



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**MODELACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL REACTOR BIOLÓGICO
DE MEMBRANA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA
RESIDUAL DE LA CIUDAD DE TENA**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR:

ANTONY RONALDO RIVADENEIRA MOSQUERA

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**MODELACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL REACTOR BIOLÓGICO
DE MEMBRANA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA
RESIDUAL DE LA CIUDAD DE TENA**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR: ANTONY RONALDO RIVADENEIRA MOSQUERA

DIRECTOR: MSc. DANIEL ANTONIO CHUQUIN VASCO

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Antony Ronaldo Rivadeneira Mosquera

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 Derecho de Autor.

Yo, Antony Ronaldo Rivadeneira Mosquera, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi auditoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

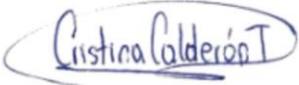
Riobamba, 30 de junio de 2023



Antony Ronaldo Rivadeneira Mosquera
1500806987

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto Técnico, **MODELACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL REACTOR BIOLÓGICO DE MEMBRANA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE LA CIUDAD DE TENA**, realizado por el señor: **ANTONY RONALDO RIVADENEIRA MOSQUERA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. Guillermo Eduardo Dávalos Merino PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-06-30
MSc. Daniel Antonio Chuquin Vasco DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2023-06-30
MSc. Cristina Gabriela Calderón Tapia ASESORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2023-06-30

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de titulación a mi madre Emma Mosquera y a mi padre Carlos Rivadeneira quienes, con su entrega incondicional y sacrificio por sus hijos, nunca me han hecho faltar nada y se han hecho para mí, grandes ejemplos a seguir. A mis queridos hermanos: Patricia y Carlos, quienes han creído en mis habilidades y entrega, a los cuales les debo mucho tiempo de felicidad vividos. Del mismo modo dedico este trabajo de titulación a todas las personas, quienes me han ayudado y apoyado de alguna u otra manera.

Antony

AGRADECIMIENTO

Este trabajo representa meses de dedicación y responsabilidad, pero no lo hubiese logrado sin el apoyo de personas que se han relacionado con su desarrollo, de esta manera mi más sincera más gratitud a todos quienes me han acompañado en esta larga jornada. Primeramente, agradezco a Dios quien es el ser más importante, por regalarme una oportunidad de vida, salud y por trazar el camino por los que mis pies se guían. Agradezco a mis padres y a toda familia quienes participaron, directa e indirectamente de mi formación e inculcaron en mí ese valor tan importante como es la responsabilidad. Agradezco de manera especial y sincera a los docentes de la Escuela a quienes debo gran parte de mi conocimiento, en especial al Ing. Daniel Chuquín y al Ing. Andrés Beltrán por su aporte y participación en el desarrollo de esta tesis. De la misma manera agradezco al técnico a cargo de la planta de tratamiento por guiarme en el desarrollo de mi trabajo de titulación mediante datos y análisis de agua residual de la Planta de Tratamiento ubicada en el barrio Tereré del cantón Tena y a los trabajadores del Departamento de Alcantarillado y Agua Potable. Expreso mi gratitud a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Escuela de Ingeniería Ambiental por darme la oportunidad de estudiar en tan prestigiosas aulas y poder ser un profesional. Agradezco a todas las personas que han formado parte de mi vida y me han brindado su, amistad, consejo, apoyo, animó y compañía en los momentos más difíciles.

Antony

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2. Justificación.....	4
1.3. Objetivos.....	5
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	5
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	5

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. La ciudad de Tena.....	6
2.2. Degradación de recursos hídricos.....	7
2.2.1. <i>Descargas de desechos líquidos</i>	7
2.2.2. <i>Contaminación de las arterias fluviales por aguas servidas</i>	8
2.2.3. <i>Descargas de aguas servidas</i>	8
2.3. Efectos de la contaminación del agua.....	9
2.3.1. <i>Efectos sobre la salud</i>	9
2.3.2. <i>Efectos sobre el medio ambiente</i>	10
2.3.3. <i>Efectos sobre la calidad de vida</i>	10
2.3.4. <i>Efectos sobre el desarrollo económico</i>	10
2.4. Planta de Tratamiento de agua Residual Tereré.....	11
2.4.1. <i>Marco legal</i>	11
2.4.2. <i>Descripción de la planta de tratamiento</i>	12
2.4.2.1. <i>Desbastes de gruesos</i>	13
2.4.2.2. <i>Pozo de elevación</i>	13

2.4.2.3. Equipo de pretratamiento Compacto (Desbaste-Desarenado-Desengrasado)	14
2.4.2.4. Tanque de homogeneización	14
2.4.2.5. Reactor biológico	15
2.4.3. Estaciones depuradoras	18
2.4.4. Alternativas de diseño para las plantas de tratamiento de agua residual	19
2.5. Bases teóricas	20
2.5.1. Caracterización del agua residual	20
2.5.1.1. Fraccionamiento de la materia orgánica, DQO	20
2.5.1.2. Fraccionamiento del Nitrógeno, N_T	21
2.5.2. Relaciones típicas de agua residual	21
2.5.3. Tratamiento de aguas residuales mediante el uso de fangos activados	22
2.5.4. Caracterización de fangos en una PTAR	22
2.5.5. Remoción de nitrógeno en estaciones depuradoras	22
2.5.6. Procesos de nitrificación y desnitrificación	23
2.5.7. Remoción de nitrógeno	23
2.5.8. Software WEST+ 2023	23
2.5.9. Modelo de fangos activados, ASMI	23
2.5.9.1. Componentes del modelo ASMI	24
2.5.9.2. Procesos del modelo ASMI	26
2.5.10. Simulación en plantas de tratamiento de agua residual	28
2.5.11. Evaluación de opciones de diseño	29
2.5.12. Optimización de procesos	29
2.5.13. Calibración del modelo	29
2.5.14. Monitorización de operaciones de planta y resolución de problemas	29
2.5.15. Modelización de sistemas integrados de aguas urbanas	30
2.5.16. Optimización de remoción de nutrientes	30
2.5.17. Control y operación de estaciones depuradoras: Modelado y Simulación	30
2.6. Definiciones	31
2.6.1. Agua residual domestica	31
2.6.2. Demanda biológica de oxígeno (DBO_5)	31
2.6.3. Desnitrificación	31
2.6.4. Demanda Química de Oxígeno	31
2.6.5. Fósforo Total	31
2.6.6. Nitrógeno Total	31
2.6.7. Oxígeno Disuelto	32
2.6.8. Nutrientes en el Agua Residual	32
2.6.9. Reactor Biológico	32

2.6.10. Remoción de Nutrientes en Aguas Residuales	32
2.6.11. Sólidos Suspendidos Totales	32
2.6.12. Tiempo de Retención Hidráulico	32
2.6.13. Bacterias heterótrofas	32
2.6.14. Bacterias autótrofas	33

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO	34
3.1. Tipo y diseño de la investigación	34
3.2. Localización del proyecto	34
3.3. Población de estudio	35
3.3.1. Método de muestreo	35
3.4. Técnica de recolección de datos	35
3.5. Análisis estadístico	36
3.6. Ingeniería del proyecto	36
3.7. Metodología en base a los objetivos	36
3.7.1. Metodología 1	36
3.7.2. Metodología 2	37
3.7.3. Metodología 3	38

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	40
4.1. Estudio de las operaciones unitarias y proceso biológico de la planta de tratamiento Tereré	40
4.1.1. Operaciones unitarias con falencias	40
4.1.1.1. Equipo de Pretratamiento Compacto	40
4.1.1.2. Tratamiento de microfiltración	41
4.1.1.3. Deshidratación de fangos	42
4.1.2. Proceso biológico	43
4.1.2.1. Tanque anóxico	43
4.1.2.2. Tanque de Pre-aireación	43
4.1.2.3. Tanque de membranas	44
4.1.2.4. Tanque aerobio	44
4.2. Calibración del software WEST+ 2023	44
4.2.1. Caracterización del influente	44

4.2.2.	<i>Caracterización del efluente</i>	50
4.2.3.	<i>Resultados de la calibración</i>	51
4.3.	Simulación de alternativas para la optimización de la PTAR Tereré	54
4.3.1.	<i>Oxígeno Disuelto 0 mg O₂/L</i>	54
4.3.2.	<i>Oxígeno Disuelto 0,5 mg O₂/L</i>	55
4.3.3.	<i>Oxígeno Disuelto 1 mg O₂/L</i>	57
4.3.4.	<i>Oxígeno Disuelto 1,5 mg O₂/L</i>	58
4.3.5.	<i>Oxígeno disuelto 2 mg O₂/L</i>	59
4.3.6.	<i>Oxígeno disuelto 2,5 mg O₂/L</i>	60
4.3.7.	<i>Oxígeno disuelto 3 mg O₂/L</i>	61
4.3.8.	<i>Resultados de las simulaciones</i>	63
4.4.	Análisis económico de las alternativas simuladas	64
4.5.	Discusión de Resultados	65

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
5.1.	Conclusiones	67
5.2.	Recomendaciones	69

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Tipos de descargas de aguas residuales, sistemas de alcantarillado de Tena.	8
Tabla 2-2:	Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	11
Tabla 3-2:	Procesos Óptimos del Reactor Biológico.	16
Tabla 4-2:	Valores de procesos óptimos del fango biológico.	16
Tabla 5-2:	Valores de procesos óptimos de la cámara anóxica.....	17
Tabla 6-2:	Parámetros de procesos óptimos en las cámaras de membranas.	18
Tabla 7-2:	Caudales teóricos tratamiento de membranas según flujos de permeación.....	18
Tabla 8-2:	Relaciones típicas de agua residual Municipal.	22
Tabla 1-4:	Dimensiones del tanque anóxico de la PTAR.	43
Tabla 2-4:	Dimensiones del tanque de pre-aireación.....	43
Tabla 3-4:	Dimensiones del Tanque de Membranas.....	44
Tabla 4-4:	Dimensiones del tanque aerobio.....	44
Tabla 5-4:	Caracterización del influente, datos históricos.	45
Tabla 6-4:	Caracterización del influente, ratios calculados y bibliográficos.	46
Tabla 7-4:	Ratios calculados en base a los resultados del 09-03-2023.	47
Tabla 8-4:	Composición del influente.....	47
Tabla 9-4:	Ratios calculados del influente.....	47
Tabla 10-4:	Caracterización del influente según el ASM1 del software WEST+ 2023.....	49
Tabla 11-4:	Caracterización del efluente, datos históricos.	50
Tabla 12-4:	Composición del efluente.	51
Tabla 13-4:	Resultados de la calibración del software WEST+ 2023.	53
Tabla 14-4:	Calidad del efluente de las simulaciones vs límites de descarga del TULSMA...	63
Tabla 15-4:	Porcentaje de Remoción de las simulaciones.	63
Tabla 16-4:	Costos de energía por aireación.....	65

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2:	Mapa de ubicación del Cantón Tena dentro de la zona de planificación 2....	7
Ilustración 2-2:	Ubicación de las descargas de aguas residuales en la ciudad de Tena.....	9
Ilustración 3-2	Cuchara Bivalva.....	13
Ilustración 4-2:	Fraccionamiento de la materia orgánica DQO.....	20
Ilustración 5-2:	Fraccionamiento del Nitrógeno total.	21
Ilustración 6-2:	Descomposición de la DQO según el ASM1.....	24
Ilustración 7-2:	Descomposición del Nitrógeno según el ASM1.	26
Ilustración 1-3:	Ubicación de PTAR Tereré, en la ciudad de Tena.....	35
Ilustración 2-3:	Pasos que se realizaron en este proyecto.	36
Ilustración 3-3:	Metodología 1.....	37
Ilustración 4-3:	Metodología 2.....	38
Ilustración 5-3:	Metodología 3.....	39
Ilustración 1-4:	Equipo de pretratamiento compacto F-121.....	40
Ilustración 2-4:	Accesorios del sistema de microfiltración en mal estado.	41
Ilustración 3-4:	Extractor centrífugo de la serie Baby con falencias.....	42
Ilustración 4-4:	Fraccionamiento de la DQO y nitrógeno.	48
Ilustración 5-4:	Parámetros estimados para el fraccionamiento de la DQO y nitrógeno.	49
Ilustración 6-4:	Ingreso de factores fraccionamiento de la materia orgánica y nitrógeno al software WEST+ 2023.....	51
Ilustración 7-4:	Parámetros del influente calculados por el software WEST+ 2023.....	52
Ilustración 8-4:	Calidad del efluente en la calibración.	53
Ilustración 9-4:	Concentración de 0 mg O ₂ /L en la zona aerobia.....	54
Ilustración 10-4:	Concentración del efluente con 0 mg O ₂ /L en la zona aerobia.	55
Ilustración 11-4:	Concentración de 0,5 mg O ₂ /L en la zona aerobia.....	56
Ilustración 12-4:	Concentración del efluente con 0,5 mg O ₂ /L en la zona aerobia.	56
Ilustración 13-4:	Concentración de 1 mg O ₂ /L en la zona aerobia.....	57
Ilustración 14-4:	Concentración del efluente con 1 mg O ₂ /L en la zona aerobia.	57
Ilustración 15-4:	Concentración de 1,5 mg O ₂ /L en la zona aerobia.....	58
Ilustración 16-4:	Concentración del efluente con 1,5 mg O ₂ /L en la zona aerobia.	59
Ilustración 17-4:	Concentración de 2 mg O ₂ /L en la zona aerobia.....	59
Ilustración 18-4:	Concentración del efluente con 2 mg O ₂ /L en la zona aerobia.	60
Ilustración 19-4:	Concentración de 2,5 mg O ₂ /L en la zona aerobia.....	60
Ilustración 20-4:	Concentración del efluente con 2,5 mg O ₂ /L en la zona aerobia.	61
Ilustración 21-4:	Concentración de 3 mg O ₂ /L en la zona aerobia.....	62

Ilustración 22-4: Concentración del efluente con 3 mg O ₂ /L en la zona aerobia.	62
Ilustración 23-4: Comparación de los resultados de las simulaciones.	64

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** VISITAS TÉCNICAS A LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL TERERÉ
- ANEXO B:** PANEL DE CONTROL PLANTA DE TRATAMIENTO TERERÉ, SISTEMA MBR.
- ANEXO C:** DATOS HISTÓRICOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO TERERÉ.
- ANEXO D:** TOMA DE MUESTRAS PARA REALIZAR ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS EN LABORATORIO.
- ANEXO E:** RESULTADOS ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL, LABORATORIO AQLAB.
- ANEXO F:** ESQUEMA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL TERERÉ EN WEST+ 2023

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de integración curricular, fue incrementar la remoción de la demanda química de oxígeno de los sólidos suspendidos y del nitrógeno amoniacal del reactor biológico de membranas de la Planta de Tratamiento de Agua Residual del barrio Tereré de la ciudad de Tena ubicada en la provincia de Napo, se realizó el levantamiento de la línea base de la operación actual de la PTAR en la cual se determinó que la remoción de materia orgánica fue del 60%, por lo cual primeramente se realizó la gestión de la licencia estudiantil del software WEST lab Kit específico para el modelado de aguas residuales, como segunda parte se determinó la cantidad de oxígeno disuelto, el tiempo de retención hidráulico y la cantidad de biomasa que son las variables que afectan directamente en la operación del reactor biológico, para realizar las simulaciones se tomó en cuenta la concentración oxígeno, para todos los escenarios se mantuvo constantes algunas variables, teniendo como resultados globales el noventa por ciento de remoción de materia orgánica, también se realizó un análisis de las mejores alternativas para optimización y esto fue aplicado en la situación real de la Planta de Tratamiento de Agua Residual donde se obtuvo una mejor remoción de materia orgánica, superando lo obtenido en la simulación; como punto final se validó la propuesta comparando los resultados de vertido al río la Tabla 10 del TULSMA ratificando el cumplimiento de la Normativa Legal Ambiental en todos los resultados obtenidos, es recomendable realizar la simulación para la línea de fangos de la Planta de Tratamiento de Agua Residual de la ciudad de Tena.

Palabras clave: <REACTOR BIOLÓGICO DE MEMBRANAS>, <TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRAULICA>, <SÓLIDOS SUSPENDIDOS>, <OXÍGENO DISUELTO>, <OPTIMIZACIÓN>, <REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA>, <SIMULACIÓN>.

1598-DBRA-UPT-2023



SUMMARY

This research aimed to increase the removal of chemical oxygen demand from suspended solids and ammoniacal nitrogen from the biological membrane reactor of the Wastewater Treatment Plant of the Tereré neighbourhood of the city of Tena, located in the province of Napo. The baseline survey of the current operation of the WWTP was carried out, in which it was determined that the removal of organic matter was 60%, for which first the management of the student license of the WEST lab kit software specific for wastewater modelling. In the second part, the amount of dissolved oxygen, the hydraulic retention time and the amount of biomass, which are the variables that directly affect the operation of the biological reactor, were determined. To carry out the simulations, the oxygen concentration was taken into account. For all scenarios, some variables were kept constant, with a ninety per cent removal of organic matter as a global result. An analysis of the best alternatives for optimization was also carried out, which was applied in the actual situation of the Water Treatment Plant residual, where a better removal of organic matter was obtained, surpassing what was obtained in the simulation. As a final point, the proposal was validated by comparing the results of discharge into the river in Table 10 of the TULSMA, ratifying compliance with the Environmental Legal Regulations in all the results. Simulating the sludge line of the Water Treatment Plant Residual of the city of Tena is advisable.

Keywords: <MEMBRANE BIOLOGICAL REACTOR>, <HYDRAULIC RETENTION TIME>, <SUSPENDED SOLIDS>, <DISSOLVED OXYGEN>, <OPTIMIZATION>, <ORGANIC MATTER REMOVAL>, <SIMULATION>.



Ing. Paul Obregón. Mgs
0601927122

INTRODUCCIÓN

Los cuerpos de agua han sido utilizados a nivel nacional como sistemas de desechos líquidos, aun cuando este recurso tiene la capacidad de dilución y autodepuración, el aumento poblacional, industrial y comercial está provocando el deterioro del mismo. Por lo que esta costumbre ha preocupado a las autoridades gubernamentales del país, que han decidido disminuir el impacto negativo (contaminación) generado sobre el agua superficial con la instalación de plantas de tratamiento de aguas residuales.

El Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Tena ha implementado una planta de Tratamiento de aguas Residuales en el barrio Tereré del Cantón Tena, Provincia de Napo, la cual presenta problemas como: incumplimiento de las normas de vertido, costos por habitantes elevados, limitaciones de financiación, escaso personal capacitado y mantenimiento de las instalaciones.

Este estudio se enfocará en la Planta de Tratamiento de Agua Residual del barrio Tereré, la cual sólo trata aproximadamente el agua residual del 40% de la población del cantón Tena, este cantón centra su economía en tres actividades principales las cuales son el turismo, la agricultura y la crianza de animales. Debido a estas actividades el agua tratada al no tener un adecuado tratamiento causa problemas a la flora, fauna y a la población.

De esta problemática nació la necesidad de proponer una alternativa de optimización al funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Agua Residual para disminuir la carga de los contaminantes en el efluente y a la vez el cuerpo receptor de agua dulce reciba un menor impacto ambiental. Como cumplimiento de vertido se utilizarán los límites permisibles de descargas de efluentes, que se encuentran en el “ANEXO 1 CORRESPONDIENTE A NORMAS DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES TULSMA” en el cual se establecen los valores límites máximos permisibles en los vertidos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado. De manera general, se menciona que el agua está contaminada cuando contiene suficientes impurezas para que no sea apta para su uso.

La Planta de Tratamiento de Agua Residual del barrio Tereré del cantón Tena, tipo compacta, fue la primera en ser instalada dentro del cantón en el año 2017. Esta planta trata el agua residual urbana mediante un reactor biológico de membrana el cual trabaja con microorganismos y cuenta principalmente con los siguientes elementos: Reactor Biológico; responsable de la degradación de los contaminantes presentes en el agua residual, Módulo de Membranas; encargado de llevar a cabo la separación física de los sólidos del agua.

Cabe recalcar que el tratamiento de agua residual es una operación clave en la industria de procesos, ya sea para cumplir con normas ambientales o para evitar impactos negativos en los cuerpos receptores de agua, es conveniente que todo ingeniero conozca los fundamentos del tratamiento de aguas residuales y las tecnologías existentes para proponer alternativas de tratamiento de agua residual que permitan cumplir los límites de vertido en los efluentes.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

La entidad pública encargada de la gestión de las aguas residuales de la ciudad es el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Tena el cual por medio de su administración ha implementado una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas en el barrio Tereré el cual está ubicado al noroeste del cantón Tena. Esta PTAR funciona principalmente con un Reactor Biológico de Membranas y fue construido por la empresa PROTECMED para tratar el agua residual del sector urbano específicamente de la zona central y noreste de la ciudad, la cual se recolecta por medio de un sistema unificado de alcantarillado.

Actualmente la Planta de Tratamiento de Agua Residual Tereré no está operando de forma óptima por lo cual se ha visto comprometida la calidad del efluente y por ende el agua del río Misahullí, el cual es el cuerpo receptor. La calidad del efluente de esta planta de tratamiento es verificada por el Ministerio del Ambiente y debe cumplir con ciertos parámetros físicos y químicos establecidos en la “TABLA 10 (Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce) DEL ANEXO 1 CORRESPONDIENTES A NORMAS DE CALIDAD AMBIENTAL Y DESCARGAS DE EFLUENTES TULSMA”. (Pérez, 2017)

Generalmente se puede mencionar que la Planta de Tratamiento de Agua Residual no cuenta con un control y seguimiento adecuado, además de no existir una capacitación adecuada y permanente a los operadores de la PTAR.

Por otro lado, no se tiene un adecuado control del caudal de agua residual que ingresa a la PTAR debido a que se recolecta por medio de un sistema unificado de alcantarillado, además ciertos parámetros de diseño para cada operación o proceso unitario de la planta no son tomados en cuenta, todo lo mencionado provoca que la planta de tratamiento en cierto tiempo colapse y no se dé una correcta depuración provocando así que el efluente, el cual es vertido hacia un cuerpo de agua dulce no cumpla con los límites máximos permitidos para los contaminantes.

En este trabajo de investigación se plantea el modelado y optimización de las condiciones operativas del Reactor Biológico de Membrana de la Planta de Tratamiento del barrio Tereré del cantón Tena, en base a la situación actual el objetivo es incrementar la remoción de materia orgánica en el reactor biológico de membrana mejorando la calidad del efluente vertido al río y

minimizar el contenido de nutrientes que provocan efectos de eutrofización y desórdenes en los ecosistemas.

1.2. Justificación

El presente trabajo tiene como objetivo principal mejorar la remoción de materia orgánica y nutrientes del reactor biológico de membrana de la Planta de Tratamiento de Agua Residual del barrio Tereré del cantón Tena. Esta necesidad se justifica en la importancia de optimizar el sistema que actualmente elimina aproximadamente el 60% de materia orgánica y nutrientes representada como Demanda Química de Oxígeno, Demanda biológica de Oxígeno en cinco días, Sólidos en suspensión totales, Nitrógeno Total y Fósforo Total.

Este trabajo busca establecer la alternativa más adecuada para la optimización de la planta de tratamiento de agua residual con el fin de cumplir con los requisitos de vertido establecidos en la normativa vigente, mediante el uso del software WEST+ 2023 (Student Labkit), con el cual se analizarán las variables de operación y las características del agua residual urbana y también se establecerán las condiciones óptimas de operación del reactor biológico de membrana.

Para las simulaciones se utilizarán las variables de operación (tiempo de retención hidráulico, concentración de oxígeno disuelto, entre otros).

Por consiguiente, en el presente trabajo se realizará la modelación del estado actual de la PTAR en el software WEST+ 2023, el cual será calibrado con los parámetros fisicoquímicos de entrada del agua residual, del proceso y del efluente de la PTAR. Una vez calibrado el software se realizarán diferentes simulaciones para encontrar las variables de operación óptimas del funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Agua Residual que permitan mejorar la calidad del efluente para cumplir con la normativa vigente del Ministerio del Ambiente y proteger el ecosistema acuático del río Misahuallí.

La finalidad del trabajo es que el vertido del efluente de la PTAR al río Misahuallí no ocasiona un desequilibrio ecológico en el ecosistema acuático como por ejemplo la eutrofización.

