de 97.7, 92.5 y 92.2% a caudal máximo, medio y mínimo respectivamente.
- La remoción de materia orgánica en condiciones reales aplicadas en planta supera el 50%, determinando la efectividad de la propuesta.

4.1.6. *Discusión de resultados*

Los resultados obtenidos en la simulación superan el 50% de remoción de materia orgánica como nitrógeno amoniacal, nitrógeno total, DQO y DBO, propuesto en el presente trabajo de titulación; en la aplicación en Planta la remoción supera el valor de la simulación, observando que el software es una herramienta muy útil para optimizar el tratamiento.

En los resultados variando el oxígeno disuelto, para oxígeno 0 mg/L, se tuvo incumplimiento de la normativa en nitrógeno amoniacal y una remoción de materia orgánica global de 55.8%; seguidamente a 1 mg/L se tuvo una remoción de materia orgánica global de 74.1%; para 1.5 mg/L la remoción global fue de 75.5%; para 2.0 mg/L de oxígeno disuelto la remoción global de materia orgánica fue de 76.7% y finalmente para 3.0 mg/L fue de 77.3%.

En los resultados variando el caudal, para caudal máximo la remoción de materia orgánica fue de 76.3%, a caudal medio fue de 76.7% y a caudal mínimo de 77.7%.

Variando la cantidad de sólidos suspendidos, se tuvo una remoción de materia orgánica global de 76.3% en todos los casos.

Las propuestas obtenidas permitieron optimizar las actividades operacionales para caudal máximo, caudal medio y caudal mínimo.

Los resultados de las simulaciones y los resultados reales se comparó con la Tabla 9. “Límite De Descarga A Cuerpo De Agua Dulce”, en todos los escenarios se cumple con los límites establecidos.

CONCLUSIONES

- Al modelar el reactor biológico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Ambato, se logró incrementar la remoción de materia orgánica representada como (Nitrógeno amoniacal, nitrógeno total , DQO, DBO , Y SST) a 87.5%, 78.8%, 89.3% a caudal máximo, medio y mínimo respectivamente, el fósforo no se consideró debido a que los valores de ingreso a la Planta son menores a 6 mg/L, cuando el límite de vertido es de 10 mg/L.
- Al realizar el estudio de la situación actual del reactor biológico, la remoción de materia orgánica fue menor del 50%, se identificó los parámetros importantes para la optimización, dentro de los cuales fueron la cantidad de oxígeno disuelto, el tiempo de retención hidráulico y la biomasa.
- El tiempo de retención hidráulico óptimo aplicado a las condiciones reales de la Planta fueron, a caudal máximo 3.74 horas, con una remoción de materia orgánica como nitrógeno amoniacal de 68.6%; a caudal medio 5.36 horas con una remoción de materia orgánica como nitrógeno amoniacal de 31.6%; y a caudal mínimo 11.57 horas, con una remoción de materia orgánica como nitrógeno amoniacal de 83.1% en la situación real de la Planta.
- La cantidad de oxígeno disuelto a 2 mg/L, ensayado en Planta, se tuvo remoción de materia orgánica como nitrógeno total de 74.3% a caudal máximo, 73.4% a caudal medio y 76.7% a caudal mínimo.
- La cantidad de sólidos suspendidos, es óptima de 30 a 80 mg/L representado como IVF, teniendo remoción de materia orgánica como DQO de 97.0 % a caudal máximo, 97.0 % a caudal medio y 95.3 % a caudal mínimo; y remoción como DBO de 97.7 a caudal máximo, 92.5 a caudal medio, y 92.2% a caudal mínimo.
- La propuesta es válida, los parámetros del agua en la descarga cumplen con lo establecido en la Norma Legal Ambiental Tabla 9 del TULSMA. “Límite De Descarga A Cuerpo De Agua Dulce”, tanto en la simulación como lo aplicado en Planta.

RECOMENDACIONES

- Comprobar los resultados de la simulación obtenidos para el caudal proyectado para el año 2040.
- Realizar estudios en la línea de fangos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Evaluar el comportamiento de la Planta cuando se tiene ingreso de aguas industriales.
- Considerar la remoción de materia orgánica en función de la microfauna existente en el reactor biológico.
- Identificar la existencia de contaminantes como metales pesados y tensoactivos en el reactor biológico.

