



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**“EVALUACIÓN OPERACIONAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE ESTELÍ, DEPARTAMENTO DE ESTELÍ,
NICARAGUA”**

Para optar al título de ingeniero civil

Elaborado por

Br. Walter Isaac Pinell Centeno
Br. Francisco Antonio López Valdivia

Tutor

Msc.Ing. Henry Vílchez

Managua, Diciembre de 2016

Dedicatoria

Este trabajo investigativo está dedicado:

A Dios, por sus bendiciones y permitirme alcanzar mis metas propuestas.

A mis padres, que con amor y sacrificio me han apoyado en la culminación de este proyecto académico.

A los maestros, que nos apoyaron y guiaron para salir adelante en el desarrollo de esta investigación.

A nuestros compañeros de estudio, que durante cinco años se caracterizó por ser un grupo unido y perseverante, lo que nos permitió superar las dificultades presentados a lo largo del camino.

WALTER ISAAC PINELL CENTENO

Dedicatoria

Este trabajo investigativo está dedicado:

A Dios: Por darme fuerzas cada día para seguir adelante y permitirme alcanzar todas mis metas propuestas.

A mis Padres: José Francisco López Narváez y María Teresa Valdivia Centeno que con su lucha y sacrificio me han apoyado cada instante de mi vida e incondicionalmente en mi proyecto académico.

A mis hermanos: Que me han brindado su cariño y apoyo para seguir adelante en la culminación de mis metas.

A nuestros maestros: Que nos transmitieron sus conocimientos y nos motivaron a seguir adelante en nuestros estudios profesionales.

A nuestros compañeros de estudio, que durante cinco años se caracterizó por ser un grupo unido y perseverante, lo que nos permitió superar las dificultades presentados a lo largo del camino.

FRANCISCO ANTONIO LÓPEZ VALDIVIA

Agradecimientos

Agradecimiento a Dios nuestro Padre, que nos guio e iluminó en todo tiempo para lograr nuestras metas.

Agradecemos especialmente a nuestro tutor Msc. Ing. Henry Vílchez por dedicar su tiempo, para guiarnos y brindarnos sus conocimientos en la elaboración del presente trabajo.

A ENACAL, por brindarnos la oportunidad de realizar nuestro proyecto investigativo en las instalaciones que están a su cargo.

A todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron a la realización de este proyecto investigativo, ya que sin ellos y las personas antes mencionadas e instituciones no hubiese sido posible la culminación de nuestros estudios profesionales.

*WALTER ISAAC PINELL CENTENO
FRANCISCO ANTONIO LÓPEZ VALDIVIA*

Índice

Capítulo I. Aspectos generales	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Justificación.....	4
1.4 Objetivos	5
1.4.1 Objetivo general.....	5
1.4.2 Objetivos específicos	5
Capítulo II. Marco Teórico	7
2.1 Marco teórico	7
2.2 Aguas residuales.....	7
2.3 Red de alcantarillado sanitario	7
2.4 Tipos de fuentes de contaminación acuática	7
2.4.1 Agua residual doméstica	7
2.4.2 Agua residual industrial	8
2.5 Parámetros principales de las aguas residuales	8
2.5.1 Parámetros físicos.....	8
2.5.1.1 Temperatura.....	8
2.5.1.2 Contenido de sólidos.....	8
2.5.2 Parámetros químicos.....	9
2.5.2.1 Potencial de hidrogeno (pH).....	9
2.5.2.4 Oxígeno disuelto (OD)	10
2.5.3 Parámetros biológicos	10
2.5.3.1 Coliformes fecales (CF).....	10
2.6 Tratamiento de aguas residuales	10
2.6.1 Etapas del tratamiento de aguas residuales.....	11
2.6.1.1 Tratamiento preliminar	11
2.6.1.2 Tratamiento primario	11
2.6.1.3 Tratamiento secundario	12
2.7 Sistema de tratamiento con Lagunas	12
2.7.1 Clasificación de las lagunas de estabilización	13