Se puede mejorar la calidad del agua y recuperar al río Misahuallí para que los pobladores de la ciudad del Tena puedan utilizarlo como área recreativa e incluso puedan aprovecharlo para el consumo humano.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Modelar y Optimizar el Reactor Biológico de Membrana de la Planta de Tratamiento de Aguas Residual de la ciudad de Tena.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar el estado actual de la planta de tratamiento de agua residual con el objeto de conocer las operaciones unitarias con falencias y las variables operacionales del proceso biológico.
- Calibrar el software WEST+ 2023 utilizando los parámetros físicos y químicos de ingreso y salida del agua residual en el reactor biológico de membranas para demostrar su aplicabilidad al simular los siguientes parámetros: demanda química de oxígeno, sólidos totales suspendidos y nitrógeno amoniacal.
- Simular diferentes alternativas modificando una variable de operación del reactor biológico de membranas para obtener el modelo óptimo y económico con el cual mejore la calidad de su efluente.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. La ciudad de Tena

La ciudad de Tena es un cantón de la provincia de Napo, la cual tiene una superficie de 3897.41 km^2 . Está conformada por 7 parroquias rurales las cuales son: Ahuano con 416.85 km^2 , Chontapunta con 971.71 km^2 , Pano con 798.56 km^2 , Puerto Misahullí con 348.40 km^2 , Puerto Napo con 214.97 km^2 , San Juan de Muyuna con 162.87 km^2 , Tálag con 918.31 km^2 y la parroquia urbana Tena con 77.69 km^2 . (GAD Municipal de Tena, 2019)

La población en el año 2010 del cantón fue de 60.880 habitantes, con una densidad poblacional de 0.15 hab/día, siendo en porcentaje mayoritariamente rural con el 61.82% (35.573 hab) y urbana con el 38.28% (23.307 hab). El 48.72% de la superficie total del cantón corresponde a áreas declaradas por parte del estado con algún nivel de conservación. En el cantón el 81.25 % de su superficie (316.668,64 ha), corresponden a coberturas de vegetación natural no alteradas que incluyen a las áreas de conservación estatal. Del total de la superficie del cantón apenas el 12,14% del área presenta condiciones adecuadas para realizar actividades agrícolas sin limitaciones, el 2,54% con ciertas limitaciones y el 0,06% corresponden a las zonas urbanas. (GAD Municipal de Tena, 2019)

El cantón Tena se ubica en un rango altitudinal que va desde los 800 msnm en la parroquia Chontapunta hasta los 4.840 msnm. La temperatura fluctúa entre los 2 grados centígrados hasta los 26 grados centígrados, con precipitaciones anuales de entre 800 mm en el punto más alto y 4.000 mm en la afluencia del río Iloculin en el Jatunyacu. (GAD Municipal de Tena, 2019)

El cantón Tena se encuentra localizado en el centro occidente de la región Amazónica ecuatoriana al sur de la provincia de Napo, sobre las vertientes externas de la Cordillera de los Andes hacia las formaciones cordilleranas subandinas extendiéndose a la llanura amazónica en altitudes que varían entre los 4840 msnm en los páramos andinos y descienden a los 260 msnm. Su superficie cubre una extensión total del 3897.41 km^2 . (GAD Municipal de Tena, 2019)

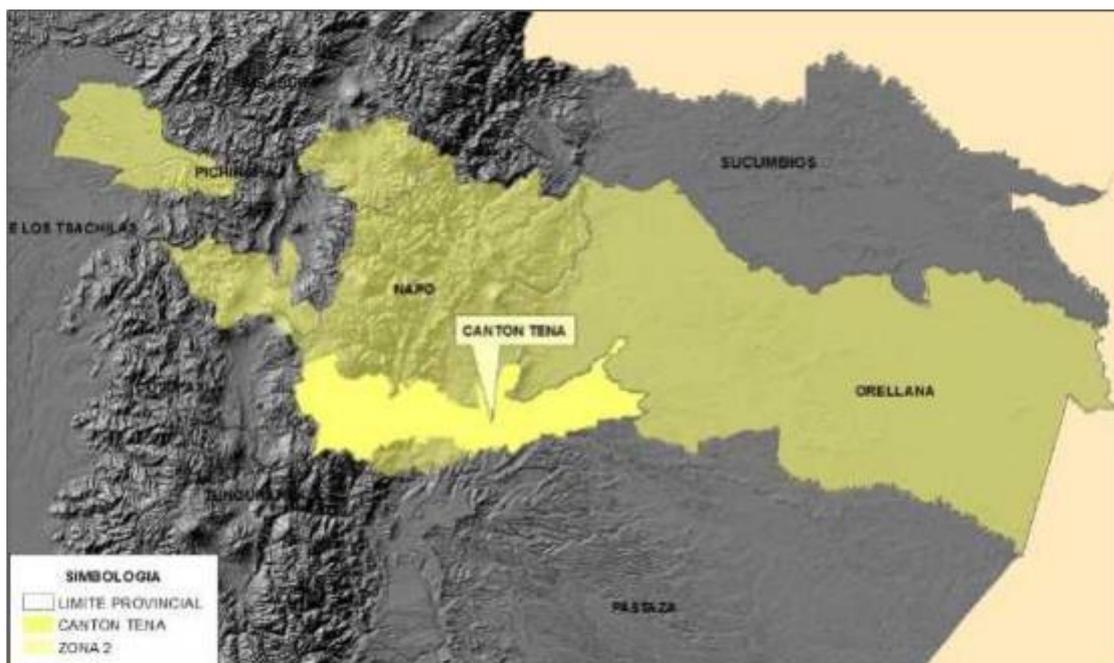


Ilustración 1-2: Mapa de ubicación del Cantón Tena dentro de la zona de planificación 2

Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Tena. (GAD Municipal de Tena, 2019)

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

El barrio Tereré en el cual se ubica la Planta de Tratamiento de Agua Residual se encuentra en la zona Noreste de la ciudad de Tena.

2.2. Degradación de recursos hídricos

2.2.1. Descargas de desechos líquidos

La degradación de los cuerpos de agua está vinculada con la eliminación de los desechos sólidos y líquidos en el cantón Tena, que en el caso del agua residual se concentran en las cabeceras parroquiales y en la capital provincial como consecuencia del del crecimiento normal de estos centros urbanos. (GAD Municipal de Tena, 2019)

La zona urbana de la ciudad cuenta con dos plantas de tratamiento de agua residual, una ubicada en el barrio Tereré y otra en el barrio Palandacocha, aun con estas dos PTAR no se puede tratar el 100% del agua residual producida en la ciudad de Tena. En algunos lugares de la ciudad las aguas servidas son desechadas de forma clandestina a los ríos y esteros de tal forma que los ríos más afectados son el Pano, Tena y Misahullí, también existen esteros contaminados como lo son el estero Tamiayacu, Mamallacta y Paushiyacu. Los Técnicos de Laboratorio del municipio del cantón Tena han descubierto coliformes fecales en el río Pano (en el área de la ciudad de Tena), pero el nivel de capacidad de carga es todavía aceptable debido a la oxigenación del agua; sin

embargo, esta se convierte en una de las causas de la presencia de las EDAS (enfermedades diarreico agudas) especialmente en los niños menores de 2 años, una de las principales causas de morbilidad en Tena. (GAD Municipal de Tena, 2019)

Una característica principal de la red recolección de agua residual urbana en la cual se agudiza el problema de la eliminación y tratamiento de aguas residuales es que en varios sectores de la ciudad el sistema de alcantarillado Sanitario y Pluvial es combinado debido a que en las construcciones de las viviendas existen cajas de revisión donde se mezclan el agua pluvial, aguas grises y negras. (GAD Municipal de Tena, 2019)

2.2.2. Contaminación de las arterias fluviales por aguas servidas

Sin lugar a duda el vertedero directo de aguas residuales es el principal causante de la actual contaminación de los ríos. Las causantes de la contaminación de las aguas de los ríos en la ciudad de Tena son: La descarga directa sin tratamiento previo de las aguas residuales urbanas, la contaminación de los acuíferos por infiltración de lixiviados del vertedero municipal de los residuos sólidos actuales debido a su ubicación y el vertedero descontrolado de residuos especiales como, por ejemplo, los aceites de motores. (GAD Municipal de Tena, 2019)

2.2.3. Descargas de aguas servidas

La ciudad de Tena tiene un funcionamiento de dos sistemas de alcantarillado: sanitario y pluvial, los que mismo que tienen como cuerpos receptores finales a los ríos Tena, Pano y Misahulli, que rodean o cruzan la ciudad, así como los 5 esteros principales: Mamallacta, Paushiyacu, las Yerbitas, Las Palmas, Pepita de Oro que la recorren y desembocan en estos mismos ríos. En forma general se estima que las redes de alcantarillado en porcentaje se dividen en 60% sanitaria, 20% pluvial y 20% combinada en el año 2010. (GAD Municipal de Tena, 2019)

De acuerdo con el número de descargas en operación, se define un total de 65 redes de alcantarillado distribuidas a lo largo de los cuerpos receptores de los ríos Tena, Pano y Misahullí según la siguiente tabla.

Tabla 1-2: Tipos de descargas de aguas residuales, sistemas de alcantarillado de Tena.

Cuerpo de Agua	Sanitaria	Pluvial	Combinada	Total	Cajas de recolección de aguas servidas
Río Pano	2	3	0	5	4
Río Tena	5	2	4	11	10

Río Misahuallí	5	0	0	5	3
Estero Mamallacta	4	4	2	10	10
Estero Pepita de Oro	3	0	0	3	3
Estero Las Palmas	7	4	2	13	8
Estero Paushiyacu	18	6	5	29	18
Total	44	19	13	76	56

Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Tena. (GAD Municipal de Tena, 2019)

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

Se muestra entonces que existe un mayor número de descargas que sitios de recolección de aguas servidas en casi todos los cuerpos de agua receptores en la ciudad, en especial se hace notar el déficit de sitios de tratamiento en el estero Paushiyacu. Se debe recalcar también que los puntos de tratamiento (cajas de recolección de aguas servidas) se dividen de acuerdo a la función por tipología es decir que existen fosas sépticas con y sin by-pass muchas de las cuales se encuentran saturadas, deterioradas y cerca de áreas consolidadas. (GAD Municipal de Tena, 2019)

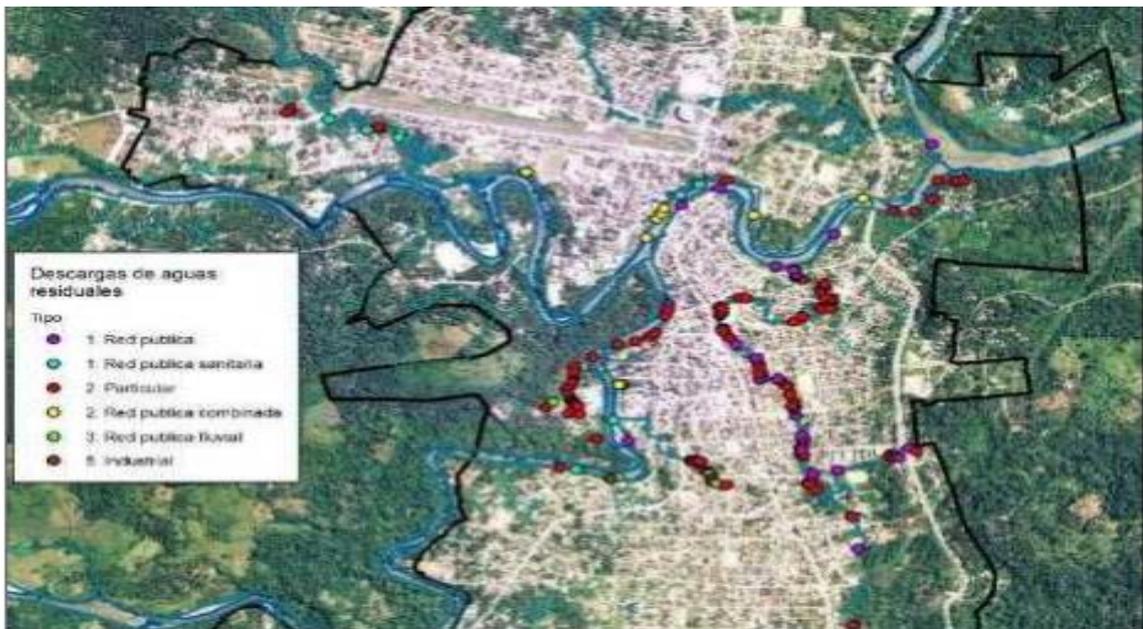


Ilustración 2-2: Ubicación de las descargas de aguas residuales en la ciudad de Tena

Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Tena. (GAD Municipal de Tena, 2019)

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

2.3. Efectos de la contaminación del agua

2.3.1. Efectos sobre la salud

El efecto que tiene la contaminación del agua sobre los habitantes de la ciudad de Tena se basa en la tasa de morbilidad por E.D.A, que es más del 30%. Este dato puede ser en realidad muy

superior ya que solamente están contabilizados los casos atendidos por las unidades de la salud que son aproximadamente el 50% de la población. (GAD Municipal de Tena, 2019)

2.3.2. Efectos sobre el medio ambiente

La importancia por biodiversidad y tamaño de los ecosistemas presentes en esta parte del planeta debería influir en la proliferación de actuaciones que detengan el crecimiento de los diferentes lugares de contaminación. De acuerdo con un estudio de calidad de agua desarrollado en el año 2007 por el Ing. Patricio Gómez Zaldumbide dentro del proyecto “Inventario y diagnóstico de los recursos hídricos de la provincia de Napo” y a sus diversos análisis de muestras de agua se indica que en los 3 tramos de los ríos que atraviesan la ciudad de Tena tienen concentraciones de Arsénico, DBO_5 y oxígeno disuelto que se encuentran fuera de los límites permitidos por la normativa. (GAD Municipal de Tena, 2019)

2.3.3. Efectos sobre la calidad de vida

En el cantón Tena los habitantes tienen una relación muy estrecha con los ríos, relación que poco a poco va desapareciendo debido a que los habitantes ya no utilizan el río como una zona lúdica para baño, relajación o diversión este recurso hídrico es más bien utilizado para funciones como lavandería o para higienizarse. La contaminación de los ríos implicará en un futuro no muy lejano el tener que renunciar a todas estas actividades de entretenimiento. (GAD Municipal de Tena, 2019)

2.3.4. Efectos sobre el desarrollo económico

Gran parte de las expectativas de mejora de la ciudad de Tena están en el enorme potencial turístico que esta zona presenta debido a la riqueza ecológica de sus tierras y a la riqueza antropológica de sus habitantes. Uno de los atractivos turísticos de la ciudad son principalmente los ríos en los cuales se pueden realizar una gran variedad de actividades como deporte, pesca y uso del agua para consumo de la población, por ello se puede mencionar que mantener los ríos limpios va a ser de gran importancia para mantener intacto este potencial turístico. (GAD Municipal de Tena, 2019)

Es importante recalcar que el crecimiento medio anual de la población en el área urbana de Tena es del 9%, además esta cifra aumenta en ciertas temporadas debido al flujo de población desde las grandes ciudades. (GAD Municipal de Tena, 2019)

2.4. Planta de Tratamiento de agua Residual Tereré

2.4.1. Marco legal

En el Ecuador el Ministerio del Ambiente es la entidad pública encargada de crear diversas leyes, decretos, ordenanzas y resoluciones con el fin de defender la salud de las personas y conservar los ecosistemas acuáticos estos son las principales razones por las cuales el agua residual debe ser tratada. (TULSMA, 2014)

De acuerdo, al Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente con la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua publicado en el 28 de noviembre del 2014, el ser humano tiene derecho a disponer de un agua con características fisicoquímicas y biológicas adecuadas para un consumo. Sin embargo, la utilización del agua potable genera agua residual, la cual debe ser tratada adecuadamente para cumplir con la calidad necesaria y ser vertida en un medio receptor o reutilizada para determinado fin. (TULSMA, 2014)

A continuación, se detallan los límites máximos de vertido del efluente de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Tereré al estero Tamiayacu afluente del río Misahuallí.

Tabla 2-2: 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	1000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100ml	Remoción > al 99%

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo Permisible
Color Real	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	50,0
Demanda Química de Oxígeno	DBO	mg/l	100,0
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	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		5-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendedos Totales	SST	mg/l	80,00
Sólidos Totales	ST	mg/l	1600
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	1000
Sulfuros	S ⁻²	mg/l	0,5
Temperatura	°C		<35
Tensoactivos	Activas el azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de Carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

Fuente: Tabla 10 del Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua. (TULSMA, 2014)

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

2.4.2. Descripción de la planta de tratamiento

La planta de Tratamiento de agua Residual Tereré está diseñada para que el agua residual urbana fluya a través de diferentes operaciones y procesos unitarios los cuales cumplen la función de

disminuir la carga de contaminación del agua de entrada y cumplir los límites máximos de vertido. (Protecmed, 2017)

2.4.2.1. Desbastes de gruesos

El agua residual llega a un pozo de gruesos mediante un colector donde ocurre el proceso de decantación natural de los sólidos de mayor tamaño, cuya extracción se realiza mediante una cuchara bivalva de 100 litros de capacidad suficiente para extraer los sólidos gruesos que se acumulan en este pozo. Este pozo cuenta con dos tuberías de rebose, una en la primera cámara de gruesos y la otra en el pozo de bombeo. Ambos by-passes se dirigen a una arqueta de reuniones de corrientes, la cual tiene un colector de salida a cauce. A este pozo también llega un colector de las aguas residuales sanitarias producidas en la misma PTAR y el rebose del tanque de homogenización si este en alguna ocasión se está desbordando. (Protecmed, 2017)

La cuchara bivalva tras cumplir su función es elevada y reposa por un tiempo para eliminar el agua recogida del tanque de gruesos, dichos residuos encontrados son depositados en un contenedor de almacenamiento. (Protecmed, 2017)

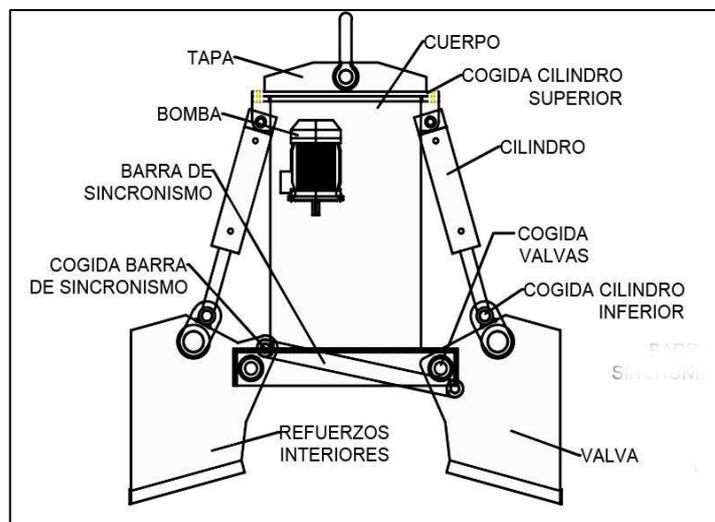


Ilustración 3-2: Cuchara Bivalva

Fuente: Hidrometálica. (Romero, 2018)

2.4.2.2. Pozo de elevación

El agua para tratar se dirige al pozo de bombeo pasando por una reja manual con una inclinación de 90° la cual tiene una distancia entre perfiles de 50 mm con el objetivo de proteger el correcto funcionamiento de las bombas debido a que estas tienen un paso de sólidos de 80 mm. (Protecmed, 2017)

El pozo de bombeo cuenta con 3 bombas centrifugas sumergibles en operación y tiene una bomba de reserva guardada. Estas bombas fueron dimensionadas para poder absorber la caudal punta de diseño, cada bomba tiene un caudal de $90 \text{ m}^3/\text{h}$ a una altura de 11,50 m.c.a. Este bombeo impulsa al afluente a la planta de pre-tratamiento compacto que está situado encima de una estructura para que a la salida del efluente caiga por gravedad al tanque de homogenización. En la salida del tanque se encuentra el caudalímetro con el cual se podrá controlar el caudal de alimentación del equipo de pretratamiento compacto. (Protecmed, 2017)

2.4.2.3. Equipo de pretratamiento Compacto (Desbaste-Desarenado-Desengrasado)

Como equipo de desbaste tiene una planta de pretratamiento compacto diseñada para tratar un caudal máximo de $270 \text{ m}^3/\text{h}$. Este equipo modular incorpora los siguientes procesos unitarios: tamiz de desbaste de 3 mm, desarenado y desengrasado mediante una entrada de aire con una turbina de canal lateral de $35 \text{ m}^3/\text{h}$ a 0,5 bar necesaria para la separación de la materia orgánica y las grasas. (Protecmed, 2017)

El equipo de pretratamiento compacto realiza las siguientes operaciones, el desbaste es en donde ocurre la separación de sólidos contenidos en el agua mediante un tamiz con luz de paso de 3 mm, el desarenado es en donde sucede la separación de arenas y elementos pesados, el desengrasado es el encargado de separar las grasas, aceites y marial flotante. (Protecmed, 2017)

El tamizando se realiza con un tamiz de tipo sinfín inclinado con cepillos de limpieza de la malla filtrante los cuales están fijados al borde de las espiras que forman el sinfín. Con un sistema opcional de compactación y deshidratado de residuos. El desarenado se realiza con la ayuda de dos tornillos sinfín, uno de ellos está colocado en posición horizontal a lo largo de toda la longitud del fondo de la cuba metálica, y otro se encuentra en una posición inclinada el cual recibe las arenas del primer sinfín y las eleva hasta la descarga. (Protecmed, 2017)

2.4.2.4. Tanque de homogeneización

El tanque de homogeneización cumple dos funciones. La primera y más importante es la de homogeneizar las diferentes corrientes, amortiguando puntas de caudal y de carga contaminante de entrada al reactor biológico. (Protecmed, 2017)

La segunda función es reducir la carga contaminante (DBO_5) del agua residual por aportación de oxígeno. El tanque de homogeneización cuenta con un aireador sumergible capaz de suministrar un caudal de $140 \text{ Nm}^3/\text{h}$. El aireador además de proporcionar oxígeno para eliminar la DBO_5 ,

evita la aparición de olores por procesos de descomposición anaeróbica de la materia orgánica del agua residual dentro del tanque. La agitación generada en el tanque por la adición de aire evita la sedimentación de las partículas en el mismo. Las ventajas que aporta este proceso son las siguientes: Limitación de las puntas de carga orgánica en los procesos biológicos, o cualquier otro tratamiento posterior, posibilidad de alimentar de manera continuada al sistema biológico lo cual mejora el rendimiento y disminuye los consumos de energía debidos a las puntas de carga hidráulica. (Protecmed, 2017)

El volumen útil de este tanque es de $588m^3$, el nivel mínimo del tanque puede fijarse a una altura que permita que se mantenga 1/3 a 2/3 de la capacidad total del tanque, con la finalidad de diluir el caudal de entrada con el agua almacenada y reducir las puntas de carga contaminante. El tiempo de retención de las aguas de este tanque depende de su propio volumen y del caudal entrante. En lo posible se busca que el agua este un mayor tiempo de retención para obtener una mayor degradación de las cargas contaminantes. (Protecmed, 2017)

2.4.2.5. Reactor biológico

El reactor biológico tiene como objetivos la estabilización y degradación de materia orgánica, la eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables y la nitrificación y desnitrificación del nitrógeno. Los procesos biológicos se realizan mediante microorganismos que actúan sobre la materia orgánica e inorgánica, suspendida y coloidal existente en el agua residual, transformándola en gases y materia celular flotante, que puede separarse fácilmente mediante sedimentación o filtración. (Protecmed, 2017)

El tipo de proceso biológico utilizado en esta instalación es el de fangos activos, dentro del cual pueden distinguirse dos operaciones diferenciadas las cuales son oxidación biológica y la separación sólido-líquido. (Protecmed, 2017)

La primera parte tiene lugar en el reactor biológico (parte aeróbica) en donde se provoca el desarrollo de un cultivo biológico formado por gran número de microorganismos agrupados en flóculos (fangos activados). La población bacteria se mantiene en un determinado nivel de concentración de sólidos, para llegar a un equilibrio entre la carga orgánica a eliminar y la cantidad de microorganismos existentes en el reactor. El reactor se alimenta con el agua residual a depurar.