BIBLIOGRAFÍA

- Aani, S. (2019). Can machine language and artificial intelligence revolutionize process automation for water treatment and desalination. *458(84-96)*. Desalination.
- Almomani, F. (2020). Optimizing nutrient removal of moving bed biofilm reactor process using. (123059). Qatar: Bioresource Technology.
- Ambientales. (Octubre de 2015). *Ecuador en cifras*. Obtenido de Ecuador en cifras: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2015/Documento_Tecnico-Gestion_de_Agua_y_Alcantarillado_2015.pdf
- Ana, A. N. (2016). Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos hídricos superficiales. Lima.
- Carrera, J. (2017). *El nitrógeno en las Aguas Residuales*. Recuperado el 25 de 04 de 2017, de www.google.com: http://triton-cyted.com/wp-content/uploads/2017/04/Curso-EBN_Introducci%C3%B3n.pdf
- Chen, Y. (2019). Removal of nutrients and emission of nitrous oxide during simultaneous. (143-150). China: International Biodeterioration & Biodegradation.
- Duarte, D., & Fernandez. (2015). Remoción de nutrientes mediante coagulantes naturales y químicos en planta de tratamiento de aguas residuales, Valledupar Colombia. *6(2)*. Dialnet.
- Fluence, T. (2019). *Fluence*. Obtenido de Fluence: <https://www.fluencecorp.com/es/que-es-la-desnitrificacion/>
- Fonseca, R. (2017). Automation and Control of a Dissolved Air Flotation Pilot Plant. *50(3911-3916)*. Automation and Control of a Dissolved Air Flotation Pilot Plant.
- Gautama, R. (2020). Deep autoencoders as anomaly detectors: Method and case study in a distributed water treatment plant. *99(102055)*. Computer y Security.
- Gherghel, A. (2020). Sustainable design of large wastewater treatment plants considering multi-criteria decision analysis and stakeholders' involvement. *261(110158)*. Journal of Environmental Management. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110158>
- Grady, L. (1999). *Biological Wastewater Treatment*. 2° Ed. Marcel Dekker. New York: Marcel Dekker.
- Hanna. (2016). *Demanda Química y Biológica de Oxígeno*. Recuperado el 25 de 04 de 2021, de www.google.com: https://cdn.hannacolombia.com/hannacdn/marketing/capacitacion/2016/05/Hanna_Instrumentos_DQO_y_DBO.pdf
- Huerta, R. (2020). Evaluación y diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes del beneficio húmedo del café para mejorar los parámetros de temperatura, ph,

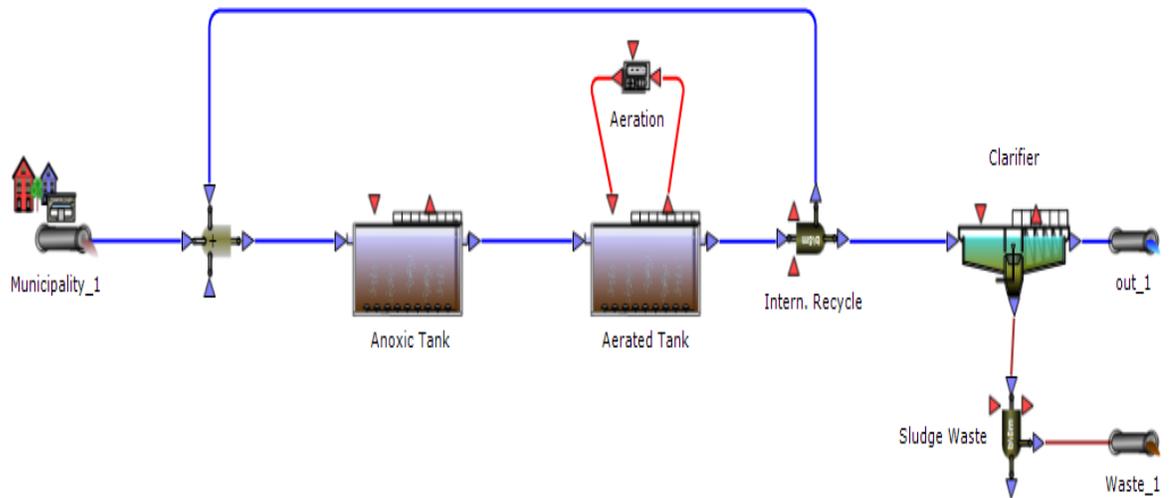
conductividad eléctrica, DQO, DBO5 de las aguas miel en el Fundo Monterrico - San Juan de Cacaz. Perú.