2.7.1.1	Lagunas aerobias.....	13
2.7.1.2	Lagunas anaerobias.....	13
2.7.1.3	Lagunas facultativas	13
2.7.1.4	Lagunas maduración.....	14
2.8	Ventajas y desventajas de las lagunas de estabilización	15
2.9	Procesos que se desarrollan en las lagunas de estabilización	15
2.10	Factores climáticos que afectan a las lagunas.....	16
2.10.1	Temperatura.....	16
2.10.2	Radiación solar.....	16
2.10.3	Viento	16
2.10.4	Infiltración y evaporación.....	17
2.10.5	Precipitación.....	17
2.11	Factores físicos.....	17
2.11.1	Flujo a través de las lagunas.....	17
2.11.2	Profundidad.....	17
2.12	Factores químicos y bioquímicos.....	18
2.12.1	pH.....	18
2.12.2	Oxígeno disuelto	18
2.12.3	Sedimentación de lodos.	18
2.12.4	Sulfuros	19
2.13	Carga orgánica	19
2.13.1	Carga orgánica.....	19
2.14	Operación y mantenimiento	19
Capítulo III. Diagnóstico del sitio		22
3.1	Diagnóstico del área de estudio	22
3.1.1	Descripción del área de estudio	22
3.1.2	Características geofísicas	23
3.1.3	Características climáticas.....	23
3.1.4	Características hidrológicas	23
3.1.5	Actividad económica.....	23

3.1.6	Descripción del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Estelí.....	24
3.1.6.1	Tratamiento preliminar	24
3.1.6.2	Tratamiento primario	26
3.1.6.3	Tratamiento Secundario	28
3.1.6.4	Efluente general STAR – Estelí.....	30
Capítulo IV. Diseño metodológico		34
4.1.	Tipo de investigación.....	34
4.2.	Procedimiento	34
4.2.1.	I Etapa	34
4.2.2.	II Etapa.....	35
4.2.2.1	Medición de caudales	35
4.2.2.2	Muestreo de las aguas residuales del STAR	36
4.2.2.3	Parámetros físicos-químicos evaluados.....	39
4.2.2.4	Verificación de dimensiones del STAR	40
4.2.2.5	Determinación del tiempo de retención	40
4.2.2.6	Balance Hídrico.....	40
4.2.2.7	Herramientas de recolección de datos	41
4.2.2.8	Procesamientos de datos.....	41
4.2.2.9	Métodos de cálculos aplicados para lagunas de estabilización ..	41
4.2.2.10	Determinación de las eficiencias en el STAR	43
4.2.2.11	Regulaciones ambientales	43
Capitulo V. Resultados y discusión.....		46
5.1	Registro de medición de caudal	46
5.2	Capacidad Hidráulica	47
5.3	Balance hídrico	48
5.4	Resultados de los análisis físico-químicos y bacteriológicos	50
5.5	Relación temperatura y pH en el afluente del STAR.....	55
5.6	Relación entre temperatura y coliformes fecales en el afluente del STAR	56
5.7	Comparación entre remoción real y teórica.....	69
5.9	Determinación de la Carga orgánica total	71

5.10	Determinación de la Carga máxima Superficial	71
5.10.1	Método de Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), Yáñez (1992)	71
5.11	Comparación entre las cargas superficiales aplicadas a cada laguna..	75
5.12	Conclusiones	76
5.13	Recomendaciones	77
5.14	Bibliografía	78
5.15	Anexos	79

Índice de tablas

Tabla 2.1: Clasificación de las lagunas de estabilización	14
Tabla 2.2: Ventajas y desventajas de las lagunas de estabilización	15
Tabla 3.1: Condiciones de operaciones y mantenimiento por cada fase de tratamiento	31
Tabla 4.1: Aforos realizados al STAR-Estelí	35
Tabla 4.2: Frecuencia de muestreo	38
Tabla 4.3: Métodos utilizados para el análisis de laboratorio	39
Tabla 4.4: Límites máximos permisibles para poblaciones mayores de 75,000 habitantes.....	44
Tabla 5.1: Capacidad hidráulica de las Laguna de estabilización	47
Tabla 5.2: Balance Hídrico de las lagunas	49
Tabla 5.3: Resultados de análisis de laboratorios de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del afluente y efluente general del STAR	50
Tabla 5.4: Muestreo promedio realizado al módulo A, el día martes 29 de marzo del 2016.	57
Tabla 5.5: Muestreo realizado al módulo B	61
Tabla 5.6: Muestreo realizado al módulo C	65
Tabla 5.7: Comparación entre porcentajes de remoción real y teórica de loa reactores UASB.....	69
Tabla 5.8: Comparación entre porcentajes de remoción real y teórica de las lagunas de estabilización.....	69
Tabla 5.9: Resultado de carga orgánica en términos de DBO y DQO que ingresan y egresan del sistema	70
Tabla 5.10: Carga orgánica total a tratar y concentración teórica de DBO ₅	71
Tabla 5.11: Correlaciones de carga superficial para reactores UASB del STAR Estelí	72
Tabla 5.12: Correlaciones de carga superficial para lagunas primarias del STAR Estelí	73
Tabla 5.13: Correlaciones de carga superficial para lagunas secundarias del STAR Estelí	74