La concentración debe encontrarse entre 10.000 y 12.000 mg/l para poder permitir un correcto funcionamiento de las membranas. El proceso de fangos activados necesita para su desarrollo un

sistema de aireación y agitación, que provoca el oxígeno necesario para la acción depuradora de las bacterias aerobias, evita la sedimentación de los flóculos en el reactor y permite la homogenización de fangos activados. Una vez que la materia orgánica haya sido suficientemente oxidada lo que necesita es un tiempo de contacto suficiente, el licor de la mezcla se filtra mediante los módulos de membranas sumergidas, hasta que se separen el agua depuradora y los fangos. (Protecmed, 2017)

Los parámetros más importantes a controlar para mantener las condiciones óptimas del desarrollo biológico son el oxígeno disuelto (OD), la temperatura y el pH los cuales deben estar dentro de los márgenes indicados en la siguiente tabla.

Tabla 3-2: Procesos Óptimos del Reactor Biológico

Parámetros	Unidades
Ph biológico	7-8,5
MLSS (mg/l)	5,000-20,000
Viscosidad del Fango (mPa.sec)	<100
Oxígeno Disuelto (OD)(mg/l)	1,5-3
Temperatura(°C)	15-35

Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento de la EDAR de Tereré y Palandacocha tipo BRM. (Protecmed, 2017)

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

Fuera de estos márgenes, aunque pueda existir actividad biológica, la cinética de eliminación de la materia orgánica disminuye. Incluso dependiendo de los valores de estos parámetros los microorganismos encargados, sin embargo, más peligroso que trabajar fuera de los márgenes recomendados, es el cambio brusco en las condiciones de trabajo en el tratamiento biológico, puesto que puede impedir la adaptación del fango activado a las nuevas condiciones provocando su muerte. (Protecmed, 2017)

La filtración de las membranas depende en gran parte del funcionamiento del proceso biológico. Si el proceso biológico no se encuentra bien, es probable que la filtrabilidad del fango se reduzca. (Protecmed, 2017)

Tabla 4-2: Valores de procesos óptimos del fango biológico

Parámetros	Unidades
Concentración de fangos en el reactor (mg/l)	10.000-12.000
Filtrabilidad del Fango (ml)	> 5ml
Presión Transmembrana	>-0,35 bar
Caudal de Tratamiento	< a Caudal de Diseño

Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento de la EDAR de Tereré y Palandacocha tipo BRM. (Protecmed, 2017)

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

- *Fase anóxica*

La desnitrificación biológica parte del principio de que ciertas bacterias, bajo ciertas condiciones, pueden transformar el nitrógeno, presente en forma de nitratos, en nitrógeno elemental. La desnitrificación se produce por la acción de bacterias heterótrofas facultativas, que en ambiente anóxico son capaces de utilizar el oxígeno de los nitratos para oxidar carbón y producir CO_2 , es importante recalcar que el carbón se había oxidado para poder después convertir el nitrógeno orgánico en amoníaco. (Protecmed, 2017)

Es importante mantener una buena agitación en la cámara anóxica, por lo cual la planta cuenta con un agitador sumergible de 1, 99 kW de potencia instalada suspendida en una tubería de soporte que facilita su extracción sin necesidad de vaciar el depósito. Con la finalidad de controlar el rendimiento en la eliminación de nitratos la planta tiene en cada cámara una sonda que tiene dos salidas de medida, la de redox y señal de pH (Protecmed, 2017). Los valores óptimos de estas señales para asegurar un corrector proceso de desnitrificación son:

Tabla 5-2: Valores de procesos óptimos de la cámara anóxica

Parámetros	Unidades
pH Óptimo en Cámara Anóxica	7,5-8,5
Redox Anóxica (mV)	-50 a + 50

Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento de la EDAR de Tereré y Palandacocha tipo BRM. (Protecmed, 2017)

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

El agua de las cámaras anóxicas pasa por gravedad a las cámaras de preaireación.

- *Fase de oxidación*

En esa fase se oxida completamente la materia orgánica biodegradable presente en las aguas residuales. Para el correcto desarrollo de este proceso, es necesario que la concentración de oxígeno disuelto en su interior se mantenga por encima de 2 miligramos por litro. En la planta de tratamiento esta aportación de oxígeno se lleva a cabo a través de tres soplantes de émbolos rotativos. (Protecmed, 2017)

- *Tratamiento de microfiltración*

Cada cámara de membranas cuenta con cinco módulos de Membranas de Microfiltración. Cada módulo unitariamente está formado por 400 cartuchos, distribuidos en dos pisos de 200 de cartuchos cada uno. Cada cartucho de membranas tiene su propio tubo de aspiración que conecta

con el colector de permeado. La carcasa exterior del módulo que contiene los cartuchos, así como el bastidor de soporte del conjunto se ejecuta en acero inoxidable. (Protecmed, 2017)

A continuación, se adjuntan las características que tiene el fango en la cámara de membranas:

Tabla 6-2: Parámetros de procesos óptimos en las cámaras de membranas

Parámetros	Unidades
Oxígeno Disuelto (OD)(mg/l)	1 o más
Rango permitido de MLSS (mg/l)	5,000 a 15,000
Rango recomendado de MLSS (mg/l)	8,000 a 12,000
Viscosidad (mPa.S)	100 o menos
Filtrabilidad del Fango (ml/ 5min)	10 o más

Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento de la EDAR de Tereré y Palandacocha tipo BRM. (Protecmed, 2017)

Realizada por: Rivadeneira A., 2023

A continuación, se definen los caudales medios y máximos que puede tratar la Planta de Tratamiento de Agua Residual los cuales son los siguientes:

Tabla 7-2: Caudales teóricos tratamiento de membranas según flujos de permeación

Caudal medio dos líneas en funcionamiento (m^3/d)	4,300
Caudal punta dos líneas en funcionamiento (m^3/d)	6,500
Caudal medio una línea en funcionamiento (m^3/d)	2,150
Caudal punta una línea en funcionamiento (m^3/d)	3,250

Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento de la EDAR de Tereré y Palandacocha tipo BRM. (Protecmed, 2017)

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

Estos caudales salen en función del flujo de permeación teórico que se estima a 20°C, cabe recalcar que el caudal medio diario de diseño de la PTAR es de $4.320 m^3/día$, así que esta planta trabaja a condiciones ideales debido a que el flujo de permeación podría trabajar a un caudal punta durante 6 horas al día sin problema. (Protecmed, 2017)

2.4.3. Estaciones depuradoras

Las aguas residuales que son enviadas a los lechos naturales contienen colorantes artificiales, sales y materia orgánica. Estas aguas se caracterizan midiendo algunos parámetros como el pH, sólidos disueltos totales, fosforo total, nitrógeno total, demanda biológica de oxígeno y demanda química de oxígeno. Los sistemas de tratamiento del agua residual principalmente urbana constan de varios procesos físicos, químicos y biológicos que son utilizados para minimizar el impacto ambiental y dar cumplimiento a los requisitos de vertido establecidos en la normativa ambiental

vigente. Las depuradoras por lo general constan 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 el tratamiento terciario (desinfección con cloro, ozono o ultravioleta o filtración por membrana). Para el tratamiento de lodos o fangos se dispone generalmente de un proceso denominado espesado por flotación, digestión anaerobia (la estabilización del fango) y su posterior deshidratación donde la tercera parte de agua ha sido separada del fango permitiendo el transporte de estos. Los componentes sobrenadantes generados en el espesado y deshidratación del fango se recirculan al inicio del proceso de la planta, ya que existe una línea sobrenadante la cual permite tratar específicamente la eliminación o recuperación de nutrientes.

Los fangos activados convencionales disponen generalmente 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 en el sistema (purga de fangos en exceso) que luego pasara a la línea de fangos para su estabilización, la otra parte se recircula al reactor para mantener la población bacteriana en el sistema de la planta de tratamiento. El proceso convencional de fangos activados funciona bajo tiempos de retención celular medios debido a esto los fangos necesitan de una digestión posterior.

Por otro lado, el proceso de oxidación total, el cual es una variante de los fangos activados, funciona con valores de tiempos de retención elevados, debido a esto todos los microorganismos presentes compiten por el alimento existente utilizando su propia masa celular. Esta situación da lugar a un efluente altamente tratado con una producción de fangos baja. Por medio del elevado tiempo de retención celular el fango es estable dentro del reactor biológico, por lo tanto, las etapas de espesamiento y deshidratación se darán de una manera correcta. (Melo, 2016)

2.4.4. Alternativas de diseño para las plantas de tratamiento de agua residual

Las tecnologías principalmente se identifican de acuerdo con el tamaño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y a la caracterización física, química y microbiológica del agua a tratar. Dentro de la IWA (International Water Association). Diferentes grupos de profesionales se han especializado en el diseño, operación y costos de las Plantas de Tratamiento clasificadas de acuerdo con su magnitud es decir en plantas de tratamiento grandes, medianas y pequeñas. (Teodosiu, 2020)

2.5. Bases teóricas

2.5.1. Caracterización del agua residual

Es importante conocer el fraccionamiento de la materia orgánica y los nutrientes presentes en el agua residual para identificar y cuantificar las fracciones solubles y suspendidas según los ensayos de laboratorio.

2.5.1.1. Fraccionamiento de la materia orgánica, DQO

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) representa la cantidad de sustrato presente en el influente por tal razón es una medida indirecta y cuantificable de la materia orgánica. La DQO se mide como la cantidad de oxígeno necesario para oxidar químicamente la materia orgánica. La materia orgánica presente en el agua residual urbana se encuentra dividido en fracciones como se indica a continuación. (Ramírez, 2017)

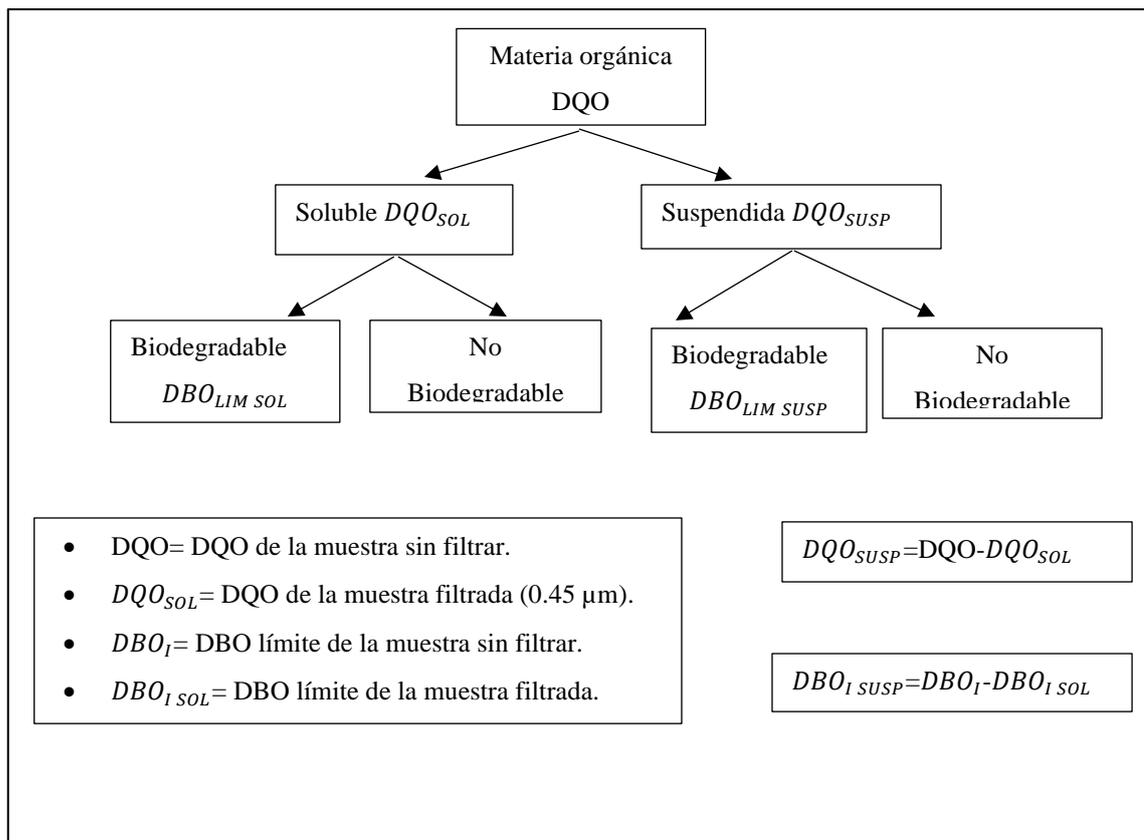


Ilustración 4-2: Fraccionamiento de la materia orgánica DQO

Fuente: Caracterización del Agua- Materia Orgánica. (Asensi, 2015)

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

2.5.1.2. Fraccionamiento del Nitrógeno, N_T

El nitrógeno total (N_T) presente en el agua residual es un componente muy importante ya que forma parte de los procesos biológicos al actuar como nutriente permitiendo que se lleven a cabo los procesos metabólicos. El nitrógeno como nutriente puede presentarse en diferentes formas como amoníaco NH_4^+ , nitratos NO_3^- o nitritos NO_2^- . El nitrógeno total puede subdividirse en las siguientes fracciones. (Ramírez, 2017)

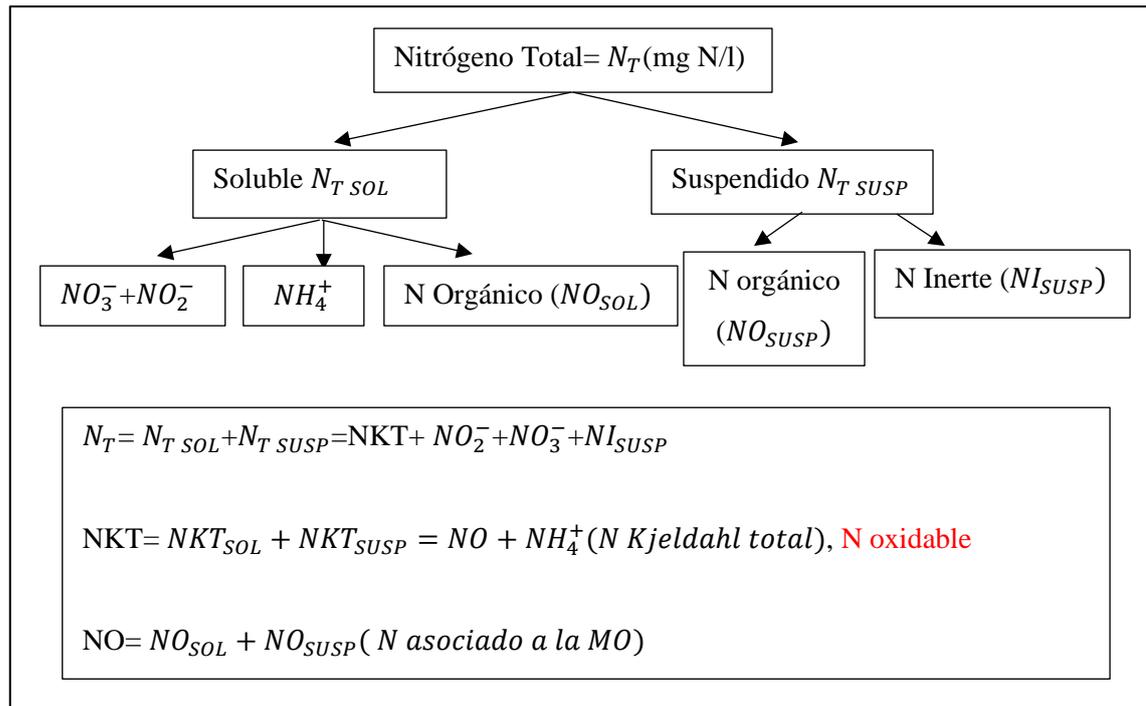


Ilustración 5-2: Fraccionamiento del Nitrógeno total

Fuente: Caracterización del agua-Nitrógeno Total. (Asensi, 2015)

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

2.5.2. Relaciones típicas de agua residual

Existen diversas referencias bibliográficas respecto a las relaciones típicas entre contaminantes en aguas residuales municipales, estos ratios son utilizados para identificar si el influente de la planta de tratamiento de agua residual tiene una contribución significativa de aguas residuales industriales a lo cual se debería prestar mucha atención ya que estos aportes adicionales pueden afectar significativamente los procesos biológicos de las plantas de tratamiento (Henze, 2008).

A continuación, se presentan algunas relaciones típicas obtenidas de dos referencias bibliográficas. (Henze, 2008) & (Rieger, 2013)

Tabla 8-2: Relaciones típicas de agua residual municipal

RATIO	RIEGER	HENZE
DQO/DBO	2,060(2,05 - 3,00)	
SST/DQO	0,503(0,35 - 0,70)	
SSV/SST	0,740(0,30 - 0,90)	
DQO/DBO		1,5 - 2,0
NT/DQO	0,095 (0,05 - 0,15)	
NH4+/NKT	0,684 (0,50 - 0,90)	
DQO fil/DQO	0,343 (0,12 - 0,75)	

Fuente: Guidelines for Using Activated Sludge Models. (Rieger, 2013)

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

2.5.3. Tratamiento de aguas residuales mediante el uso de fangos activados

En las estaciones depuradoras 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, las cuales deben disponer de acuerdo a su caracterización química y biológica. 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. (Nanqi, 2019)

2.5.4. Caracterización de fangos en una PTAR

Los fangos contienen alta cantidad de nutrientes como el nitrógeno, fosforo, potasio, minerales constituyéndose un abono de alta calidad, debido a sus altas concentraciones de contaminantes y microorganismos patógenos, es necesario realizar ensayos periódicos llamados CRETIBB, los cuales caracterizan de forma completa la composición de los fangos. En la actualidad los procesos de tratamiento utilizados como el de los fangos incluyen el proceso de compostaje de húmedo, biorreactores de membrana, reactor anaeróbico seguido de la deshidratación, humedales y la remediación de suelos áridos. (Yangfei, 2020)

2.5.5. Remoción de nitrógeno en estaciones depuradoras

La eliminación del nitrógeno biológico convencional incluye nitrificación autotrófica y desnitrificación heterotrófica bajo condiciones aeróbicas, anóxicas y 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 con alta cantidad de carbono orgánico, debido a que los microorganismos presentan dificultades para adaptarse. (Haimeng, 2020)

2.5.6. *Procesos de nitrificación y desnitrificación*

Estos procesos permiten la eliminación microbiana de amonio. En la etapa de nitrificación el amonio se oxida a nitrógeno en condiciones aeróbicas, mientras que, en la etapa de desnitrificación, el nitrato se reduce a nitrógeno molecular en condiciones anaeróbicas. El óxido nitroso es el mayor contribuyente al calentamiento climático provocado por el hombre después del dióxido de carbono y el metano. (Medhi, 2019)

2.5.7. *Remoción de nitrógeno*

La contaminación por nitrógeno es considerada como un problema a nivel mundial debido a sus efectos negativos en la ecología, salud de los seres vivos y la preservación de la capa de ozono, las Plantas de Tratamiento de Agua Residual que disponen de nitrificación y desnitrificación pueden remover más del 50% de nitrógeno, que ingresa a la planta, lo cual reduce los efectos de eutrofización en los sistemas acuáticos. (Zhang, 2020)

2.5.8. *Software WEST+ 2023*

Es una aplicación de software potente y fácil de usar para la modelación dinámica y la simulación de plantas de tratamiento de aguas residuales y otros tipos de sistemas de la calidad del agua relacionados. Su diseño está dirigido a operadores, ingenieros e investigadores interesados en el estudio de los procesos físicos, biológicos o químicos que tienen lugar en las plantas de tratamiento de aguas residuales, sistemas de alcantarillado y ríos. (Hemmis, 2019)

2.5.9. *Modelo de fangos activados, ASM1*

No es objeto de este trabajo de integración curricular formar parte del manejo de la teoría de los ASM, pero sí para aquellos que poseen conocimiento y experiencia en el campo del proceso de depuración, y todavía desconocen los ASM, iniciarlos sobre el tema (ASM1, que reproduce el proceso de eliminación biológica de materia orgánica y nitrógeno). (Gosálbez, 2005)

El propósito del modelo de fangos activados ASM1 es simular la degradación de la materia orgánica, la nitrificación y desnitrificación. El modelo considera 13 componentes de los cuales 7 son disueltos y 6 son particulados; además, cuenta con 8 procesos que involucra 3 procesos de crecimiento, 3 de decaimiento y 4 de hidrólisis. (Gosálbez, 2005)

La concentración de la alcalinidad no es esencial para el modelo; sin embargo, sirve como información adicional para permitir de manera indirecta riesgos de cambio de pH. (Gosálbez, 2005)

2.5.9.1. Componentes del modelo ASM1

- *Descomposición de la DQO*

Los modelos de fangos activados (ASM) no caracterizan a la concentración de materia orgánica mediante el habitual parámetro de la DBO, si no con la DQO. Esto se debe a la necesidad de trabajar mediante balances de masas, algo que no se puede conseguir trabajando con concentraciones de DBO. Por ello, la DQO resulta el parámetro contaminante de referencia para la medición de cantidad de materia orgánica, debiendo a su vez fraccionarla tal y como rigen los ASM, siendo el caso del modelo ASM1 el cual es utilizado en software, la que aparece en la siguiente Ilustración 6-2: Descomposición de la DQO según el ASM1

6-2: Descomposición de la DQO según el ASM1

(Gosálbez, 2005)

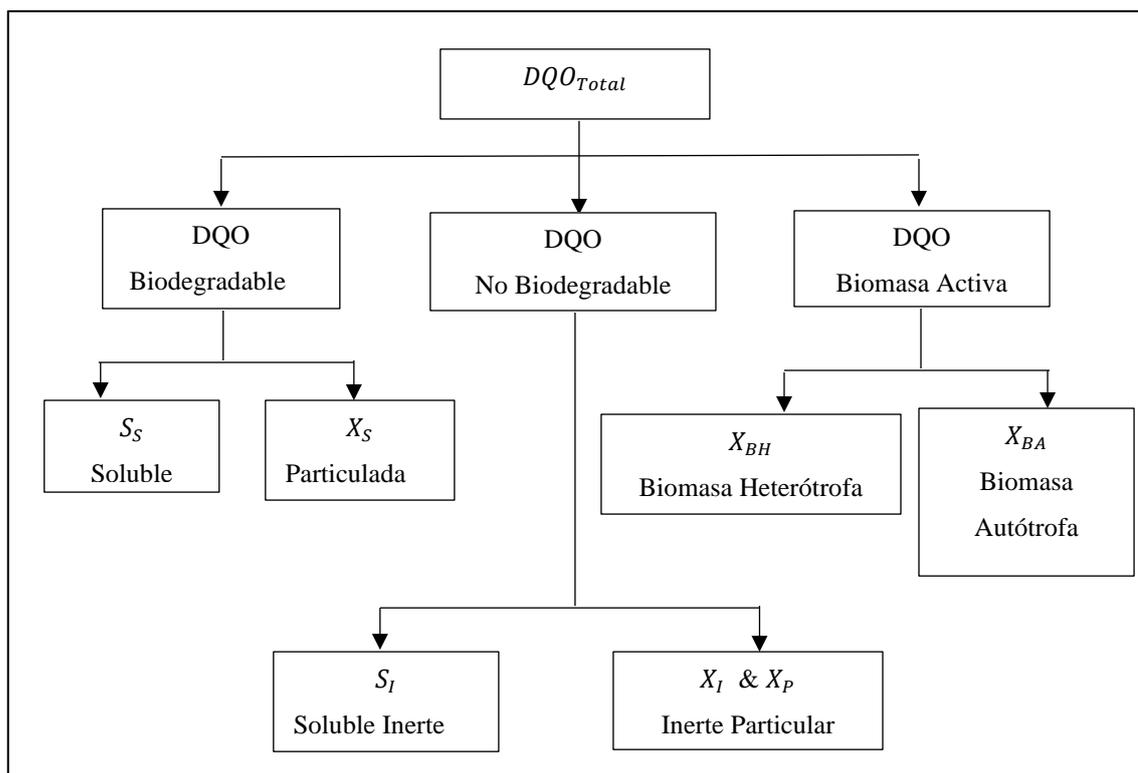


Ilustración 6-2: Descomposición de la DQO según el ASM1

Fuente: Tratamiento Biológico de Aguas Residuales (Principios, modelación y diseño). (Henze, 2008)

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

En la ilustración 4 se observa como el material carbonoso del modelo está dividido en DQO biodegradable (llevará siempre un subíndice “s”), DQO no biodegradable (llevará siempre un

subíndice “i”) y biomasa (las propias bacterias que contabilizan como materia orgánica). (Gosálbez, 2005)

La parte biodegradable está a su vez dividida en una fracción rápidamente biodegradable soluble (S_S , indicando la primera letra “S” que es “soluble”) y en una fracción lentamente biodegradable (X_S , indicando la primera letra “X” que es “particulada”). Se toma como hipótesis que la fracción biodegradable está compuesta de materia orgánica soluble que adsorbe y metaboliza rápidamente por los microorganismos mientras que la fracción X_S compuesta de partículas, coloides y materia orgánica compleja, sufre una hidrólisis enzimática antes de poder ser adsorbida.