- Industrial. (2016). *Aguasresidualesinfo*. Obtenido de Aguasresidualesinfo: <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/los-solidos-en-el-agua-maneje-sus-solidos-y-mejore-su-efluente>
- Li, Y. (19 de 03 de 2019). Mundo Agropecuario. Obtenido de Mundo agropecuario: <https://mundoagropecuario.net/las-aguas-residuales-contienen-nutrientes-energia-y-metales-preciosos-los-cientificos-estan-aprendiendo-como-recuperarlos/#:~:text=Las%20aguas%20residuales%20tambi%C3%A9n%20contienen,las%20plantas%20necesitan%20para%20crecer.>
- Melo, L. (Abril de 2016). Análisis y selección de alternativas para el diseño de una Planta de Tratamiento en Colombia Tibú. Valencia, España.
- Quitíán, M. (2018). *Evaluación de la remoción de nutrientes*. Recuperado el 25 de 04 de 2018, de www.google.com: <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/5311/Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20eficiencia%20de%20remoci%C3%B3n%20de%20nutrientes%20presentes%20en%20aguas%20residuales%20municipales%20en%20un%20sistema%20de%20tratamiento%20terciario.pdf?sequence=1>
- Quxiu, D. (2020). Inorganic flocculant for sludge treatment: Characterization, sludge. pág. 111255. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111255>
- RAMALHO, R. (1983). *Tertiary Treatment of Wastewaters*.
- Rhys, J. (2020). Maximising renewable gas export opportunities at wastewater treatment plants through the integration of alternate energy generation and storage options. *742(140580)*. Science of The Total Environment.
- Rodriguez, H. (03 de Marzo de 2017). *iagua*. Obtenido de iagua: <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>
- Sahu, P. (2017). Automation in Biogas Plant for Enhancement of Efficiency and Safety. *4(5351-5356)*. materialstoday PROCEEDINGS.
- Saravanan, N. (2020). Waste water treatment process using Nano TiO₂. India: Materialstoday proceedings.
- Thakur, I. S. (2019). Nitrification and denitrification processes for mitigation of nitrous oxide. (502-513). India: Bioresource Technology.
- Vega, P. (2020). *Líderes en Información, Formación y Conocimiento para el Sector del Tratamiento del Agua*. Obtenido de Líderes en Información, Formación y Conocimiento para el Sector del Tratamiento del Agua: <https://www.aguasresiduales.info/expertos/tus-consultas/definiciones-vDQkW#:~:text=Hola%20Abraham%2C%20de%20forma%20sencilla,e1%20TRH%20es%2017.6%20horas.>

- Vilanova, R. (2017). Control y Operacion de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales:Modelado y Simulacion. 217,233.
- Villegas, E. (2018). *www.google.com*. Obtenido de <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/3557>
- Yang, J. (2020). Improvement in nitrogen removal and changes in community structure in a sequencing batch reactor bioaugmented with *P. stutzeri* strain XL-2. *317(123976)*. Bioresource Technology.
- Yang, Z. (2020). Nitrogen removal performance in pilot-scale solid-phase denitrification. (122994). Beijing: Bioresource Technology.
- Yuan, Y. (2020). Autotrophic nitrogen removal characteristics of PN-anammox process enhanced by sulfur autotrophic denitrification under mainstream conditions. *316(123926)*. Bioresource Technology.
- Zhan, J. (2020). Combined process of bio-contact oxidation-constructed wetland for blackwater treatment. *316(123891)*. Bioresource Technology.

ANEXOS

Anexo A Esquema del Tratamiento de la Planta de Tratamiento de la PTAR Ambato



Anexo B Normativa Ambiental para vertido a un cuerpo de Agua Dulce

TABLA 9. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sust. solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro Total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Ext. carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1.000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Color real ¹	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1.600
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	1000
Sulfuros	S ⁻²	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ± 3
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

¹ La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 21 / 01 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)

Nombres – Apellidos: *Nilda Consuelo Ramos Gavilanes*

INFORMACIÓN INSTITUCIONAL

Instituto de Posgrado y Educación Continua

Título A Optar: *Magíster en Ingeniería Química Aplicada*

f. Analista de Biblioteca responsable: *Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.*

LUIS
ALBERTO
CAMINOS
VARGAS

Firmado digitalmente
por LUIS ALBERTO
CAMINOS VARGAS.
DN: cn=LUIS ALBERTO
CAMINOS VARGAS o=EC
i=RIOBAMBA
Motivo: Soy el autor de
este documento.
Uticación:
Fecha: 2022-01-21
11:21:05-00



0132-DBRAI-UPT-IPEC-2021