Tabla 5.14: Comparación entre los módulos del STAR con respecto a las cargas superficiales aplicadas a cada laguna.....	75
---	----

Índice de imágenes

Imagen 3.1: Macro y micro localización del STAR – Estelí	22
Imagen 3.2: Estado de los reactores UASB.....	28
Imagen 3.3: Acumulación de natas en laguna facultativa.....	29
Imagen 3.4: Estado físico de laguna de maduración.....	30

Índice de esquemas

Esquema 3.1 Tratamiento preliminar	25
Esquema 3.2 Tratamiento primario	27
Esquema 3.3 Tratamiento secundario.....	28
Esquema 3.4 Efluente Final	31
Esquema 4.5. Puntos de muestreo seleccionados dentro del STAR.	37

Índice de ecuaciones

Ecuación 4.1.....	36
Ecuación 4.2.....	36
Ecuación 4.3.....	40
Ecuación 4.4.....	40
Ecuación 4.5.....	41
Ecuación 4.6.....	42
Ecuación 4.7.....	42
Ecuación 4.8.....	42
Ecuación 4.9.....	43
Ecuación 4.10.....	43
Ecuación 4.11.....	43

Índice de gráficos

Gráfica 5.1: Registro de medición de caudales	46
Gráfica 5. 2: Resultados de análisis fisicoquímicos del afluente y efluente general del STAR.....	52
Gráfica 5. 3 Concentración promedio de coliformes fecales en el afluente y efluente del STAR.....	53
Gráfica 5. 4: Eficiencias de remoción de contaminantes en el afluente y efluente general del STAR.	54
Gráfica 5. 5: Comportamiento de la temperatura y el pH.....	55
Gráfica 5. 6: Comportamiento de la temperatura y el pH.....	56
Gráfica 5. 7: Resultados de los análisis fisicoquímicos del efluente del módulo A.	58
Gráfica 5. 8: Concentración de coliformes fecales en el efluente del módulo A	59
Gráfica 5. 9: Eficiencias de remoción de contaminantes en módulo A.....	60
Gráfica 5. 10: Resultados de los análisis fisicoquímicos del efluente del módulo B	62
Gráfica 5. 11: Concentración de coliformes fecales en el efluente del módulo B...	63
Gráfica 5. 12: Eficiencias de remoción de contaminantes en el módulo B	64
Gráfica 5. 13: Resultados de los análisis fisicoquímicos del efluente del módulo C	66
Gráfica 5. 14: Concentración de coliformes fecales en el efluente del módulo C...	67
Gráfica 5. 15: Eficiencias de remoción de contaminantes en módulo C	68

Lista de abreviaturas

DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxígeno

DQO: Demanda Química de Oxígeno

ENACAL: Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios

INAA: Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados

Kg. /día: Kilogramos por Día

LF: Laguna Facultativa

L/S: Litros por segundo

MARENA: Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales

Mg/L: Miligramos por litro

pH: Potencial de Hidrogeno

STAR: Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

Qm: Caudal medio

SS: Sólidos Sedimentables

SST: Sólidos Suspendedos Totales

Glosario

Afluente: Se entiende como el líquido que entra a un sistema de tratamiento.

Efluente: Líquido que sale de un proceso de tratamiento y que puede ser vertido a una quebrada o río.

Aguas residuales: Son aquellas procedentes de actividades domésticas, comerciales, industriales y agropecuarias que presentan características físicas, químicas y biológicas que causan daño a la calidad de agua, suelo, biota y a la salud humana.