Dicho de otra manera, la fracción soluble representada con el símbolo inicial “S” es lo que en primer lugar se comen las bacterias mientras que la particulada es de más lenta asimilación. (Gosálbez, 2005)

La fracción no biodegradable de la DQO está dividida en una fracción soluble inerte (S_I) y en una fracción particulada (X_I). Las dos fracciones no son afectadas por el proceso de depuración biológica, aunque la fracción particulada (X_I), será retenida en la proporción correspondiente en los procesos de decantación de filtración. (Gosálbez, 2005)

La biomasa activa se divide en dos tipos de grupos de microorganismos: heterótrofos (X_{BH}) encargados de la eliminación de materia orgánica y de la desnitrificación, y autótrofos (X_{BA}) encargados de la nitrificación. La variable X_P , está introducida para modelizar la fracción inerte de productos procedentes de la muerte de biomasa.

En la realidad, no se puede diferenciar X_P de X_I en el fango, únicamente simbolizan el origen de cada una de ellas (X_P se produce en el proceso biológico y X_I proviene del propio influente a planta). (Gosálbez, 2005)

- *Descomposición del nitrógeno*

En cuanto a la descomposición del nitrógeno según el modelo de fangos activados ASM1, es la que aparece expuesta en la ilustración 5: (Gosálbez, 2005)

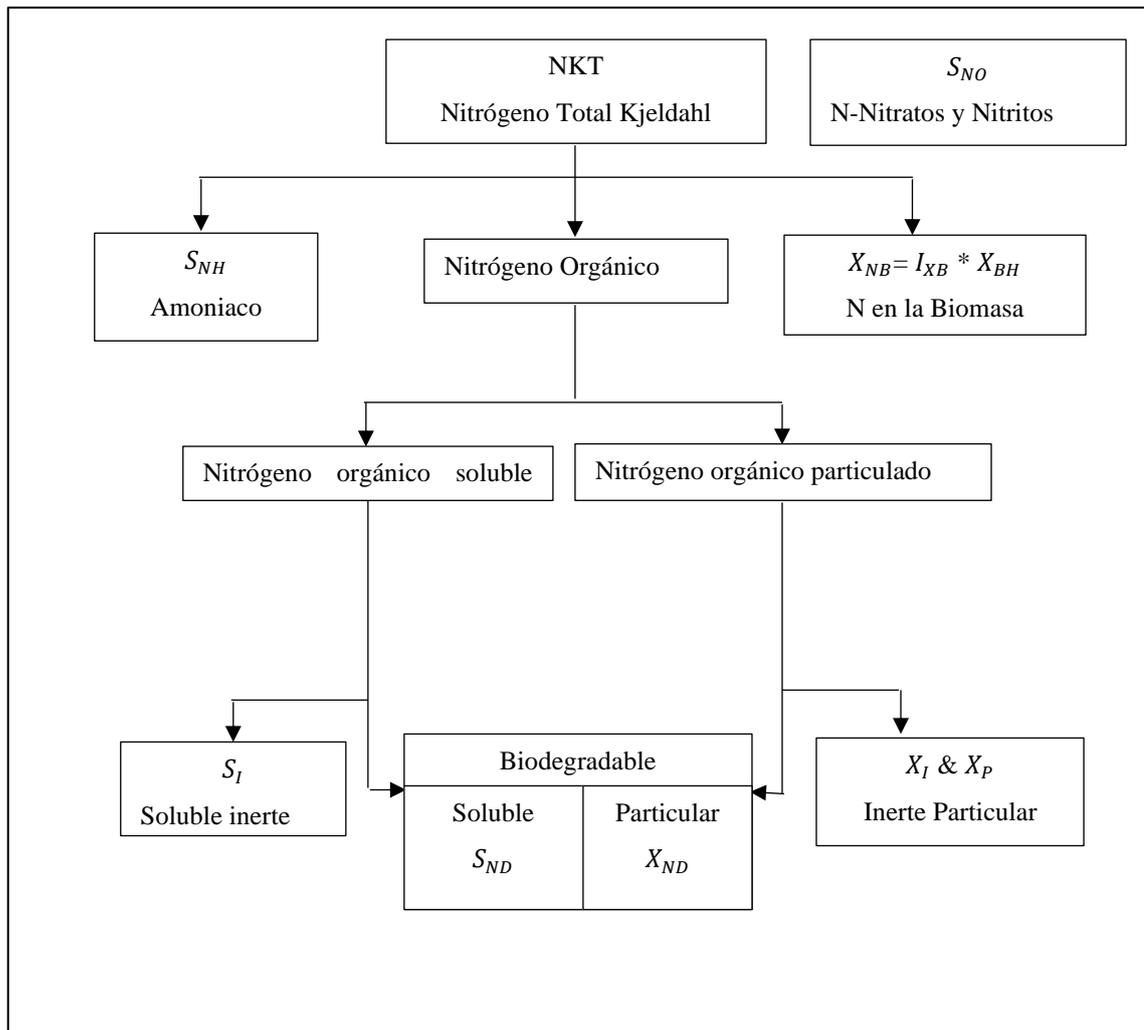


Ilustración 7-2: Descomposición del Nitrógeno según el ASM1

Fuente: Tratamiento Biológico de Aguas Residuales (Principios, modelación y diseño). (Henze, 2008)

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

El nitrógeno total presente en el sistema incluye nitratos y nitritos (representados por S_{ND} y considerando despreciables los nitritos por su baja presencia en el agua en cualquier punto del proceso), el nitrógeno total de Kjeldahl (representado por NKT). (Gosálbez, 2005)

El nitrógeno total de Kjeldahl se fragmenta en nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánico y nitrógeno contenido en la biomasa. De forma idéntica a la materia orgánica (DQO), el nitrógeno orgánico se divide en una fracción soluble y otra particulada, cada una tiene su fracción biodegradable y no biodegradable. (Gosálbez, 2005)

2.5.9.2. Procesos del modelo ASM1

Los procesos considerados en el modelo ASM1 son:

- *Crecimiento aerobio de heterótrofos*

Se considera que S_S interviene en el crecimiento de las bacterias heterótrofas, X_S debe sufrir una hidrólisis antes de transformarse en S_S y ser utilizado por los microorganismos. El crecimiento se modeliza utilizando la estructura del modelo Monod donde puede ser limitantes tanto S_S como S_O (el oxígeno). Este proceso es el que más contribuye en la remoción de DQO, producción de la biomasa nueva y demanda de oxígeno. El nitrógeno amoniacal se consume en el proceso de crecimiento por su incorporación en las células mientras que cambia también la alcalinidad. (Activated Sludge Models ASM1, ASM2 and ASM3, 2002)

- *Crecimiento anóxico de los heterótrofos*

En la ausencia de oxígeno, los organismos heterótrofos son capaces de utilizar los nitratos como aceptor terminal de electrones con S_S como sustrato. Este proceso resulta de una producción suplementaria de biomasa heterótrofa y de nitrógeno gaseoso (desnitrificación). El último resulta de la reducción de los nitratos con su cambio subsecuente en la alcalinidad. Se utilizan las mismas expresiones cinéticas de tipo Monod respecto al sustrato asociado a funciones de activación/desactivación respecto a los nitratos y oxígeno. Se debe utilizar un factor de corrección $n_g (< 1)$ para tener en cuenta que la tasa máxima de crecimiento de los heterótrofos es menor en el medio anóxico. El amoníaco y la alcalinidad sufren también cambios por las mismas razones que las anteriores. (Activated Sludge Models ASM1, ASM2 and ASM3, 2002)

- *Crecimiento aerobio de los autótrofos*

El amoníaco se oxida en nitratos mediante un proceso de nitrificación, dando como resultado la producción de biomasa autótrofa nueva y un consumo adicional de oxígeno. El amoníaco se incorpora también en las células. El proceso tiene un efecto marcado en el balance de la alcalinidad y con el consumo de O_2 mientras que la contribución en la formación de lodo es pequeña debido a que la tasa de crecimiento de los autótrofos es muy baja. (Activated Sludge Models ASM1, ASM2 and ASM3, 2002)

- *Decaimiento de los heterótrofos*

El decaimiento en este modelo incluye todos los fenómenos de lisis, respiración endógena, muerte o depredación. Su tratamiento matemático en el ASM1 es diferente del enfoque tradicional donde se le atribuía directamente su consumo de O_2 (Respiración endógena). La modelación en el ASM1 usa la noción muerte-regeneración, donde $X_B \rightarrow X_S + X_P$ sin consumo directo de O_2 . El consumo

de O_2 está diferido hasta después que el X_S se transforma en S_S (hidrólisis) y que S_S se usa en el proceso de crecimiento. Por eso, el valor de BH del modelo tiene mucha diferencia con respecto a los modelos tradicionales. El proceso no tiene pérdidas de DQO, ni consumo directo de O_2 , por el contrario, produce riesgos orgánicos inertes y una DQO lentamente biodegradable. Se supone que el proceso ocurre con la misma velocidad en condiciones aerobias que anóxicas. (Activated Sludge Models ASM1, ASM2 and ASM3, 2002)

- *Decaimiento de los autótrofos*

El proceso se lleva a cabo de la misma forma que para los heterótrofos.

- *Amonificación del nitrógeno orgánico soluble, SND*

Se modeliza mediante el orden 1 respecto a S_{ND} y respecto a la biomasa heterótrofa.

- *Hidrólisis de la materia orgánica*

La materia orgánica particulada biodegradable se encuentra enredada en los flocs biológicos donde sufre un rompimiento y solubilización por efecto de las enzimas extracelulares. El resultado es la producción de sustratos solubles fácilmente biodegradables que se utiliza luego en el crecimiento. La hidrólisis es un proceso que ocurre tanto en condiciones aerobias como en condiciones anóxicas. Se utiliza un factor de corrección para tomar en cuenta el hecho de que la tasa de hidrólisis es menor en medio anóxico comparado al medio ambiente. (Activated Sludge Models ASM1, ASM2 and ASM3, 2002)

- *Hidrólisis del nitrógeno orgánico particulado*

El nitrógeno orgánico particulado (X_{ND}) es parte de la materia orgánica particulada (X_S), por lo que la tasa de hidrólisis del primero está determinada por la tasa de hidrólisis del segundo componente. El modelo utilizado muestra una proporcionalidad entre las dos tasas. (Activated Sludge Models ASM1, ASM2 and ASM3, 2002)

2.5.10. Simulación en plantas de tratamiento de agua residual

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 con la necesidad 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 o por una red inalámbrica, permitiendo plasmar el control y operación del proceso en una arquitectura organizada. (Dong, 2020)

2.5.11. Evaluación de opciones de diseño

A la hora de diseñar o agrandar una planta de tratamiento de aguas residuales, puede ser interesante comparar diferentes opciones de diseño en términos de rendimiento respecto a algunos objetivos específicos (por ejemplo: calidad, inversión y costes operativos). La herramienta de análisis de escenarios y la posibilidad de definir funciones objetivas en WEST+ 2023 esto permite elegir el mejor diseño para cada planta. (Hemmis, 2019)

2.5.12. Optimización de procesos

Las mejoras en la operación de una planta de tratamiento pueden originar considerables beneficios en términos de funcionamiento de procesos, calidad de residuos y costos operativos, por ejemplo, para aireación. La herramienta de estimación de Parámetros permite identificar la combinación de condiciones operaciones que optimizan un objetivo dado. (Hemmis, 2019)

2.5.13. Calibración del modelo

La calibración del modelo es parte esencial del proceso de desarrollo del modelo. Las herramientas de WEST+ 2023 para el análisis de sensibilidad (local y global) y de estimación de parámetros son imprescindibles para calibrar el modelo con efectividad. (Hemmis, 2019)

2.5.14. Monitorización de operaciones de planta y resolución de problemas

Un modelo calibrado de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales puede utilizarse para predecir la respuesta dinámica a diferentes tipos de variaciones por ejemplo en la composición del afluente, para identificar cuellos de botella y las medidas correctivas apropiadas, o para formar los operadores de planta mediante simulaciones offline de una gran variedad de acciones de control.

Las herramientas de Análisis de Escenario e Incertidumbre de WEST+ 2023 son muy útiles para entender los complejos proceso que tienen lugar en las modernas plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. (Hemmis, 2019)

2.5.15. Modelización de sistemas integrados de aguas urbanas

La calidad de aguas en sistemas integrados de aguas urbanas se simula teniendo en cuenta las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, alcantarillado y cuencas de ríos. Los datos de IUWS hacen de WESTforOPTIMIZATION una potente herramienta para identificar sinergias y para optimizar el rendimiento del sistema de aguas residuales. (Hemmis, 2019)

2.5.16. Optimización de remoción de nutrientes

Varias plantas de tratamiento de aguas residuales convencionales constan de procesos biológicos utilizados para eliminar nutrientes que normalmente presentan los tratamientos anaeróbicos, anóxicos y aeróbicos, 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 hidráulico, es uno de los parámetros más importantes que influyen 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 de mezcla.

En los tratamientos secundarios encontramos, decantadores cónicos, para el acondicionamiento de fangos mediante procesos de coagulación y floculación, que permite separar sólidos de alguna, donde los sólidos pasar por una etapa de tratamiento generalmente de digestión anaerobia y el agua (clarificado) se regresa al inicio del tratamiento de agua. (Duarte, 2015)

2.5.17. Control y operación de estaciones depuradoras: Modelado y Simulación

Los tratamientos biológicos conllevan una alta complejidad tanto desde el punto de vista del modelado como del control y operación. Para poder ubicar convenientemente el problema, se presenta una caracterización de las aguas residuales urbanas y las necesidades de depuración asociados. El control y operación se presentan en modelados de lenguaje de programación bien estructurados y de elevada complejidad. (Santín, 2017)

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

2.6. Definiciones

2.6.1. Agua residual domestica

Son las aguas de desechos cloacales, producidas por la actividad humana, contiene principalmente materia orgánica e inorgánica presente como materia suspendida y disuelta. (Rodríguez, 2017)

2.6.2. Demanda biológica de oxígeno (DBO₅)

Es la cantidad de oxígeno diluido consumida por un agua residual durante la oxidación por vía biológica, de la materia orgánica que es biodegradable. (Suárez, 2012)

2.6.3. Desnitrificación

Es la descomposición del nitrógeno nítrico en condiciones anaerobias, que metaboliza el oxígeno y se convierte en nitrógeno gas. (Fluence, 2019)

2.6.4. Demanda Química de Oxígeno

Es la cantidad de oxígeno en mg/l consumido en la oxidación de las sustancias en tratamiento, por medios químicos. (Nichiren, 2020)

2.6.5. Fósforo Total

Las fuentes más importantes de fósforo en el agua residual son: la materia fecal humana, artículos para limpieza del hogar, residuos de alimentos, detergentes sintéticos, descargas industriales y comerciales, su exceso en el agua provoca la eutrofización. (Urbina, 2019)

2.6.6. Nitrógeno Total

El nitrógeno se puede encontrar disuelto en el agua en diversos estados de oxidación, nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos, la cantidad elevada de estos en el agua provocan la eutrofización. (AEMA, 2018)

2.6.7. Oxígeno Disuelto

Es la concentración de oxígeno en un líquido, depende de la temperatura y presión de la atmósfera, es importante para determinar el desarrollo de la vida acuática. (Autoridad Nacional del Agua, 2016)

2.6.8. Nutrientes en el Agua Residual

Las aguas residuales tratadas también contienen nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, los cuales son elementos esenciales que las plantas necesitan para realizar su proceso de tratamiento correctamente. (Li, 2019)

2.6.9. Reactor Biológico

Es un tanque que dispone de un área aireada y una no aireada que permite eliminar la materia orgánica como el nitrógeno y el fósforo. (Fluence, 2019)

2.6.10. Remoción de Nutrientes en Aguas Residuales

Hace referencia a cuando el fósforo y el nitrógeno no son eliminados de las aguas residuales, mediante esta etapa 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. (Oliveros, 2019)

2.6.11. Sólidos Suspendidos Totales

Es una composición heterogénea de partículas presentes en el agua residual, determinados mediante un procedimiento gravimétrico mediante la filtración y el secado. (Hanna, 2016)

2.6.12. Tiempo de Retención Hidráulico

Es el tiempo en el que una unidad de fluido permanece en un recipiente, es decir, el tiempo que el líquido que entra en tu recipiente tarda en salir del mismo. (Hanna, 2016)

2.6.13. Bacterias heterótrofas

Son microorganismos que sintetizan sus propias biomoléculas a partir de compuestos orgánicos carbonados complejos, aunque pueden captar elementos inorgánicos diferentes al carbono.

Algunas necesitan parasitar a organismos superior para poder sobrevivir, este tipo de bacterias están presentes en números ecosistemas, como en suelos, agua, nieve lodosa marina entre otros, parasitando organismos superiores, como plantas, animales o humanos, bien como agentes patógenos o como oportunistas en una relación simbiótica. (Henze, 2008)

2.6.14. Bacterias autótrofas

Son microorganismos que presentan un aparato metabólico muy complejo, estas bacterias son capaces de asimilar materia inorgánica para transformarla en materia orgánica, que luego utiliza para elaborar biomoléculas necesarias para su desarrollo, este tipo de bacterias juega un papel importante en el ecosistema, ya que aportan la materia orgánica para el desarrollo de otros seres vivos, es decir cumplen funciones vitales para el mantenimiento del equilibrio ecológico. (Henze, 2008)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de la investigación

El presente trabajo es de tipo cuasi-experimental, donde por medio de análisis de laboratorio, referencias bibliográficas y resultados de las simulaciones en el programa WEST+ 2023 se estableció una evaluación de las variables de operación de la planta de tratamiento de agua residual Tereré que permitieron mejorar la remoción de materia orgánica y nutrientes en el reactor biológico de membrana. El método que se utilizó en el proyecto es de tipo inductivo, debido a que se pretende observar el comportamiento de las variables independientes para mejorar la remoción de materia orgánica. También es una investigación de tipo longitudinal ya que se realizaron análisis de las variables dependientes como demanda química de oxígeno, demanda biológica de oxígeno, nitrógeno total, fósforo total y sólidos suspendidos, así como también de la variable independiente que son netamente operacionales, todo esto se realizó con el objetivo de optimizar la PTAR. Cabe recalcar que el enfoque de este trabajo es de tipo cuantitativo ya que para su ejecución se necesitaron cálculos (tiempo de retención hidráulico, cantidad de sólidos suspendidos totales) y los resultados de las simulaciones con los cuales se realizó su respectiva interpretación y análisis.

3.2. Localización del proyecto

El proyecto se enfocó en optimizar la planta de tratamiento de agua residual del barrio Tereré ubicado en la ciudad de Tena de la provincia de Napo con la finalidad de mejorar la calidad del efluente y mejorar la calidad del ecosistema acuático del río Misahuallí.

A continuación de la siguiente ilustración se indica la ubicación de la planta de tratamiento de agua residual a la cual hace referencia este estudio:

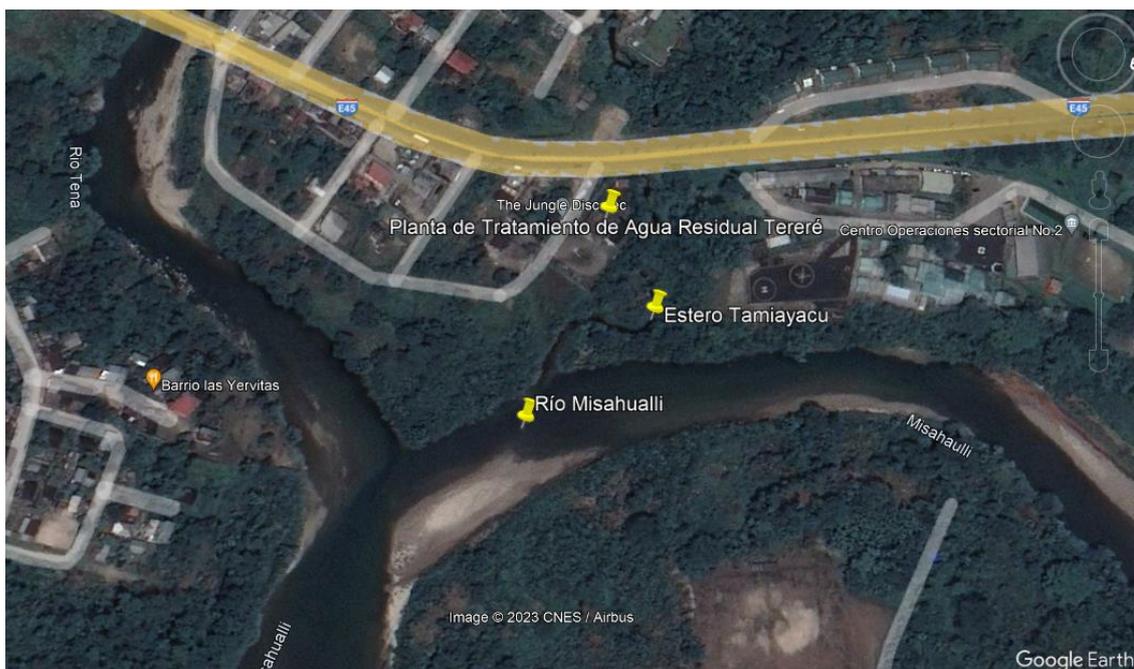


Ilustración 1-3: Ubicación de PTAR Tereré, en la ciudad de Tena

Fuente: Programa Google Earth Pro.

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

3.3. Población de estudio

Mediante las simulaciones realizadas en el software WEST+ 2023 se seleccionó y se aplicó a la Planta de Tratamiento de Agua Residual Tereré la simulación que permita obtener la mejor remoción de materia orgánica y nutrientes en el efluente dando cumplimiento a los límites de vertido y considerando también la variable costo-beneficio.

3.3.1. Método de muestreo

Los datos con los que se desarrollaron las simulaciones provienen del estudio de datos históricos de la planta de tratamiento; sin embargo, para complementar algunos parámetros y ratios propios del agua residual en estudio se realizaron ensayos de laboratorio de muestras de agua a la entrada, en el reactor MBR y en la salida mediante el método de muestreo aleatorio simple.

3.4. Técnica de recolección de datos

El presente trabajo empleó técnicas de recolección de datos, como el análisis cuantitativo de la opción óptima de operación del reactor biológico de membrana, revisión de variables operacionales de la planta de tratamiento, ensayos de laboratorio y resultados obtenidos de las simulaciones; los cuales se tabularon en hojas de Excel para su posterior análisis e interpretación.

El mayor porcentaje de estos datos son facilitados por el personal que labora en la planta de tratamiento de agua residual los cuales fueron solicitados de manera formal al Municipio Descentralizado del Cantón Tena.

3.5. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos de la planta de tratamiento en especial los parámetros de calidad de agua se realizan mediante la eliminación de valores atípicos según la media de los mismos para lo cual se utilizó el software Excel de Office.

3.6. Ingeniería del proyecto

Con este proyecto se buscó simular y optimizar la planta de tratamiento de agua residual ubicada en el barrio Tereré en la provincia de Napo, mediante el software WEST+ 2023 para lo cual nos basamos en los datos que tenía la planta anteriormente y se buscó un mejor resultado mediante el análisis de datos en el software, para que la planta de tratamiento pueda trabajar de mejor manera correcta sin el uso excesivo de electricidad en sus equipos. A continuación, se muestran los pasos que se realizaron en este proyecto:

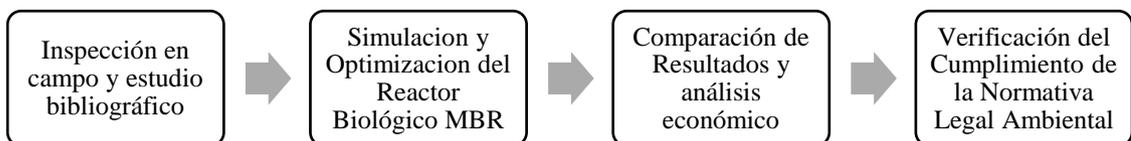


Ilustración 2-3: Pasos que se realizaron en este proyecto

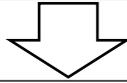
Realizado por: Rivadeneira A., 2023

3.7. Metodología en base a los objetivos

3.7.1. Metodología 1

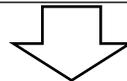
Para determinar el estado actual de la Planta de Tratamiento de agua residual con el objeto de conocer las falencias y variables del sistema, se aplicó la siguiente metodología:

Se realizó una investigación bibliográfica de las operaciones y procesos unitarios de la Planta de Tratamiento de agua residual Tereré para conocer los equipos y la función que desempeñan en cada proceso.

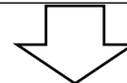


Se procedió a realizar visitas técnicas de forma periódica juntamente con el ingeniero y operador de la planta de tratamiento en donde se realizó las siguientes actividades:

- Comprobación de las dimensiones y variables de cada proceso y operación unitaria.
- Verificar el estado actual de los equipos en cada proceso y operación unitaria.



Se determinó principalmente las dimensiones del proceso biológico y sus variables operacionales los cuales fueron utilizados para la calibración del software WEST en la modelación y optimización de la planta de tratamiento de agua residual tereré.



Se identificó los equipos que presentan falencias en cuanto a su funcionamiento con el fin de recomendar el mantenimiento correctivo y de esta manera mejorar la eficiencia de cada proceso y operación unitaria dentro de la planta de tratamiento de agua residual.

Ilustración 3-3: Metodología 1

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

3.7.2. Metodología 2

Para calibrar el software WEST+ 2023 utilizando los parámetros físicos y químicos de ingreso y salida del agua residual en el reactor biológico de membranas para demostrar su aplicabilidad al simular los siguientes parámetros: demanda química de oxígeno, demanda biológica de oxígeno, sólidos totales suspendidos y nitrógeno total, se aplicó la siguiente metodología:

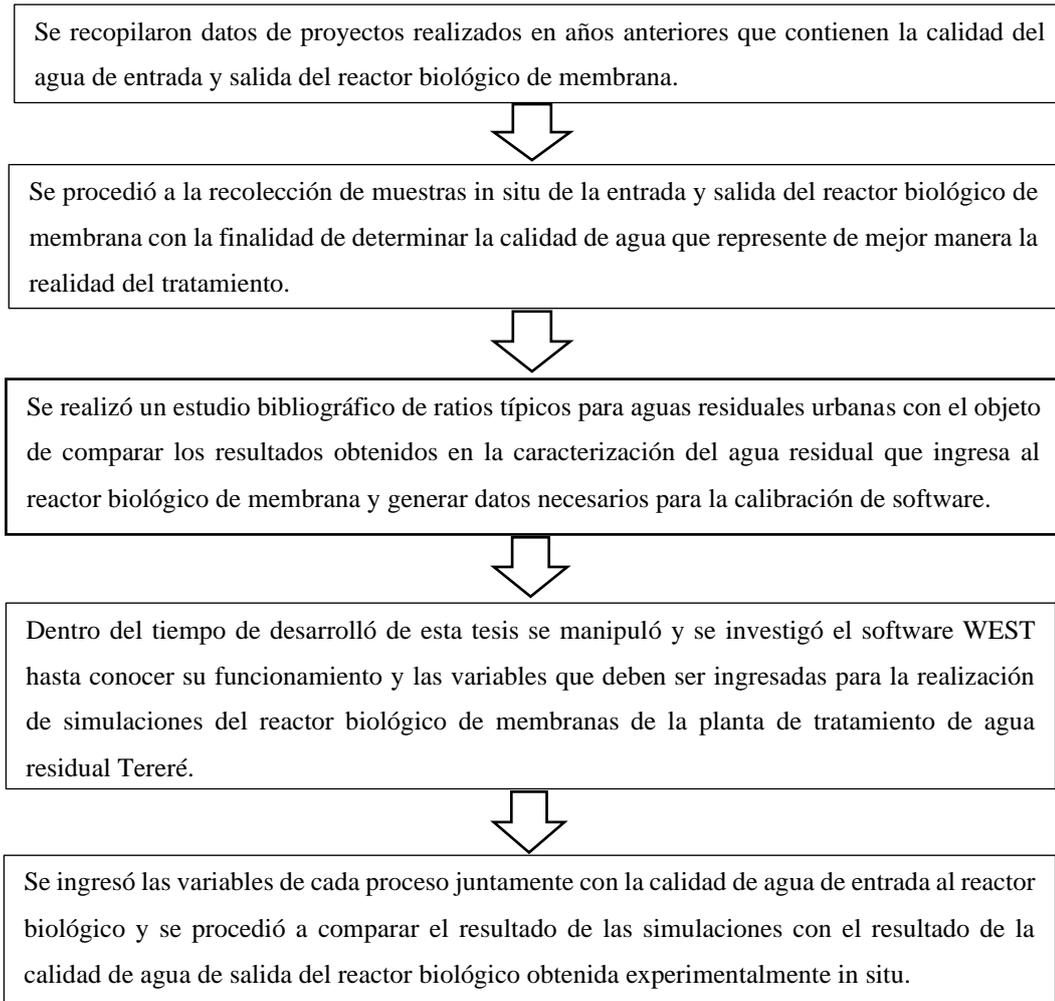


Ilustración 4-3: Metodología 2

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

3.7.3. Metodología 3

Para la simulación de diferentes alternativas modificando una variable de operación del reactor biológico de membranas para obtener el modelo óptimo y económico con el cual mejore la calidad de su efluente, se aplicó la siguiente metodología:

Se realizaron diferentes simulaciones del reactor biológico de membrana modificando la concentración del oxígeno disuelto en la zona aerobia sin desviarse del rango de operación.



Se compararon los resultados obtenidos de las simulaciones con el obtenido de la calibración para seleccionar la alternativa que proporcione una mejor calidad de efluente y menor costo operativo.



Adicionalmente se diseñó un tratamiento terciario para disminuir la carga microbiológica y mejorar la calidad del efluente.

Ilustración 5-3: Metodología 3

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Estudio de las operaciones unitarias y proceso biológico de la planta de tratamiento Tereré

4.1.1. Operaciones unitarias con falencias

En el desarrollo de este proyecto se han identificado falencias en diferentes equipos que constituyen las operaciones unitarias de la planta de tratamiento de agua residual Tereré, algunas de las falencias más importantes y a las cuales se han tenido acceso a la información se detallan a continuación.

4.1.1.1. Equipo de Pretratamiento Compacto

El equipo compacto F-121 realiza las siguientes operaciones unitarias: Desbaste, desarenado y desengrasado. A continuación, se indica el equipo compacto de la PTAR:



Ilustración 1-4: Equipo de pretratamiento compacto F-121

Realizada por: Rivadeneira A., 2023

La operación que se encuentra comprometida es la de desbaste debido a que el tamiz de 3 milímetros presenta rupturas lo que permite el paso de sólidos sin ninguna restricción. Los sólidos de gran tamaño pueden ocasionar daños en las bombas de trasvase del agua residual y deficiencia

en los procesos biológicos y procesos de microfiltración por lo cual se recomienda reemplazar el tamiz y dar seguimiento a esta operación unitaria verificando su correcto funcionamiento.

4.1.1.2. Tratamiento de microfiltración

El sistema de microfiltración está compuesto por dos cámaras de membrana donde se han instalado 5 módulos de membranas de microfiltración modelo RW400. Cada módulo contiene 400 cartuchos distribuidos en dos pisos.

Los cartuchos de membrana tienen su propio tubo de aspiración el cual se conecta al colector de permeado. El sistema de aspiración está conformado por diferentes accesorios y tuberías las cuales deben ser revisadas periódicamente para verificar su estado. Las paradas programadas de la planta de tratamiento de agua residual son necesarias para verificar el estado del sistema de microfiltración.

Actualmente la planta de tratamiento de agua residual Tereré presenta accesorios como uniones que se encuentran deterioradas las cuales requieren ser cambiadas. Esta condición permite que algunos contaminantes de los lodos activados (licor mezcla) como los sólidos suspendidos pasen a formar parte del efluente sin haber sido filtrados previamente. A continuación, se indica los accesorios que presentan daños en el sistema de microfiltración:

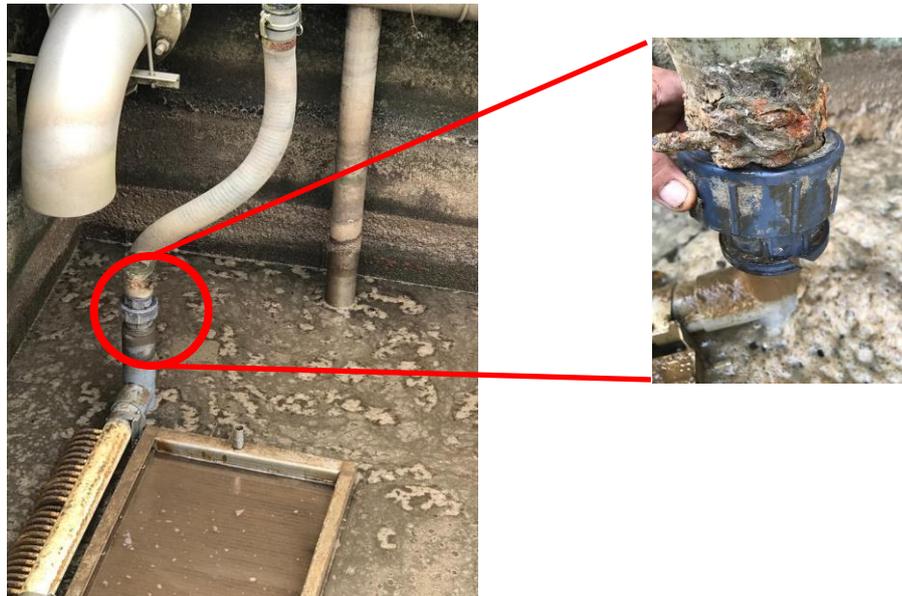


Ilustración 2-4: Accesorios del sistema de microfiltración en mal estado

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

El software WEST+2023 no contempla cualquier tipo de daño en el sistema de microfiltración por lo cual es importante considerar este tipo de condiciones al realizar la calibración y simulaciones con el software.

4.1.1.3. Deshidratación de fangos

La operación unitaria de deshidratación de fangos está basada en un proceso de centrifugación con la adición de un polielectrolito catiónico.

El proceso de centrifugación de fangos activados se realiza mediante una centrifugadora Baby de Peralisi, la cual trabaja con una capacidad máxima de $4 \text{ m}^3/\text{h}$. Este equipo presenta accesorios que necesitan ser cambiados ya que al encontrarse fuera de operación el proceso de deshidratación de fangos no se realiza correctamente, los fangos que genera la planta de tratamiento son gestionados por la unidad ambiental del GAD de Tena de los cuales una de sus disposiciones finales es ser utilizado como materia prima para biofertilizantes. A continuación, se indica el decantador centrífugo al cual se hace mención anteriormente:



Ilustración 3-4: Extractor centrífugo de la serie Baby con falencias

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

El extractor centrífugo necesita un mantenimiento correctivo para ingresar nuevamente a su normal funcionamiento.

4.1.2. Proceso biológico

Como se mencionó en el capítulo 2, la planta de tratamiento de agua residual Tereré tiene un proceso biológico para la disminución de la concentración de contaminantes. Este proceso consiste en un proceso biológico de membranas, el cual empieza con un reactor anóxico en donde principalmente el amonio se convierte en nitrato, seguido de un reactor aerobio donde la mayor cantidad de materia orgánica se transforma en biomasa la cual es fácilmente filtrada por las membranas de microfiltración.

Al no contar directamente con las dimensiones de los reactores biológico se procedió a investigar el calado de operación del agua residual en los reactores y a acotar un plano facilitado por el personal de la planta de tratamiento de agua residual Tereré. A continuación, detallo los volúmenes calculados los cuales son utilizados en la calibración y simulaciones del software WEST+ 2023.

4.1.2.1. Tanque anóxico

Las dimensiones del tanque anóxico son las siguientes:

Tabla 1-4: Dimensiones del tanque anóxico de la PTAR

TANQUE ANÓXICO		
PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
H (altura)	m	3,2
W (ancho)	m	6,90
L (largo)	m	4,82
VOLÚMEN	m^3	106
VOLÚMEN X 2 (paralelo)	m^3	213

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

4.1.2.2. Tanque de Pre-aireación

Las dimensiones del tanque de pre-aireación son las siguientes:

Tabla 2-4: Dimensiones del tanque de pre-aireación

TANQUE PRE-AIREACIÓN		
PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
H (altura)	m	3,0
W (ancho)	m	6,90
L (largo)	m	7,92
VOLÚMEN	m^3	164
VOLÚMEN X 2 (paralelo)	m^3	328

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

4.1.2.3. Tanque de membranas

Las dimensiones del tanque de membranas son las siguientes:

Tabla 3-4: Dimensiones del Tanque de Membranas

TANQUE MEMBRANAS		
PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
H (altura)	m	3,0
W (ancho)	m	6,00
L (largo)	m	4,10
VOLÚMEN	m ³	74
VOLÚMEN X 2 (paralelo)	m ³	148

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

4.1.2.4. Tanque aerobio

Para poder simular el proceso biológico en el software se necesita identificar la zona anóxica y zona aerobia; por tal razón, el tanque de pre-aireación y el tanque de membranas es considerado como zona aerobia ya que las membranas se encuentran sumergidas en el proceso. A continuación, se detalla el volumen utilizado para simular la zona aerobia:

Tabla 4-4: Dimensiones del tanque aerobio

TANQUE AEROBIO		
TANQUE	UNIDAD	VALOR
PRE-AIREACIÓN	m ³	328
MEMBRANAS	m ³	148
TOTAL	m ³	475

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

4.2. Calibración del software WEST+ 2023

4.2.1. Caracterización del influente

Para la caracterización del agua residual que ingresa al tratamiento biológico de membranas se realizó un estudio de los datos obtenidos del ministerio del ambiente en fechas anteriores a esta investigación, más los datos obtenidos de la realización de ensayos de muestras puntuales en diferentes puntos del tratamiento biológico y referencias bibliográficas. A continuación, se presentan los valores obtenidos de proyectos anteriores.

Tabla 5-4: Caracterización del influente, datos históricos

PARÁMETRO	UNIDAD	2016-05-10	2016-07-28	2016-10-13	2018-11-22	2020-03-03	2023-03-09
DBO ₅	mg/L			27	42		90
DBO	mg/L		50			120	
DQO	mg/L	148	95	117	86	304	164
SST	mg/L		8	22	132	295,13	
NH ₄ ⁺	mg/L		37,83				8,19
PO ₄ ³⁻	mg/L		12,42				
NO ₃ ⁻	mg/L		7,75				0,4
NO ₂ ⁻							0,034
SSV	mg/L		6				
N _T							13,75
N _{T sol}							8,72

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

Con los resultados del 9 de marzo de 2023 se puede calcular Nitrógeno total Kjeldahl (NKT). La ecuación a utilizarse es:

$$NKT = NO_{sol} + NO_{susp} + NH_4^+ \quad \text{Ec. 1}$$

En la ecuación 1 se puede observar que necesitamos calcular el nitrógeno orgánico soluble y suspendido para lo cual utilizaremos las siguientes ecuaciones.

El nitrógeno orgánico soluble (NO_{sol}) se obtiene de la siguiente ecuación:

$$N_{T sol} = NO_{sol} + NH_4^+ + NO_3^- + NO_2^- \quad \text{Ec. 2}$$

Despejando el NO_{sol} de la ecuación 2 y reemplazando los valores, se tiene que:

$$NO_{sol} = N_{T sol} - NH_4^+ - NO_3^- - NO_2^- \quad \text{Ec. 3}$$

$$NO_{sol} = (8,72 - 8,19 - 0,4 - 0,034) \text{mg/L}$$

$$NO_{sol} = 0,096 \text{ mg/L}$$

El nitrógeno orgánico suspendido (NO_{susp}) se obtiene de la siguiente ecuación:

$$N_T = N_{T sol} + N_{T susp} \quad \text{Ec. 4}$$

$$N_{T susp} = NO_{susp} + NI_{susp} \quad \text{Ec. 5}$$

Reemplazando la ecuación 5 en la ecuación 4 y considerando que la concentración del nitrógeno inerte suspendido es insignificante, se tiene que:

$$N_T = N_{T\ sol} + NO_{susp} \quad \text{Ec. 6}$$

Despejamos el NO_{susp} de la ecuación 6 y reemplazamos los valores.

$$NO_{susp} = N_T - N_{T\ sol} \quad \text{Ec. 7}$$

$$NO_{susp} = (13.75 - 8.72)\text{mg/L}$$

$$NO_{susp} = 5,03 \text{ mg/L}$$

A continuación, se calcula el Nitrógeno total Kjeldahl (NKT) de la ecuación 1:

$$NKT = (0,096 + 5.03 + 8.19)\text{mg/L}$$

$$NKT = 13.316 \text{ mg/L}$$

Para estimar la composición más representativa del agua residual que ingresa al tratamiento biológico es indispensable determinar si corresponde a un agua residual urbana o industrial, por lo cual se calculan algunos ratios o relaciones típicas y se compara con los ratios investigados en bibliografía.

Tabla 6-4: Caracterización del influente, ratios calculados y bibliográficos

RATIO	RIEGER	HENZE	2016-07-28	2016-10-13	2018-11-22	2020-03-03	2023-03-09
DQO/DBO ₅	2,060 (2,05-3,00)			4,33	2,05		1,822
SST/DQO	0,503 (0,35-0,70)		0,08	0,19	1,53	0,97	
SSV/SST	0,740 (0,30-0,90)		0,75				
DQO/DBO		1,5-2,0	1,90			2,53	
N _T /DQO	0,095 (0,05-0,15)						0,084
NH ₄ ⁺ /NKT	0,684 (0,50-0,90)						0,615

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

Al comparar los ratios obtenidas con los de bibliografía se pueden observar valores que se encuentran dentro de los rangos característicos de la composición del agua residual urbana, como es el caso de DQO/DBO₅, SSV/SST, DQO/DBO, N_T/DQO, NH₄⁺/NKT; por tal razón se confirma que el influente de la planta de tratamiento de agua residual Tereré es agua residual urbana (municipal). Para estimar la composición del agua residual más representativa se utilizan los mismo ratios obtenidas y respecto a SST/DQO se utiliza el valor de 0,503.

Con los resultados del análisis de agua realizado el 9 de marzo de 2023 del influente se obtienen las siguientes ratios en relación al nitrógeno total utilizados para estimar la concentración de amoníaco, nitratos y nitritos.

Tabla 7-4: Ratios calculados en base a los resultados del 09-03-2023

RATIO	VALOR
NH_4^+/N_T	0,596
NO_3^-/N_T	0,0291
NO_2^-/N_T	0,0025

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

Considerando los parámetros que necesita el software WEST+ 2023 y la DQO más elevada de la tabla anterior, la composición del agua residual que ingresa al tratamiento biológico de membranas de la PTAR Tereré es la siguiente:

Tabla 8-4: Composición del influente

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
INGRESO AL SOFTWARE	DQO	mg/L 304
	SST	mg/L 152,9
	NKT	mg/L 24,7
ADICIONALES	N_T	mg/L 25,5
	NH_4^+	mg/L 15,2
	NO_3^-	mg/L 0,74
	NO_2^-	mg/L 0,06

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

Los ratios calculados de la composición estimada del influente son:

Tabla 9-4: Ratios calculados del influente

RATIO	RIEGER	ESTIMADA
SST/DQO	0,503 (0,35-0,70)	0,503
NT/DQO	0,095 (0,05-0,15)	0,084
NH_4^+/TKN	0,684 (0,50-0,90)	0,615

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

Como se puede observar en la tabla anterior los ratios calculados de la calidad del influente se encuentran dentro del rango de valores de los ratios típicos bibliográficos. Para calibrar el software se utilizó las dimensiones de la zona anóxica, zona aerobia; las variables de operación, la calidad del agua residual que ingresa al tratamiento biológico y la calidad del efluente. La

composición del agua residual se descompone en los parámetros que se obtienen al aplicar el modelo ASM1 (Activated sludge model) desarrollado por la International Water Association (IWA). Al utilizar el software WEST+ 2023 con el modelo ASM1, el fraccionamiento de la materia orgánica y nitrógeno es el siguiente:

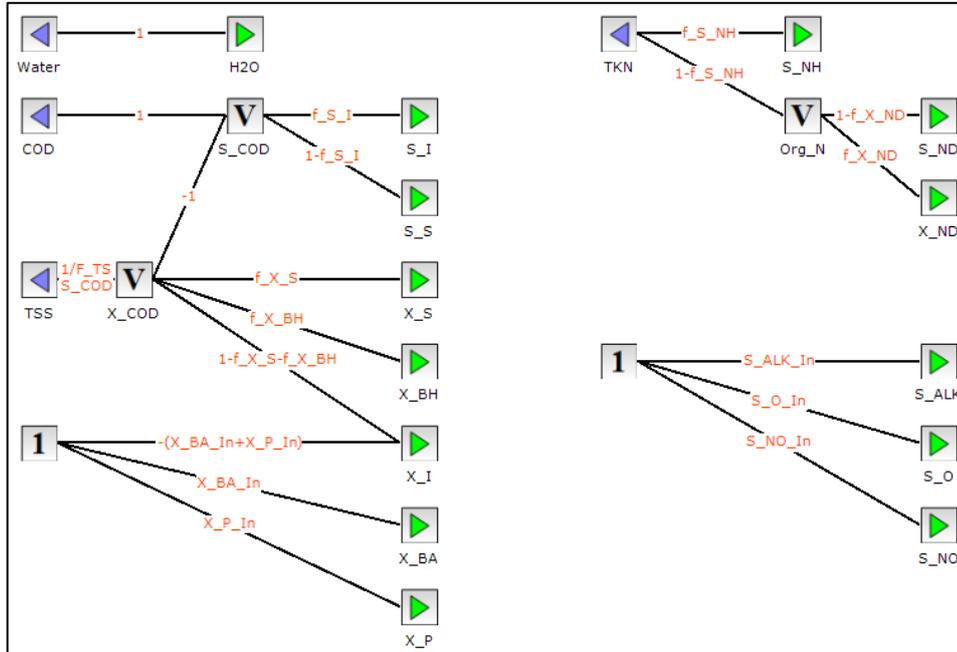


Ilustración 4-4: Fraccionamiento de la DQO y nitrógeno

Fuente: Software WEST+ 2023

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

Las siguientes fracciones de la DQO y nitrógeno del influente, son obtenidos de referencias bibliográficas y los resultados de los ensayos de laboratorio realizados el 9 de marzo de 2023.

Para obtener la DQO soluble (filtrada) se utiliza la relación típica de DQO_{fil}/DQO que es 0,343 obtenida de bibliografía; por tal razón la DQO soluble es:

$$DQO_{sol} = 0,343 \times DQO \quad \text{Ec. 8}$$

$$DQO_{sol} = 0,343 \times 304 \text{ mg/L}$$

$$DQO_{sol} = 104,3 \text{ mg/L}$$

Por otro lado, la DQO suspendida se obtiene de la siguiente ecuación:

$$DQO = DQO_{sol} + DQO_{susp} \quad \text{Ec. 9}$$

Se despeja la DQO_{susp} y se reemplaza los valores

$$DQO_{susp} = DQO - DQO_{sol}$$

$$DQO_{susp} = (304 - 104,3) \text{ mg/L}$$

$$DQO_{susp} = 199,7 \text{ mg/L}$$

Los parámetros de ingreso al software WEST+ 2023 para el fraccionamiento de la materia orgánica y nitrógeno según nuestra caracterización del influente es:

Name	Type	Description	Unit	Default Value	Group	Lower bound
* Click here to add a new row						
f_S_I	Fraction	S_I fractio...	-	0,25	Compositio...	-INF
f_S_NH	Fraction	S_NH fracti...	-	0,615	Compositio...	-INF
F_TSS_COD	Fraction	Conversion...	-	0,766	Conversion...	-INF
f_X_BH	Fraction	X_BH fracti...	-	0,1	Compositio...	-INF
f_X_ND	Fraction	X_ND fracti...	-	0,981	Compositio...	-INF
f_X_S	Fraction	X_S fractio...	-	0,75	Compositio...	-INF
S_ALK_In	Fraction	Alkalinity	g/m3	30		-INF
S_NO_In	Fraction	Nitrate	g/m3	0,8		-INF
S_O_In	Fraction	Oxygen	g/m3	0,01		-INF
X_BA_In	Fraction	Autotrophi...	g/m3	0,01		-INF
X_P_In	Fraction	X_P	g/m3	0,01		-INF

Ilustración 5-4: Parámetros estimados para el fraccionamiento de la DQO y nitrógeno

Fuente: Software WEST+ 2023.