Cuerpo receptor: Es parte del medio ambiente en el cual pueden ser vertidos, directa o indirectamente, cualquier tipo de efluentes tratados o no tratados proveniente de actividades contaminantes o potencialmente contaminante, tales como: Cursos de aguas drenajes naturales, lagos, lagunas, ríos, embalses y el océano.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): Es la cantidad de oxígeno disuelto en el agua que es utilizada por los microorganismos en la degradación de la materia orgánica.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Medida de capacidad de consumo de oxígeno por la materia orgánica presente en el agua residual. Se expresa como la cantidad de oxígeno consumido por la oxidación química.

Lodo: Sólidos acumulados separados de las aguas residuales generados en los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Muestras Simples o Instantáneas: Son muestras captadas en una unidad de tiempo y representan las características del agua residual en ese momento.

Muestras compuestas: Son la mezcla de varias muestras instantáneas recolectadas en el mismo punto de muestreo en diferentes tiempos a intervalos regulares generalmente una hora, durante 24 horas.

Parámetro: Es un valor cualquiera de una variable independiente que se refiere a un elemento o atributo que permite cualificar o cuantificar una propiedad determinada del cuerpo físico en cuanto a ciertas propiedades.

Sólidos sedimentables: Los sólidos (mg/L) de tamaño y peso suficiente para asentarse cuando se dejan reposar durante un tiempo.

Sólidos Suspendidos Totales (SST): Cantidad de sólidos (mg/L) que se encuentran en un filtro por la cual se ha pasado el contenido de una muestra de agua y después evaporar lo que queda en el filtro a 103-105

Resumen

El presente trabajo se realizó con el objetivo de evaluar la eficiencia, operación y mantenimiento del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Estelí, a través de la determinación de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos establecidos en los Artos. 22 y 23 del Decreto 33-95 y la norma NTON 05 027 05 (Titulo 11: Reúso de las aguas tratadas).

El sistema de tratamiento en estudio está compuesto por tres módulos independientes. Cada módulo constituido por 3 unidades de tratamiento (UASB, laguna facultativa y maduración). Para la determinación de las variaciones de caudal en la entrada y salida del STAR se realizaron aforos por tres días consecutivos con frecuencia de 8h, utilizando canales rectangulares y canaletas parshall para conocer el comportamiento hidráulico del sistema.

El muestreo del sistema se llevó a cabo en la última semana de marzo del 2016; durante 3 días consecutivos de muestreo se determinaron los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos como: temperatura del agua, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, DBO₅, DQO, grasas y aceites, sustancias activas al azul de metileno y coliformes fecales, los cuales a través de análisis de laboratorio proporcionaron la información necesaria sobre el funcionamiento del sistema.

Las muestras compuestas se efectuaron en la entrada y salida general del STAR donde se realizaron seis muestreos por tres días consecutivos con frecuencia de 10h. Las muestras simples se realizaron durante un día con frecuencia de 10 min, en la entrada y salida de los reactores UASB y lagunas de estabilización que comprende cada módulo.

La eficiencia total del sistema según la remoción de DBO, DQO y coliformes fecales fue de 92.48%, 86.95% y 81.16% respectivamente, sin embargo el porcentaje de remoción de coliformes no es lo suficiente para cumplir con los Art 22 y 23 del

Decreto 33-95 indicando el alto nivel de contaminación que aún tiene el efluente, debido a la falta de mantenimiento en las unidades de tratamiento que conforman el STAR-Estelí.

Palabras claves: UASB, STAR, DQO, DBO₅, evaluación.

Capítulo I.



Aspectos Generales.



Capítulo I. Aspectos generales

1.1 Introducción

La contaminación del agua es conocida desde la antigüedad, ya que existen varios factores que afectan su calidad y cantidad, debido a la influencia de materia orgánica e inorgánica y agentes patógenos presentes en las aguas residuales, producto de las diferentes actividades humanas, por lo cual se han venido implementado las plantas de tratamiento de aguas residuales con el propósito de reducir la presencia de estos elementos contaminantes.

El sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Estelí trabaja por medio de reactores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) y lagunas de estabilización del tipo facultativa, las cuales operan gracias a la presencia de bacterias facultativas que se encargan de realizar el proceso de degradación de la materia orgánica y dichas aguas residuales tratadas son vertidas a la Quebrada La Limonosa, afluente del río Estelí. El STAR está compuesto por tres módulos de tratamiento, cada módulo está constituido de la siguiente manera: Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) + Laguna Facultativa (LF) + Laguna de Maduración (LM).