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

Aplicando el modelo ASM1 del software WEST+ 2023 a la calidad estimada del agua residual que ingresa al tratamiento biológico se obtienen los siguientes parámetros:

Tabla 10-4: Caracterización del influente según el ASM1 del software WEST+ 2023

COMPONENTE	UNIDAD	VALOR
S_I	mg/L	26,1
S_S	mg/L	78,2
X_S	mg/L	149,8
X_BH	mg/L	20,0
X_I	mg/L	29,9
X_BA	mg/L	0,01
X_P	mg/L	0,01
S_NH	mg/L	15,2
S_ND	mg/L	0,2
X_ND	mg/L	9,3
S_ALK	mg/L	30,0
S_O	mg/L	0,01
S_NO	mg/L	0,80

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

Donde:

- S_I : Fracción soluble no biodegradable (inerte).
- S_S : Fracción soluble rápidamente biodegradable.
- X_S : Fracción particulada lentamente biodegradable.
- X_BH : Microorganismos heterótrofos.
- X_I : Fracción particulada no biodegradable.
- X_BA : Microorganismos autótrofos.
- X_P : Fracción particulada inerte procedente de la muerte de la biomasa.
- S_NH : Nitrógeno amoniacal.
- S_ND : Nitrógeno orgánico soluble.
- X_ND : Nitrógeno orgánico particulado.
- S_ALK : Alcalinidad.
- S_O : Oxígeno disuelto.
- S_NO : Nitratos y nitritos.

4.2.2. Caracterización del efluente

Se obtuvo una base de datos de la calidad del efluente realizados en años anteriores a este trabajo los cuales fueron facilitados por personal de la planta de tratamiento de agua residual Tereré, adicional se realizó un muestreo puntual para actualizar y verificar desviaciones en cuanto a su composición.

A continuación, se presentan los datos de estudio con los cuales se determina la calidad del efluente para verificar que los resultados de las simulaciones del software WEST+ 2023 son muy parecidos a los resultados reales de la PTAR.

Tabla 11-4: Caracterización del efluente, datos históricos

PARÁMETRO	UNIDAD	2016-05-10	2016-07-28	2016-10-13	2018-11-21	2021-06-16	2023-03-09
DBO ₅	mg/L			3	9		6
DBO	mg/L		1			4,75	
DQO	mg/L	25	25	32	20	10	25
SST	mg/L		2	10	16	10	4
NH ₄ +	mg/L		1			0,25	0,1
PO ₄ 3-	mg/L		3,78				
NO ₃ -	mg/L		7,97				4,8

NO2 -	mg/L						0,012
SSV	mg/L		2				
NT	mg/L						4,8
PT	mg/L						
NKT	mg/L					1,87	

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

Para estimar la calidad del efluente se realiza un promedio de sus componentes principales de simulación del software WEST+ 2023, de esta manera la calidad estimada del efluente es:

Tabla 12-4: Composición del efluente

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
DQO	mg/L	22,83
SST	mg/L	8,40
NH4+	mg/L	0,45
NKT	mg/L	1,87

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

4.2.3. Resultados de la calibración

Es importante realizar una buena caracterización del influente para poder calibrar y verificar que las simulaciones del software sean lo más parecido a la realidad. Como se detalló anteriormente de la calidad del influente se ingresan tres parámetros esenciales que son: la DQO, SST, NH₄⁺ y NKT, de los cuales por medio de factores calculados y obtenidos se fracciona la materia orgánica y el nitrógeno, según el modelo ASM1. A continuación, se indica el ingreso de estos datos en el software WEST+ 2023:

Ilustración 6-4: Ingreso de factores fraccionamiento de la materia orgánica y nitrógeno al software WEST+ 2023

Fuente: Software WEST+ 2023.

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

El software WEST+ 2023 calcula los parámetros del influente según el modelo ASM1 utilizando los factores de fraccionamiento. A continuación, se indica los resultados de los parámetros calculados por el software los cuales son idénticos a los calculados en la Tabla 10-4: Caracterización del influente según el ASM1 del software WEST+ 2023 **Tabla 10-4:** Caracterización del influente según el ASM1 del software WEST+ 2023

Name	Value	Initial Value	Unit
Inflow(H2O)	1440		m3/d
Inflow(S_I)	26,097911		g/m3
Inflow(S_S)	78,293734		g/m3
Inflow(S_O)	0,01		g/m3
Inflow(S_NO)	0,8		g/m3
Inflow(S_ND)	0,1806805		g/m3
Inflow(S_NH)	15,1905		g/m3
Inflow(S_ALK)	30		g/m3
Inflow(X_I)	29,921253		g/m3
Inflow(X_BH)	19,960836		g/m3
Inflow(X_BA)	0,01		g/m3
Inflow(X_P)	0,01		g/m3
Inflow(X_S)	149,70627		g/m3
Inflow(X_ND)	9,3288195		g/m3

Ilustración 7-4: Parámetros del influente calculados por el software WEST+ 2023

Fuente: Software WEST+ 2023.

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

Las simulaciones y calibraciones se realizaron en estado estacionario es decir con el caudal y la calidad del influente constantes.

Al carecer de datos en tiempo real de la PTAR, se ha realizado investigaciones y entrevistas a los operadores para determinar un caudal medio del influente el cual tiene sustento ya que la planta de tratamiento de agua residual está diseñada para tratar 50 L/s esto lo realiza con la ayuda de tres bombas centrifugas sumergibles en el pozo de elevación, cada bomba trabaja con un caudal medio de 60 m3/h y en la actualidad la planta de tratamiento de agua residual Tereré ha venido operando con una sola bomba es decir con un caudal medio de 1440 m3/d.

Los variables operacionales de ingreso al software y los resultados de la calibración se detallan a continuación:

Tabla 13-4: Resultados de la calibración del software WEST+ 2023

	Término	UNIDAD	REAL	CALIBRACIÓN
Parámetros de operación	Caudal medio	m ³ /d	1440	1440
	Temperatura	°C	25	25
	Reactor anóxico	m ³	213	213
	Reactor aerobio	m ³	475	475
	S_O	mg/L	2,5	2,5
	Superficie de filtración	m ²	5800	5800
Efluente	DQO	mg/L	22,8	28,4
	SST	mg/L	8,4	8,4E-12
	NH4+	mg/L	0,45	0,93
	NKT	mg/L	1,87	1,87

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

A continuación, se presenta la calidad del efluente calculado por el software y tabulados en la tabla anterior:

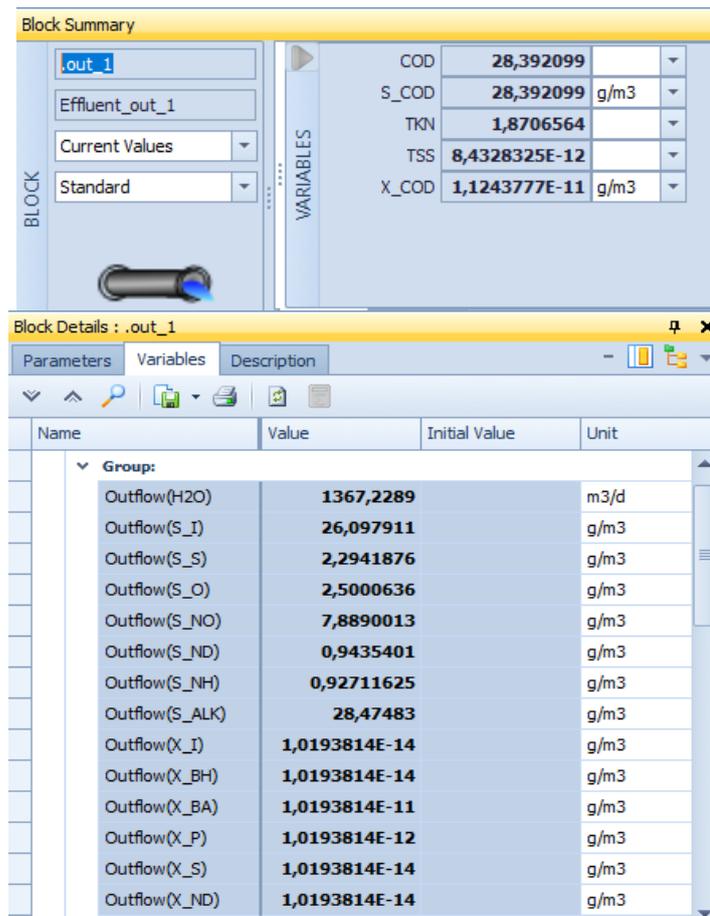


Ilustración 8-4: Calidad del efluente en la calibración

Fuente: Software WEST+ 2023.

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

Se puede comprobar que, en la calibración del software, la concentración de los componentes del efluente es muy parecido a los obtenidos en este trabajo de integración curricular, y por lo tanto podemos asegurar que los resultados de las simulaciones que se realicen son lo más cercano a la realidad.

4.3. Simulación de alternativas para la optimización de la PTAR Tereré

La variable de operación que se va a modificar para simular las alternativas es la concentración de Oxígeno disuelto en la zona aerobia del reactor biológico de membranas. Esta variable es muy importante en los procesos biológicos de fangos activados ya que permite el desarrollo de las bacterias aerobias, mantiene los fangos en suspensión y permite que la zona aerobia se encuentre siempre homogeneizada.

Según bibliografía el rango recomendado de operación de la concentración de oxígeno disuelto en la zona aerobia es de 1,5 a 3 mg O₂/L. En este trabajo de integración curricular se realizaron simulaciones con las siguientes concentraciones de oxígeno disuelto: 0 mg O₂/L, 0,5 mg O₂/L, 1 mg O₂/L, 1,5 mg O₂/L, 2 mg O₂/L, 2,5 mg O₂/L y 3 mg O₂/L en un periodo de 25 días.

4.3.1. Oxígeno Disuelto 0 mg O₂/L

Los resultados de la simulación con el oxígeno disuelto de 0 mg O₂/L en la zona aerobia son:

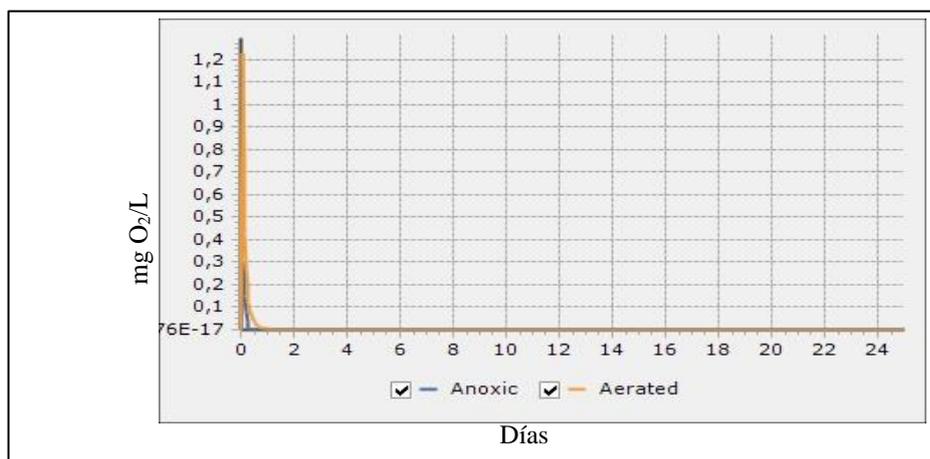


Ilustración 9-4: Concentración de 0 mg O₂/L en la zona aerobia

Fuente: Software WEST+ 2023.

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

Como se puede observar en la ilustración anterior la concentración de oxígeno disuelto en la zona anóxica y zona aerobia del reactor biológico de membranas se mantiene en 0 mg O₂/L.

A continuación, se puede observar la concentración en el efluente de las variables consideradas en este trabajo de integración curricular, a una concentración de oxígeno disuelto de 0 mg O₂/L.

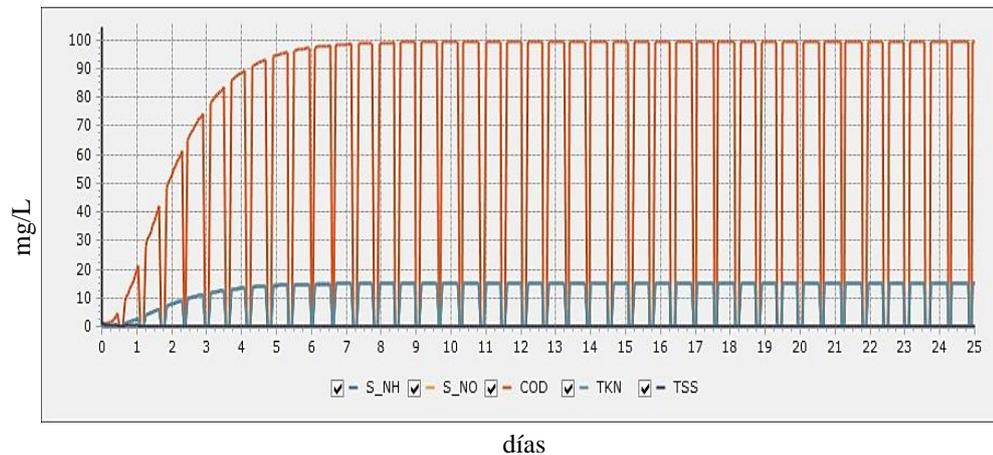


Ilustración 10-4: Concentración del efluente con 0 mg O₂/L en la zona aerobia.

Fuente: Software WEST+ 2023.

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

La simulación con una concentración de oxígeno disuelto en el reactor aerobio de 0 mg O₂/L genera un efluente con una concentración de la demanda química de oxígeno de 99,27 mg/L, una concentración de sólidos totales suspendidos de 8,43E-12 mg/L y una concentración de nitrógeno amoniacal de 15 mg/L.

Las fluctuaciones que se observan en la ilustración son propias de un sistema MBR debido a los tiempos de relajación, filtración y retro lavado.

4.3.2. Oxígeno Disuelto 0,5 mg O₂/L

Los resultados de la simulación con el oxígeno disuelto de 0,5 mg O₂/L en la zona aerobia son:

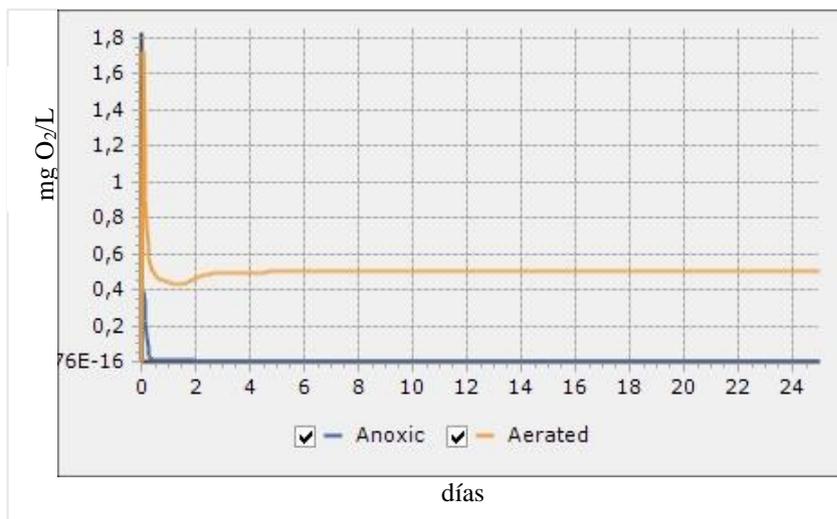


Ilustración 11-4: Concentración de 0,5 mg O₂/L en la zona aerobia

Fuente: Software WEST+ 2023.

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

Como se puede observar en la ilustración anterior la zona anóxica se mantiene en 0 mg O₂/L y en la zona aerobia el oxígeno fue de 0,5 mg O₂/L.

A continuación, se puede observar la concentración en el efluente de las variables consideradas en este trabajo de integración curricular, a una concentración de oxígeno disuelto de 0,5 mg O₂/L.

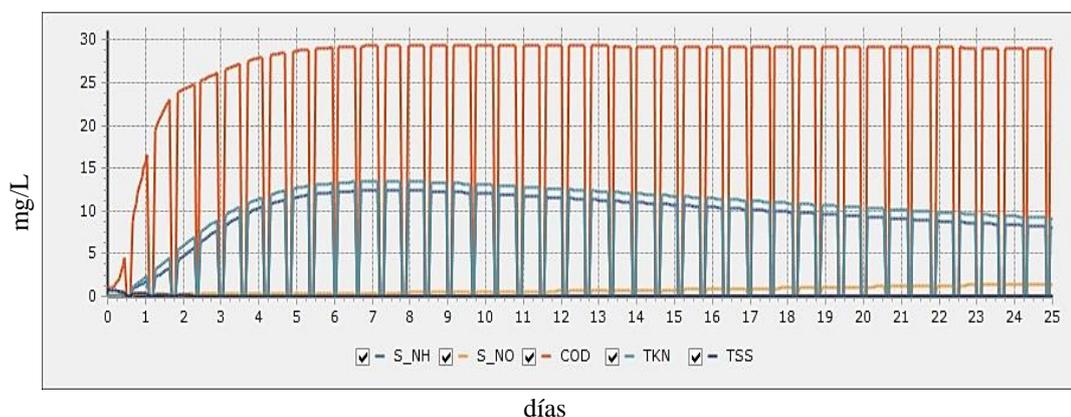


Ilustración 12-4: Concentración del efluente con 0,5 mg O₂/L en la zona aerobia

Fuente: Software WEST+ 2023.

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

La simulación con una concentración de oxígeno disuelto en el reactor aerobio de 0,5 mg O₂/L genera un efluente con una concentración de la demanda química de oxígeno de 29,08 mg/L, una concentración de sólidos totales suspendidos de 8,43E-12 mg/L y una concentración de nitrógeno amoniacal de 8,11 mg/L.

Las fluctuaciones que se observan en la ilustración son propias de un sistema MBR debido a los tiempos de relajación, filtración y retro lavado.

4.3.3. Oxígeno Disuelto 1 mg O₂/L

Los resultados de la simulación con el oxígeno disuelto de 1 mg O₂/L en la zona aerobia son:

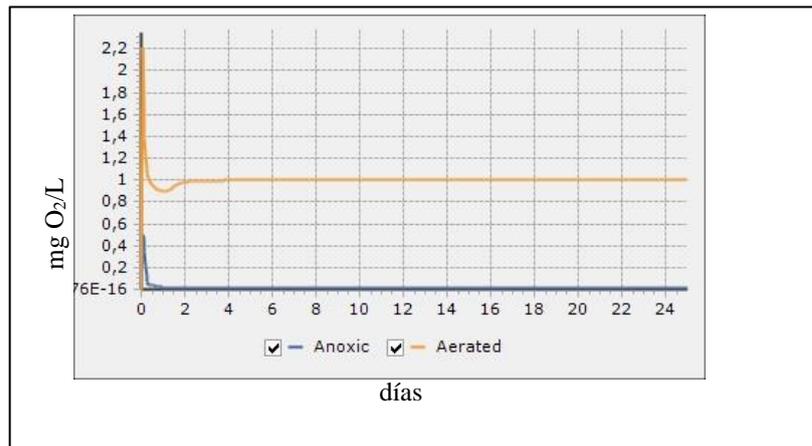


Ilustración 13-4: Concentración de 1 mg O₂/L en la zona aerobia

Fuente: Software WEST+ 2023.

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

En la zona anóxica el oxígeno se mantuvo en 0 mg O₂/L mientras que en la zona aerobia el oxígeno es de 1 mg O₂/L.

A continuación, se puede observar la concentración en el efluente de las variables consideradas en este trabajo de integración curricular, a una concentración de oxígeno disuelto de 1 mg O₂/L.

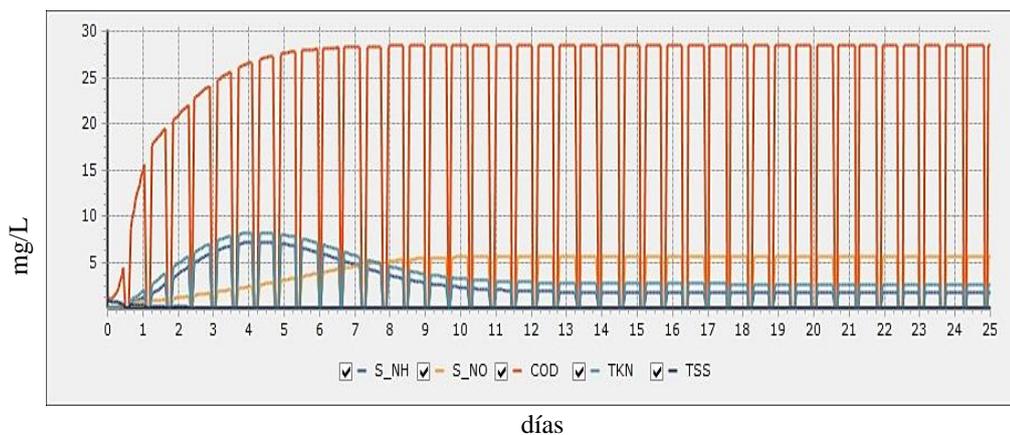


Ilustración 14-4: Concentración del efluente con 1 mg O₂/L en la zona aerobia

Fuente: Software WEST+ 2023.

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

La simulación con una concentración de oxígeno disuelto en el reactor aerobio de 1 mg O₂/L genera un efluente con una concentración de la demanda química de oxígeno de 28,54 mg/L, una concentración de sólidos totales suspendidos de 8,43E-12 mg/L y una concentración de nitrógeno amoniacal de 1,65 mg/L.

Las fluctuaciones que se observan en la ilustración son propias de un sistema MBR debido a los tiempos de relajación, filtración y retro lavado.

4.3.4. Oxígeno Disuelto 1,5 mg O₂/L

Los resultados de la simulación con el oxígeno disuelto de 1,5 mg O₂/L en la zona aerobia son:

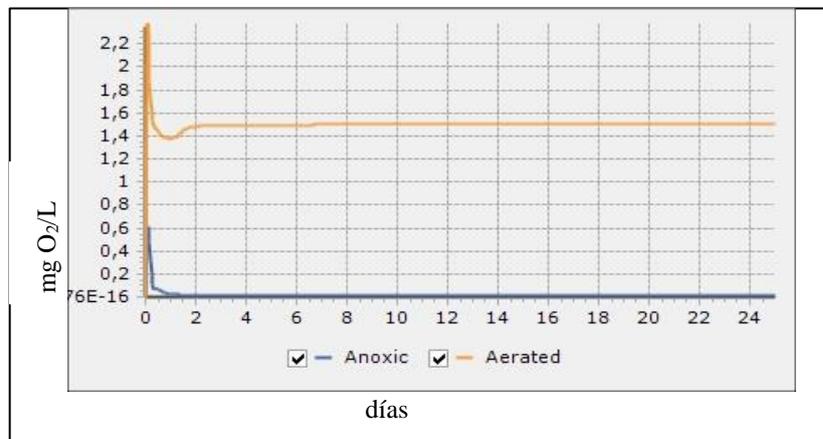


Ilustración 15-4: Concentración de 1,5 mg O₂/L en la zona aerobia

Fuente: Software WEST+ 2023.

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

Los resultados que se obtuvieron de la simulación fueron la zona anóxica permanece con un oxígeno de 0 mg O₂/L mientras que en la zona aerobia el oxígeno es de 1,5 mg O₂/L.

A continuación, se puede observar la concentración en el efluente de las variables consideradas en este trabajo de integración curricular, a una concentración de oxígeno disuelto de 1,5 mg O₂/L.

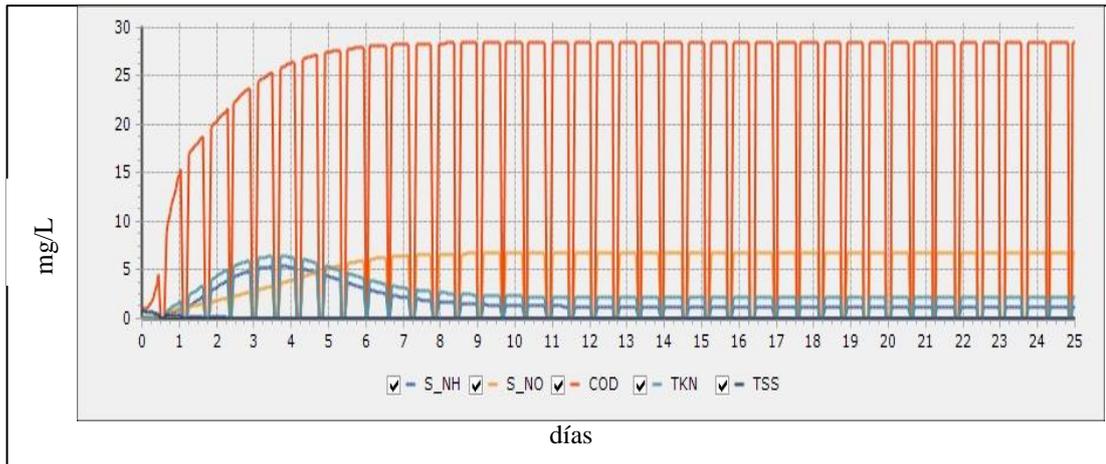


Ilustración 16-4: Concentración del efluente con 1,5 mg O₂/L en la zona aerobia

Fuente: Software WEST+ 2023.

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

La simulación con una concentración de oxígeno disuelto en el reactor aerobio de 1,5 mg O₂/L genera un efluente con una concentración de la demanda química de oxígeno de 28,45 mg/L, una concentración de sólidos totales suspendidos de 8,43E-12 mg/L y una concentración de nitrógeno amoniacal de 1,2 mg/L.

Las fluctuaciones que se observan en la ilustración son propias de un sistema MBR debido a los tiempos de relajación, filtración y retro lavado.

4.3.5. Oxígeno disuelto 2 mg O₂/L

Los resultados de la simulación con el oxígeno disuelto de 2 mg O₂/L en la zona aerobia son:

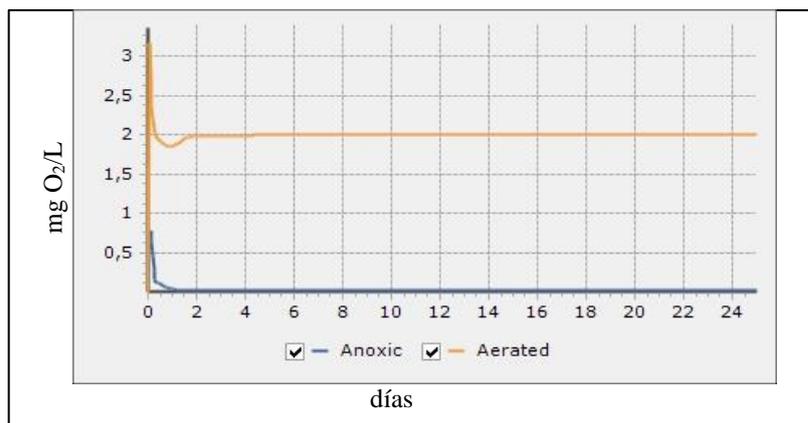


Ilustración 17-4: Concentración de 2 mg O₂/L en la zona aerobia

Fuente: Software WEST+ 2023.

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

En la ilustración 23, se puede evidenciar claramente que en el área anóxica el oxígeno disuelto se mantiene en 0 mg O₂/L, mientras que en la zona aerobia el oxígeno disuelto es de 2 mg O₂/L

A continuación, se puede observar la concentración en el efluente de las variables consideradas en este trabajo de integración curricular, a una concentración de oxígeno disuelto de 2 mg O₂/L.

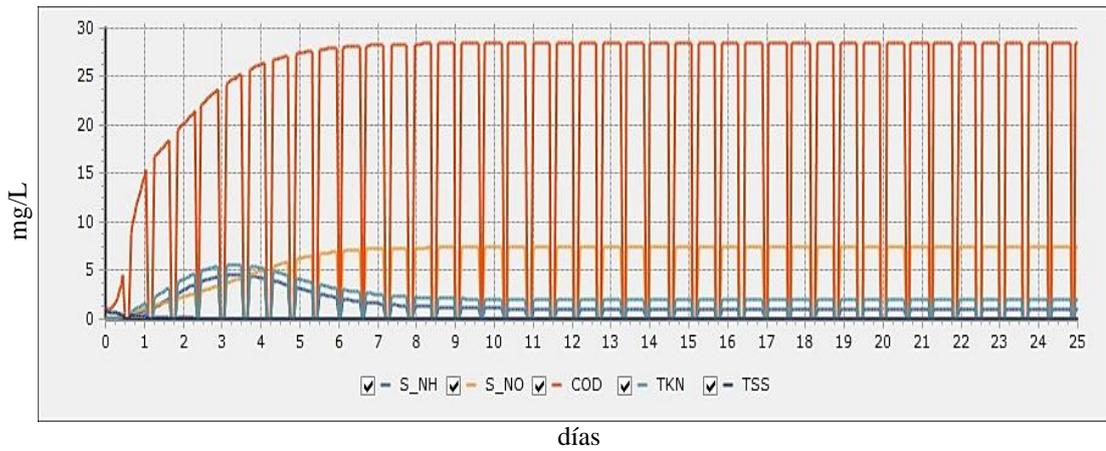


Ilustración 18-4: Concentración del efluente con 2 mg O₂/L en la zona aerobia

Fuente: Software WEST+ 2023.

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

La simulación con una concentración de oxígeno disuelto en el reactor aerobio de 2 mg O₂/L genera un efluente con una concentración de la demanda química de oxígeno de 28,41 mg/L, una concentración de sólidos totales suspendidos de 8,43E-12 mg/L y una concentración de nitrógeno amoniacal de 1,02 mg/L.

Las fluctuaciones que se observan en la ilustración son propias de un sistema MBR debido a los tiempos de relajación, filtración y retro lavado.

4.3.6. Oxígeno disuelto 2,5 mg O₂/L

Los resultados de la simulación con el oxígeno disuelto de 2,5 mg O₂/L en la zona aerobia son:

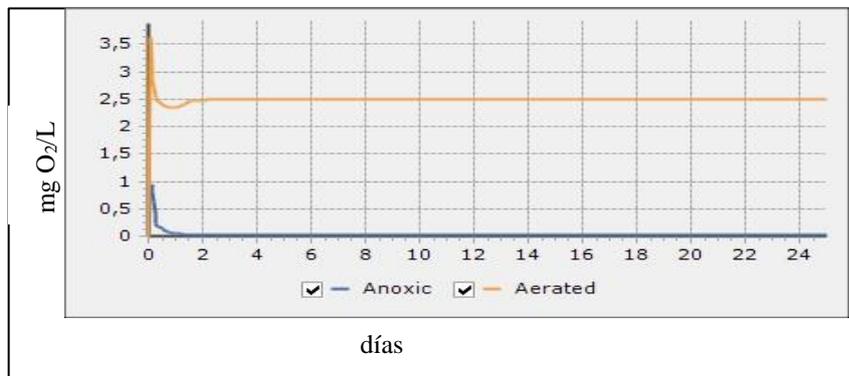


Ilustración 19-4: Concentración de 2,5 mg O₂/L en la zona aerobia

Fuente: Software WEST+ 2023.

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

En la ilustración anterior se puede observar que en la zona anóxica el oxígeno se mantiene en 0 mg O₂/L mientras que en la zona aerobia el oxígeno de 2,5 mg O₂/L.

A continuación, se puede observar la concentración en el efluente de las variables consideradas en este trabajo de integración curricular, a una concentración de oxígeno disuelto de 2,5 mg O₂/L.

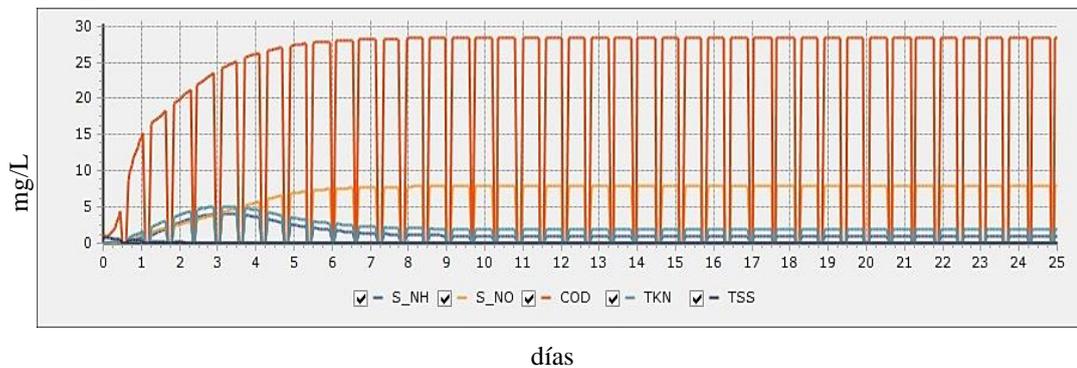


Ilustración 20-4: Concentración del efluente con 2,5 mg O₂/L en la zona aerobia

Fuente: Software WEST+ 2023.

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

La simulación con una concentración de oxígeno disuelto en el reactor aerobio de 2,5 mg O₂/L genera un efluente con una concentración de la demanda química de oxígeno de 28,39 mg/L, una concentración de sólidos totales suspendidos de 8,43E-12 y una concentración de nitrógeno amoniacal de 0,93 mg/L.

Las fluctuaciones que se observan en la ilustración son propias de un sistema MBR debido a los tiempos de relajación, filtración y retro lavado.

4.3.7. Oxígeno disuelto 3 mg O₂/L

Los resultados de la simulación con el oxígeno disuelto de 3 mg O₂/L en la zona aerobia son:

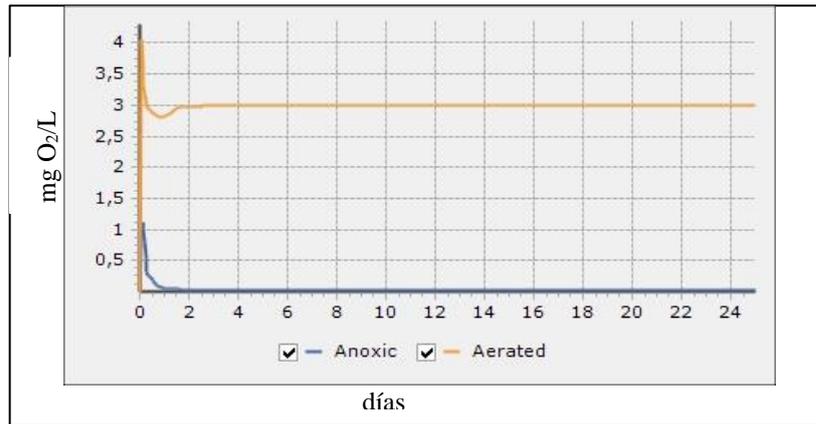


Ilustración 21-4: Concentración de 3 mg O₂/L en la zona aerobia

Fuente: Software WEST+ 2023.

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

En la anterior ilustración se puede observar que en la zona anóxica el oxígeno se mantuvo en 0 mg O₂/L mientras que en la zona aerobia el oxígeno de 3 mg O₂/L.

A continuación, se puede observar la concentración en el efluente de las variables consideradas en este trabajado de integración curricular, a una concentración de oxígeno disuelto de 3 mg O₂/L.

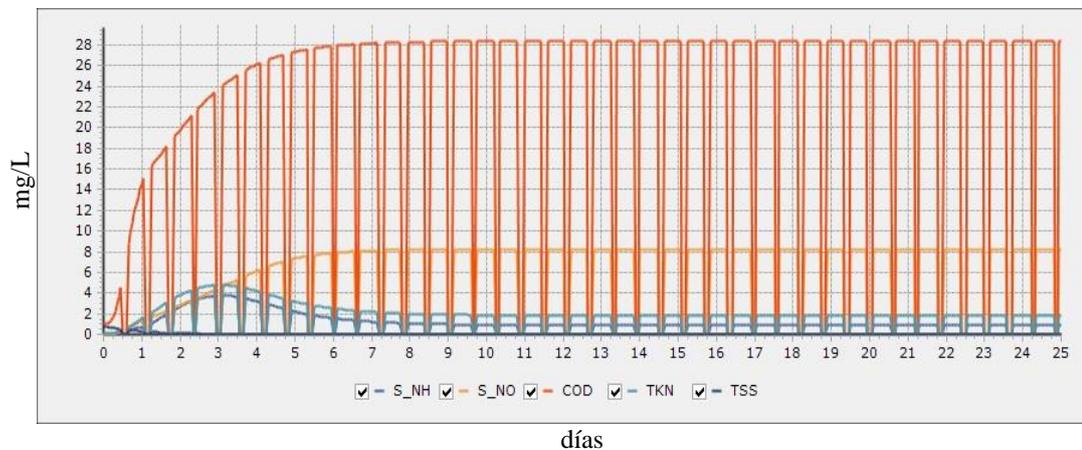


Ilustración 22-4: Concentración del efluente con 3 mg O₂/L en la zona aerobia

Fuente: Software WEST+ 2023.

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

La simulación con una concentración de oxígeno disuelto en el reactor aerobio de 3 mg O₂/L genera un efluente con una concentración de la demanda química de oxígeno de 28,38 mg/L, una concentración de sólidos totales suspendidos de 8,43E-mg/L y una concentración de nitrógeno amoniacal de 0,87 mg/L.

Las fluctuaciones que se observan en la ilustración son propias de un sistema MBR debido a los tiempos de relajación, filtración y retro lavado.

4.3.8. Resultados de las simulaciones

La calidad del efluente obtenido en las simulaciones variando la concentración de oxígeno disuelto en la zona aerobia del reactor biológico MBR cumple con los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce tal como lo indica la Tabla 10 del Anexo 1 del libro 6 del TULSMA.

Tabla 14-4: Calidad del efluente de las simulaciones vs límites de descarga del TULSMA

PARÁMETRO	UNIDAD	mg O ₂ /L							LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
		0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	
DQO	mg/L	99,3	29,1	28,5	28,5	28,4	28,4	28,4	100
SST	mg/L	8,4E-12	8,4E-12	8,4E-12	8,4E-12	8,4E-12	8,4E-12	8,4E-12	80
NH ₄ ⁺	mg/L	15,0	8,1	1,7	1,2	1,0	0,9	0,9	30

Fuente: Software WEST+ 2023 y Tabla 10 del Anexo 1 del libro 6 del TULSMA

Elaborado por: Rivadeneira A., 2023

La concentración de los sólidos suspendidos en el efluente se mantiene constante en todas las simulaciones debido al proceso de microfiltración posterior a los procesos biológicos. El software WEST+ 2023 simula la microfiltración con un 100% de efectividad es por eso que el efluente solo tiene trazas de sólidos suspendidos totales.

La siguiente tabla indica el porcentaje de remoción de los contaminantes que se obtuvieron al variar la concentración de oxígeno en la zona aerobia del reactor biológico MBR:

Tabla 15-4: Porcentaje de Remoción de las simulaciones

mg O ₂ /L	DQO (mg/L)			SST (mg/L)			NH ₄ ⁺ (mg/L)			MEDIA PONDERADA
	I	E	REMOCIÓN %	I	E	REMOCIÓN %	I	E	REMOCIÓN %	
0	304	99,27	67,3	152,9	8,43E-12	100,0	15,2	15	1,3	75,8
0,5	304	29,08	90,4	152,9	8,43E-12	100,0	15,2	8,11	46,6	92,1
1	304	28,54	90,6	152,9	8,43E-12	100,0	15,2	1,65	89,1	93,6
1,5	304	28,45	90,6	152,9	8,43E-12	100,0	15,2	1,2	92,1	93,7
2	304	28,41	90,7	152,9	8,43E-12	100,0	15,2	1,02	93,3	93,8
2,5	304	28,39	90,7	152,9	8,43E-12	100,0	15,2	0,93	93,9	93,8
3	304	28,38	90,7	152,9	8,43E-12	100,0	15,2	0,87	94,3	93,8

Fuente: Software WEST+ 2023.

Elaborado por: Rivadeneira A., 2023

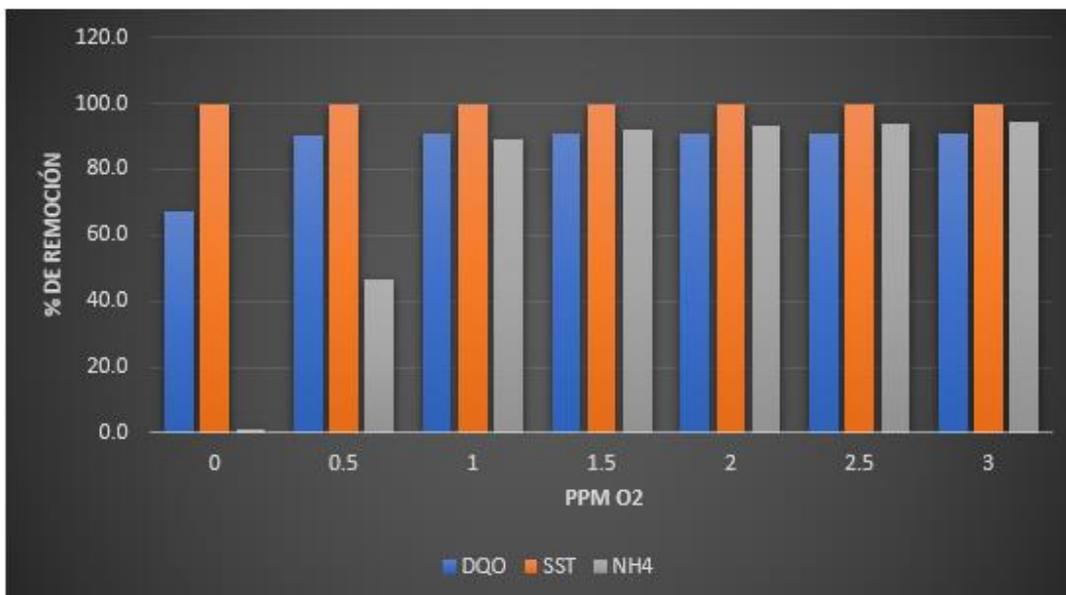


Ilustración 23-4: Comparación de los resultados de las simulaciones

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

A partir de una concentración de oxígeno disuelto de 1 mg O₂/L en la zona aerobia se puede obtener un porcentaje mayor al 93% de remoción de los contaminantes estudiados en este trabajo de integración.

4.4. Análisis económico de las alternativas simuladas

Uno de los costos de explotación más significativo de una planta de tratamiento de agua residual es el consumo de energía de eléctrica que necesitan los soplantes para suministrar el aire necesario y mantener la concentración deseada de oxígeno disuelto en la zona aerobia.

La tarifa promedio industrial del servicio eléctrico aprobado por el director del Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) es de 8,58 cUSD/kWh.

El análisis económico se realizó para las concentraciones de oxígeno disuelto de 1,5, 2, 2,5 y 3 mg O₂/L, considerando las recomendaciones del diseñador de la planta de tratamiento de agua residual Tereré donde indica que la concentración de oxígeno disuelto en la zona aerobia y cámara de membranas debe estar entre 1,5 y 3 mg O₂/L.

A continuación, se presenta los valores de la energía de aireación en kWh de cada simulación obtenida en el software WEST+ 2023 y los costos obtenidos:

Tabla 16-4: Costos de energía por aireación

Oxígeno Disuelto	Energía de Aireación	Costo energía	Costo a 25 días	Costo al mes
mg O ₂ /L	kWh	USD/kWh	USD	USD
1.5	2092.31	0.0858	179.52	222.61
2	2400.34	0.0858	205.95	255.38
2.5	2762.71	0.0858	237.04	293.93
3	3211.4	0.0858	275.54	341.67

Realizado por: Rivadeneira A., 2023

Actualmente la planta de tratamiento de agua residual Tereré trabaja con una concentración de oxígeno disuelto en la zona aerobia de 2,5 mg O₂/L lo que genera un consumo de energía aproximado según el software WEST+ 2023 de 2762,71 kWh a 25 días de simulación dando un costo por aireación de 293.93 USD/mes.

4.5. Discusión de Resultados

WEST+ 2023 es una software muy útil y confiable porque al ser calibrada con los datos reales de la planta de tratamiento de agua residual Tereré genera resultados parecidos o incluso iguales a las obtenidas in situ en la explotación de la planta.

Los resultados obtenidos en las simulaciones superan el 60% de remoción de la demanda química de oxígeno, sólidos totales suspendidos y nitrógeno amoniacal; variables que han sido consideradas en este trabajo de integración curricular.

Al variar la concentración de oxígeno disuelto en la zona aerobia del reactor biológico de membranas se obtuvieron diferentes porcentajes de remoción de contaminantes, es decir manteniendo una concentración de oxígeno disuelto de 0 mg O₂/L se obtiene una remoción global de 75.8%, manteniendo una concentración de 0,5 mg O₂/L la remoción global es de 92,1%, al mantener una concentración de oxígeno disuelto de 1 mg/L la remoción global es de 93,6%, con una concentración de 1,5 mg O₂/L la remoción global es de 93,7% y al mantener concentraciones de oxígeno disuelto de 2 mg/L, 2,5 mg/L y 3 mg/L la remoción global de contaminantes es del 93,8%.

El elevado porcentaje de remoción de contaminantes se debe a procesos biológicos y principalmente al proceso de microfiltración los cuales son propios de un reactor biológico de membranas.

En todos los casos simulados la concentración de los contaminantes en el efluente cumple con los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce tal como lo indica la Tabla 10 del Anexo 1 del libro 6 del TULSMA.

El costo de energía generado por la aireación está relacionado directamente con el set point de oxígeno disuelto en la zona aerobia del reactor biológico de membrana ya que a mayor concentración de oxígeno mayor es el consumo de energía y por ende mayor es el costo de explotación de la planta.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Al analizar de manera minuciosa cada operación unitaria y proceso biológico se identificaron tres falencias que impiden el adecuado funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Tereré. La rotura del tamiz del equipo de pretratamiento compacto permite el paso de sólidos sin ninguna restricción, el deterioro de los accesorios del sistema de filtración compromete la calidad del efluente y la falta de funcionamiento del equipo decantador centrífugo no permite la adecuada deshidratación de los fangos activados. La planta de tratamiento de agua residual necesita un mantenimiento correctivo y programado para mejorar su eficiencia.
- La base de datos de la calidad de agua del influente y del efluente de proyectos anteriores, el muestreo in situ y análisis de laboratorio conjuntamente con las dimensiones y variables operacionales del reactor biológico de membranas permitieron realizar una caracterización representativa del agua residual que ingresa a la planta de tratamiento. Se consideró un único caudal para las simulaciones debido a la falta de información y datos en tiempo real de la planta de tratamiento de agua residual, la calidad del efluente simulada por el software WEST+ 2023 es semejante a los datos reales de los contaminantes investigados en este proyecto, la concentración de la demanda química de oxígeno simulada en la calibración es de 28,4 mg/L y la real es de 22,8 mg/L, la concentración de los sólidos suspendidos totales simulados es de 8,4E-12 mg/L y la real es de 8,4 debido a que no se puede simular deficiencias en la microfiltración por fallas en los accesorios y la concentración de nitrógeno amoniacal simulada es de 0,93 mg/L y la real es de 0,45 mg/L. Una vez realizada la calibración se puede confirmar que las simulaciones generadas son confiables.
- Los valores obtenidos de las simulaciones variando la concentración de oxígeno disuelto en un rango de 0 a 3 mg O₂/L en la zona aerobia del reactor biológico de membranas demuestran porcentajes mayores al 56% de remoción de la DQO, SST y NH₄⁺. Los mejores porcentajes de remoción se obtienen a partir de simulaciones con 1,5 mg O₂/L. Considerando la recomendación del manual de operación de la empresa constructora PROTECMED donde se indica que el rango óptimo de oxígeno disuelto es de 1,5 a 3 mg O₂/L y teniendo en cuenta el actual set point de la planta de tratamiento de agua residual Tereré que es de 2,5 mg O₂/L sugiero operar la planta de tratamiento con un set point de 2 mg O₂/L en la zona aerobia ya

que este cambio nos permitiría obtener una remoción global del 94,6% de los contaminantes y por ende una optimización de la planta de tratamiento. Cabe recalcar que en todas las simulaciones realizadas la calidad del efluente cumple con los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce dispuesto en la Norma Legal Ambiental Tabla 10 del TULSMA.

- El análisis económico realizado con los resultados de las simulaciones indica una relación directa entre el consumo de energía y la aireación. Considerando mantener 2 mg O₂/L en la zona aerobia, el costo de la energía al mes por el proceso de aireación sería de 255,38 \$ y con el actual set point el costo de la energía al mes es de 293,93 \$ lo que generaría un ahorro en la explotación de la planta de tratamiento de agua residual de 38,55 \$.

5.2. Recomendaciones

- Previo a las modificaciones operacionales in situ se deben verificar los resultados obtenidos en las simulaciones realizando pruebas de laboratorio con una planta de tratamiento piloto.
- Realizar un mantenimiento preventivo al menos una vez al año antes de que los accesorios y equipos empiecen a mostrar fallas en su operación.
- Realizar estudios en la línea de fangos de la Planta de Tratamiento de Agua Residual.
- Instalar equipos de monitoreo in situ para la obtención de datos en tiempo real como el caudal de ingreso a la planta de tratamiento.

BIBLIOGRAFÍA

ACTIVATED SLUDGE MODELS ASM1, ASM2 AND ASM3. California : IWA Publishing, 2002. 1025/0913.

AEMA. Eliminación del nitrógeno en las aguas residuales. *Iagua*. [En línea]. 2018. Disponible en: www.iagua.es.

ASENSI, ENRIQUE. *Caracterización del Agua*. Valencia : mihma, 2015.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA. *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. Lima : Minagri, 2016.

DONG, WENJIE. Deep autoencoders as anomaly detectors: Method and case study in a distributed water treatment plant. *Computers & Security*. 2020, Vol. 99, 102055.

DUARTE, DEARMAS. *Remoción de nutrientes mediante coagulantes naturales y químicos en una planta de tratamiento de aguas residuales*. Valledupar, 2015. 2145-6453.

FLUENCE. Desnitrificación. *Fluence*. [En línea]. 2019. Disponible en: <https://www.fluencecorp.com/es/que-es-la-desnitrificacion/>.

GAD MUNICIPAL DE TENA. Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Tena. [En línea] 2019. Disponible en: <https://odsterritorioecuador.ec/wp-content/uploads/2019/04/PDOT-CANTON-TENA-2014-2019.pdf>.

GOSÁLBEZ, HECTOR. *Guía de Iniciación software WEST*. San Sebastián : ABGC, 2005.

HAIMENG, SUN. Nitrogen removal performance un pilot-scale solid-phase desnitrification systems using novel biodegradable blends for tratment of waste water trearment plants effluent. [En línea] 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122994>.

HANNA. Aguas Residuales. [En línea] 2016. Disponible en: <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/los-solidos-en-el-agua-maneje-sus-solidos-y-mejore-su-efluente>.

HEMMIS. *Modelización y Simulación de Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales.* España : DHI Spain, 2019.

HENZE, MOGENS. *Tratamiento biológico de aguas residuales (Principios, modelación y diseño)* . California : IWA Publishing, 2008. 9781/7804.

LI, YALIN. Mundo Agropecuario. [En línea] 2019. Disponible en: [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%](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%20)

MEDHI, KRISTINA. Nitrification and denitrification processes for mitigation of nitrous oxide from waste water treatment plants for biovalorization: Challenges and opportunities. [En línea] 2019. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.03.069>.

MELO, LAURA. *Análisis y Selección de Alternativas para el Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Tibú Colombia.* Valencia : s.n., 2016.

NANQI, REN. Inorganic flocculant for sludge treatment: Characterization, sludge properties, interaction mechanisms and heavy metals variations. *ScienceDirect*. [En línea]. 2019. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111255>.

NICHIREN, RODRIGO. 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 Moterreo. [En línea] 2020. Disponible en: <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2164>.

OLIVEROS, DAYANIS. Evaluación de la eficiencia de Remoción de nutrientes presentes en aguas residuales municipales en un sistema de tratamiento terciario. *CUC*. 2019, Vol. I.

PÉREZ, ALONSO. Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente. [En línea] 2017. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf>.

PROTECMED. *Manual de Operación y mantenimiento de la EDAR de Tereré y Palandacocha tipo BRM.* Tena : Protecmed, 2017. 040PA/01.

RAMÍREZ, JAVIER. *Obtención de los principales parámetros del agua residual urbana empleados en los modelos matemáticos de fangos activados a partir de una caracterización analítica simple.* Valencia, 2017. 1657/6985.

RIEGER, LEIV. *Guidelines for Using Activated Sludge Models.* IWA PUBLISHING, 2013. 9781/7804.

RODRÍGUEZ, HÉCTOR. Las Aguas Residuales y sus efectos contaminantes. *Iagua.* [En línea] 2017. Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>.

ROMERO, JOSÉ. Hidrometalica. [En línea] 2018. Disponible en: <https://www.hidrometalica.com/cuchara-bivalva/>.

SANTÍN, IGNACIO. Control y Operación de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales: Modelado y Simulación. Barcelona : CrossMark, 2017.

SCODELARO, FEDERICO. Ingeniería Química. [En línea] 2012. Disponible en: <https://www.ingenieriaquimica.org/articulos/introduccion-tratamiento-aguas-residuales>.

SUÁREZ, JUAN. Demanda Bioquímica de Oxígeno. *Scielo.* [En línea] 2012. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v28n1/v28n1a3.pdf>. 27-38.

TALAL, BONNY. Can machine language and artificial intelligence revolutionize process automation for water treatment and desalination. *Desalination.* 2019, Vol. 458, 96.

TEODOSIU, CARMEN. Sustainable design of large wastewater treatment plants considering multi-criteria decision analysis and stakeholders involvement. *Journal of Environmental Management.* 2020, Vol. 261, 110158.

TULSMA. *Anexo 1 del libro VI del Texto unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua.* 2014.

URBINA, EDER. Remoción de fósforo y nitrógeno de aguas residuales domésticas, mediante humedales artificiales de flujo vertical empelado antrasita y tereftalato. *Repositorio.* [En línea] 2019. Disponible en: <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/3557>.

YANGFEI, ZHENG. Combined process of bio-contact oxidation-constructed wetland for blackwater treatment. *Bioresource Technology*. [En línea] 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.1213891>.

Zhang, Yinan. Technology for Upgrading the Tailwater of Municipal Sewage Treatment Plants: The Efficacy and Mechanisms of Microbial Coupling for Nitrogen and Carbon Removal. [En línea] *Bioresource Technology*, 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123976>.



ANEXOS

ANEXO A: VISITAS TÉCNICAS A LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL TERERÉ

Pozo de Gruesos	Cuchara Bivalva
	
Equipo de Pretratamiento Compacto	Reactor Biológico de Membranas
	

Membranas con daño en la maguera de succión



Centrifugadora fuera de funcionamiento



Tubos de Aireación



Trubinas del tanque aerobio



ANEXO B: PANEL DE CONTROL PLANTA DE TRATAMIENTO TERERÉ, SISTEMA MBR.



ANEXO C: DATOS HISTÓRICOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO TERERÉ

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO ALS	UNIDAD	34612-2	INCERTIDUMBRE (K=2)	⁽³⁾ LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	⁽⁴⁾ CRITERIO DE RESULTADOS
				A2			
HIERRO	EPA 3005 A, Rev. 01, 1992 EPA 6010 B, December 1996 Standard Methods Ed. 23, 2017, 3120 B	PA - 117.00	mg/l	0,96	± 0,0099 mg/l	10,0	CUMPLE
MANGANESO		PA - 117.00	mg/l	0,176	± 0,0011 mg/l	2,0	CUMPLE
NÍQUEL		PA - 117.00	mg/l	<0,010	± 0,00011 mg/l	2,0	CUMPLE
NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-N _{org} C	PA - 72.00	mg/l	9,08	± 0,45 mg/l	50,0	CUMPLE
NITRÓGENO AMONICAL	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-NH ₃ F	PA - 30.00	mg/l	5,12	± 0,03 mg/l	30,0	CUMPLE
ORGANOCORADOS TOTALES	EPA 8270 D, Rev. 04, 2007 EPA 3510 C, Rev. 03, 1996	PA - 83.00	mg/l	⁽²⁾ <0,005	± 0,001 mg/l	0,05	CUMPLE
ORGANOFOSFORADOS TOTALES	EPA 8270 D, 2007 EPA 3510 C, 1996	PA - 84.00	mg/l	⁽²⁾ <0,005	± 0,001 mg/l	0,1	CUMPLE
PLOMO	EPA 3005 A, Rev. 01, 1992 EPA 6010 B, December 1996 Standard Methods Ed. 23, 2017, 3120 B	PA - 117.00	mg/l	<0,001	± 0,000030 mg/l	0,2	CUMPLE
POTENCIAL HIDRÓGENO	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-H+ A y 4500-H+ B	POS - 25.00	U pH	7,16	± 0,08 U pH	6 - 9	CUMPLE
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2540 A y 2540 D	PA - 16.00	mg/l	34,0	± 1,7 mg/l	130	CUMPLE
SÓLIDOS TOTALES	Standard Methods Ed. 23, 2017, 2540 A y 2540 B	PA - 14.00	mg/l	224,0	± 3,2 mg/l	1600	CUMPLE
SULFATOS	EPA 375.4 SO ₄ ²⁻ , 1978	PA - 17.00	mg/l	43,3	± 1,96 mg/l	1000	CUMPLE
SULFUROS	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-S ²⁻ A y 4500-S ²⁻ D	PA - 58.00	mg/l	<0,30	± 0,06 mg/l	0,5	CUMPLE
ZINC	EPA 3005 A, Rev. 01, 1992 EPA 6010 B, December 1996 Standard Methods Ed. 23, 2017, 3120 B	PA - 117.00	mg/l	0,045	± 0,00095 mg/l	5,0	CUMPLE
SELENIO		PA - 117.00	mg/l	<0,001	± 0,00021 mg/l	0,1	CUMPLE

Fecha de ingreso al Laboratorio: 13/10/2016

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO	***Descarga al alcantarillado publico	***Descarga a un cuerpo de agua dulce	FECHA DEL ANALISIS	PROCEDIMIENTO
(*) Aceites y grasas	mg/L	25,1	70,0	30,0	17/10/2016	APHA 5520 B, Gravimetrico
(*) Coliformes fecales	NMP/100mL	4,6 x 10 ⁴		10000	17/10/2016	APHA 9222 D
(*) Cloruros	mg/L	25		1000	14/10/2016	APHA 4500 - CI B
(*) Demanda bioquímica de oxígeno DBO5	mg/L	53	250	100	14/10/2016	PEE/CICAM/06 (APHA 5210 B)
(*) Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	147	500	200	14/10/2016	PEE/CICAM/01 (APHA 5220 D)
(*) Sólidos suspendidos	mg/L	98	220	130	19/10/2016	APHA 2540 D

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

(*) Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación N° OAE LE 2C 06-012

Los ensayos marcados con (*) no están dentro del alcance de acreditación

***Límites máximos permisibles de acuerdo al Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua. Tablas 9 y 10 (Descarga al sistema de alcantarillado público y descarga a un cuerpo de agua dulce)

Incertidumbre (U) del método (matriz acuosa)		
Parametro	Rango de trabajo	U (%)
DBO (mg/L)	2 - 200	17,3
	200 - 500	14,2
DQO (mg/L)	10-100	22,8
	100-1000	4,4
	1000-10000	15,9

Realizado por: Ing. Cristina Torres
ANALISTA RESPONSABLE



Revisado por: Ing. Carola Fierro
DIRECTORA DE CALIDAD

ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL (*)

INFORMACIÓN CÓDIGO CLIENTE	P1 DESCARGA FINAL PLANTA TERERE	TABLA 9. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE	MÉTODOS
CÓDIGO HAVOC	A18110135		

ENSAYOS	UNIDADES			
Aceites y Grasas	mg/l	<0.2	30	MEAG-43 APHA 5520 C
Aluminio	mg/l	<0.10	5.0	MEAG-49/50 APHA 3030 A/3111 AI D
Bario	mg/l	<0.12	2.0	MEAG -13 /30 APHA 3030 A/3113 Ba
Cadmio	mg/l	<0.02	0.02	MEAG -13/29 APHA 3030 A/3111 Cd B
Cloro Activo	mg/l	<0.20 ^a	0.5	MEAG-14 APHA 4500 CI G
Coliformes Fecales	NMP/100ml	<1	2000	MEAG-60 APHA 9215 E
Coliformes Totales	NMP/100ml	<1	---	MEAG-59 APHA 9215 E
Cromo Total	mg/l	<0.03	---	MEAG-13/44 APHA 3030 A/3111 Cr B
DBO ₅	mg/l	9	100	MEAG-08 APHA 5210 D
DQO	mg/l	<20	200	MEAG-04 APHA 5220 D
Fenoles	mg/l	<0.02	0.2	MEAG-05 APHA 5530 C
Oxígeno Disuelto	mg/l	6.8	---	MEAG-40 APHA 4500-O G
Niquel	mg/l	<0.05	2.0	MEAG-13/29 APHA 3030 A/3111 Ni B
Plomo	mg/l	<0.08	0.2	MEAG-13/29 APHA 3030 A/3111 Pb B
Potencial Hidrógeno	Und. pH	6.09	6-9	MEAG-15 APHA 4500 H* B
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	148	---	MEAG-37 APHA 2540 C
Sólidos Suspendidos	mg/l	<16	130	MEAG-23 APHA 2540 D
Tensoactivos	mg/l	<0.024	0.5	MEAG-09 APHA 5540 C
Zinc	mg/l	<0.2	5.0	MEAG-13/29 APHA 3030 A/3111 Zn B

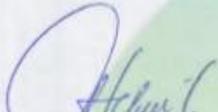
Código de Muestra: a 4316

Identificación: Agua Residual, Tomada a la salida del Reactor Biológico.

Parámetros, métodos y resultados:

Parámetros	Método de Ensayo	Referencia	Unidad	a 4316	Incertidumbre (K = 2)
*Aceites y Grasas	ITE-AQLAB-13	EPA 418.1, 1664	mg/L	0,51	~
*Amonio (NH ₄)	ITE-AQLAB-12	HACH 8038	mg/L	< 1,00	~
*Demanda Bioquímica de Oxígeno	ITE-AQLAB-08	SM 5210 D	mg/L	< 1	~
Demanda química de Oxígeno	ITE-AQLAB-07	HACH 8000	mg/L	< 25	± 10%
*Fosfatos	ITE-AQLAB-51	HACH 8048	mg/L	3,78	~
*Nitratos (NO ₃)	ITE-AQLAB-17	HACH 8039	mg/L	7,97	~
*Sólidos Volátiles	ITE-AQLAB-05	SM 2540 E	mg/L	2	~
*Sólidos totales suspendidos	ITE-AQLAB-05	SM 2540 D, HACH 8006	mg/L	2,0	~




Ing. Armando Meléndrez Lara
DIRECTOR TÉCNICO

ANEXO D: TOMA DE MUESTRAS PARA REALIZAR ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS EN LABORATORIO

Agua Residual de Entrada



Fango activado - Tanque Aerobio



Efluente - Destino al estero Tamiayacu



Estero Tamiayacu que desemboca en el río Misahuallí



Etiquetado y envío de muestras al Laboratorio AqLab



ANEXO E: RESULTADOS ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL, LABORATORIO AQLAB.

INFORME DE ENSAYO N° 18 520 a

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Coca, 16 de marzo de 2023

Empresa:	ANTONY RIVADENEIRA.		
Solicitado por:	Sr. Antony Rivadeneira.	Dirección:	Tena.
Toma de muestra:	Sr. Antony Rivadeneira.	Fecha y Hora:	09/03/2023 10:00
Identificación de la muestra:	Agua Residual PTAR Tereré.		

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

Fecha y hora ingreso al Laboratorio:	09/03/2023	16:49	Condiciones Ambientales	T max: 32°C
Fecha Final de Análisis:	16/03/2023			T min: 22°C

PARÁMETROS, MÉTODO / REFERENCIA y RESULTADOS

Parámetros / Análisis Solicitado	Método de Referencia ITE-AQLAB	Límite Máximo Permitido #	Unidad	Resultado	Incertidumbre (k=2)
Demanda química de Oxígeno	SM 5220 D / 07	200	mg/L	164	± 18%
*Demanda Bioquímica de Oxígeno	SM 5210 D / 08	100	mg/L	90	~
*Nitrógeno Total	HACH 8038 / 12	50,0	mg/L	13,75	~

Fuente: Acuerdo Ministerial N° 097-A 04 Noviembre 2015. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Tabla 9 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

REFERENCIA Y OBSERVACIONES:

El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente.

Los límites permisibles de las Normativas (#) y los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.

Los resultados solo se refieren a la muestra sometida a ensayo, "la misma que ha sido suministrada por el cliente".

Cuando la muestra es tomada por el personal de AQLAB, las condiciones de toma de muestra son controladas según el ITO-AQLAB-01, ésto no incide en los resultados que se describen en el presente informe.

El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos relacionados a la muestra son conforme lo solicitado por el cliente.

Prohibida la reproducción parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.



(Firma manuscrita)
Ing. Nelson Siguango

ASISTENTE DE LA DIRECCION TECNICA
AUTORIZADO

18 520 a

INFORME DE ENSAYO N° 18 520 b

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Coca, 16 de marzo de 2023

Empresa:	ANTONY RIVADENEIRA.		
Solicitado por:	Sr. Antony Rivadeneira.	Dirección:	Tena.
Toma de muestra:	Sr. Antony Rivadeneira.	Fecha y Hora:	09/03/2023 10:00
Identificación de la muestra:	Agua Residual Filtrada PTAR Tereré.		

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

Fecha y hora ingreso al Laboratorio:	09/03/2023	16:49	Condiciones Ambientales	T max: 32°C
Fecha Final de Análisis:	16/03/2023			T min: 22°C

PARÁMETROS, MÉTODO / REFERENCIA y RESULTADOS

Parámetros / Análisis Solicitado	Método de Referencia ITE-AQLAB	Límite Máximo Permitido [®]	Unidad	Resultado	Incertidumbre (k=2)
Demanda Química de Oxígeno	SM 5220 D / 07	200	mg/L	68	± 18%
*Demanda Bioquímica de Oxígeno	SM 5210 D / 08	100	mg/L	27	~
*Nitratos (N-NO3)	HACH 8039 / 17	**	mg/L	< 1,00	~
Nitritos (N-NO2)	SM 4500-NO2 B / 16	**	mg/L	0,034	± 15%
*Nitrógeno Total	HACH 8038 / 12	50,0	mg/L	8,72	~
*Nitrógeno amoniacal	HACH 8038 / 12	30,0	mg/L	8,19	~

Fuente: Acuerdo Ministerial N° 097-A 04 Noviembre 2015. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes. Recurso Agua. Tabla 9 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce
** No establecida en la Tabla.

REFERENCIA Y OBSERVACIONES:

El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente.
Los límites permisibles de las Normativas [®] y los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.
Los resultados solo se refieren a la muestra sometida a ensayo, "la misma que ha sido suministrada por el cliente".
Cuando la muestra es tomada por el personal de AQLAB, las condiciones de toma de muestra son controladas según el ITO-AQLAB-01, éstas no inciden en los resultados que se describen en el presente informe.
El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos relacionados a la muestra son conforme lo solicitado por el cliente.
Prohibida la reproducción parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio




 Ang. Nelson Shiguango.
**ASISTENTE DE LA DIRECCIÓN TÉCNICA
 AUTORIZADO**

INFORME DE ENSAYO N° 18 520 d

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Coca, 14 de marzo de 2023

Empresa:	ANTONY RIVADENEIRA.		
Solicitado por:	Sr. Antony Rivadeneira.	Dirección:	Tena.
Toma de muestra:	Sr. Antony Rivadeneira.	Fecha y Hora:	09/03/2023 10:20
Identificación de la muestra:	Licor Mezcla MBR Reactor, Aerobio PTAR Tereré.		

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

Fecha y hora ingreso al Laboratorio:	09/03/2023	16:49	Condiciones Ambientales	T max: 32°C
Fecha Final de Análisis:	14/03/2023			T min: 22°C

PARÁMETROS, MÉTODO / REFERENCIA y RESULTADOS

Parámetros / Análisis Solicitado	Método de Referencia ITE-AQLAB	Límite Máximo Permitido [®]	Unidad	Resultado	Incertidumbre (k=2)
*Sólidos totales suspendidos	SM 2540 D / 05	130	mg/L	7280,00	~

Fuente: Acuerdo Ministerial N° 097-A 04 Noviembre 2015. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes. Recurso Agua. Tabla 9 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

REFERENCIA Y OBSERVACIONES:

El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente.
Los límites permisibles de las Normativas [®] y los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.
Los resultados solo se refieren a la muestra sometida a ensayo, "la misma que ha sido suministrada por el cliente".
Cuando la muestra es tomada por el personal de AQLAB, las condiciones de toma de muestra son controladas según el ITO-AQLAB-01, éstas no inciden en los resultados que se describen en el presente informe.
El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos relacionados a la muestra son conforme lo solicitado por el cliente.
Prohibida la reproducción parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio




 Ang. Nelson Shiguango.
**ASISTENTE DE LA DIRECCIÓN TÉCNICA
 AUTORIZADO**

INFORME DE ENSAYO N° 18 520 f

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Coca, 14 de marzo de 2023

Empresa:	ANTONY RIVADENEIRA.			
Solicitado por:	Sr. Antony Rivadeneira.	Dirección:	Tena.	
Toma de muestra:	Sr. Antony Rivadeneira.	Fecha y Hora:	09/03/2023	10:20
Identificación de la muestra:	Agua Tratada PTAR Tereré.			

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

Fecha y hora ingreso al Laboratorio:	09/03/2023	16:49	Condiciones Ambientales	T max: 32-C
Fecha Final de Análisis:	14/03/2023			T min: 22-C

PARÁMETROS, MÉTODO / REFERENCIA y RESULTADOS

Parámetros / Análisis Solicitado	Método de Referencia ITE-AQLAB	Límite Máximo Permitido ^(*)	Unidad	Resultado	Incertidumbre (k=2)
*Sólidos totales suspendidos	SM 2540 D / 05	130	mg/L	4,00	-

Fuente: Acuerdo Ministerial N° 097-A 04 Noviembre 2015. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Tabla 9 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

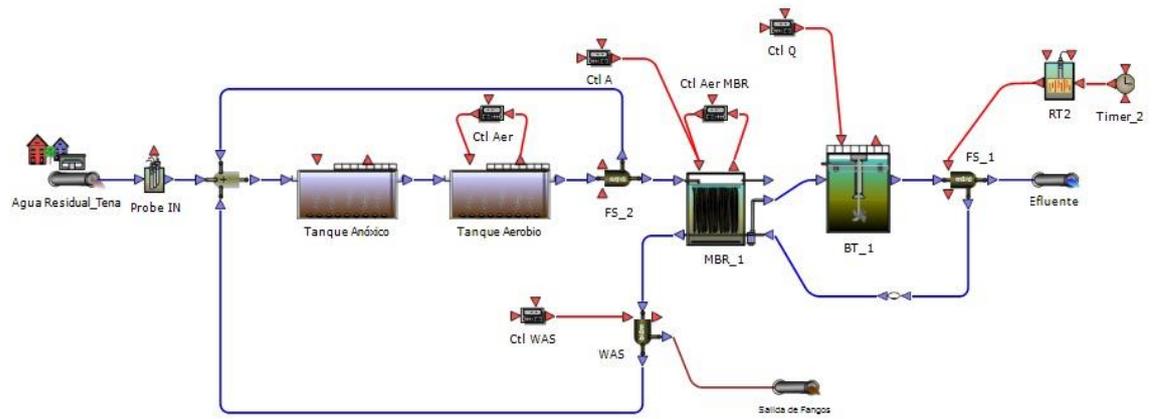
REFERENCIA Y OBSERVACIONES:

El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente.
 Los límites permisibles de las Normativas ^(*) y los ensayos marcados con ^(*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.
 Los resultados solo se refieren a la muestra sometida a ensayo, "la misma que ha sido suministrada por el cliente".
 Cuando la muestra es tomada por el personal de AQLAB, las condiciones de toma de muestra son controladas según el ITO-AQLAB-01, éstas no inciden en los resultados que se describen en el presente informe.
 El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos relacionados a la muestra son conforme lo solicitado por el cliente.
 Prohibida la reproducción parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.




 Ing. Nelson Shiguango.
**ASISTENTE DE LA DIRECCION TECNICA
 AUTORIZADO**

ANEXO F: ESQUEMA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL TERERÉ EN WEST+ 2023.





epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 14 / 08 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Antony Ronaldo Rivadeneira Mosquera
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Ambiental
Título a optar: Ingeniero Ambiental
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

1598-DBRA-UPT-2023