Tomando en consideración lo antes expuesto se realizó una evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) de la ciudad de Estelí, con lo cual se valoró la operación, mantenimiento y la eficiencia de remoción de materia orgánica y patógenos para lograr estos objetivos se realizaron visitas de campo, muestreo y los análisis de laboratorio realizados, tomando en cuenta los parámetros máximos establecidos en los artículos N° 22 y 23 del Decreto 33-95: “Disposiciones para el control de la contaminación proveniente de las descargas de las aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias”.

Para la determinación de las variaciones de caudal en la entrada y salida del STAR se realizaron aforos por tres días consecutivos con frecuencia de 8h, utilizando canales rectangulares y canaletas parshall para conocer el comportamiento

hidráulico del sistema. Las muestras compuestas se efectuaron en la última semana de marzo del 2016, en la entrada y salida general del STAR donde se realizaron seis muestreos por tres días consecutivos, con frecuencia de 10h. Las muestras simples se realizaron durante un día con frecuencia de 1h, en la entrada y salida de los reactores UASB y lagunas de estabilización que comprende cada módulo.

En este documento se reflejan los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio realizados a las diferentes muestras de aguas residuales extraídas del sistema de tratamiento (STAR); proporcionando así una mayor información técnica sobre el funcionamiento y comportamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales.

1.2 Antecedentes

El sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) del municipio de Estelí se encuentra ubicado en la salida norte de la ciudad, en las siguientes coordenadas geográficas: 13° 6'37.67"N, 86°21'43.94"O y fue construido con un sistema de pretratamiento compuesto por dos rejillas gruesas y una rejilla fina, un desarenador, un tratamiento primario compuesto por reactores UASB y un tratamiento secundario por medio de lagunas facultativas que formaban parte de tres módulos de tratamiento (A, B y C) que comprendía el STAR con el fin de operar paralelamente.

De acuerdo a ENACAL (2015), el diseño del primer módulo de tratamiento "A" fue presentado por la Dirección de diseño y construcción del INAA en 1985 y construido en 1986 con fondos del gobierno de Nicaragua. El financiamiento del módulo "B" se consiguió por medio de fondos alemanes a través de las "Casas hermanas" y el módulo "C" fue construido en el año 1994 con ayuda del financiamiento de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID). Cabe destacar que los módulos B y C siguieron las especificaciones de diseño que el INAA elaboró para el módulo "A". El caudal de diseño del STAR para esos tres módulos era de 100 L/s.

La primera rehabilitación que se le realizó a este sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) fue en 1995 al módulo "A" y entre los años 1999 y 2000 a los módulos "B" y "C", después del Huracán Mitch en octubre de 1998.

Todos estos cambios fueron requeridos debido a que el sistema era ineficiente porque no cumplía con los valores máximos permisibles de los parámetros DBO₅, DQO Y Coliformes Fecales establecidos en los artos. 22 y 23 del Decreto 33-95 “Disposiciones para el control de la contaminación proveniente de las descargas de las aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias” y se requería de un sistema que tratara mayor volumen de aguas residuales debido que la población de la ciudad de Estelí que tenía acceso al sistema de alcantarillado sanitario había aumentado un 50% en los últimos años.

Las evaluaciones y monitoreos periódicos realizados al STAR a través de los laboratorios del Centro de Investigaciones de Recursos Acuáticos de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA – UNAN), en el 2002 el sistema de tratamiento de las aguas residuales (STAR) de la ciudad de Estelí incumplía con varios parámetros establecidos en del Decreto 33-95.

Entre los parámetros que incumplía dicha planta de tratamiento se encontraban grasas, aceites, DQO, DBO₅, sólidos suspendidos totales y coliformes fecales, lo cual dio paso a realizar un mejoramiento del STAR al módulo “A” entre julio y octubre del 2003 y a los módulos B y C entre diciembre 2003 a octubre del 2004.

Se amplió la capacidad de 100 a 300 L/s, que es el caudal proyectado para el año 2024. Todo esto se logró después de realizar una serie de modificaciones en la combinación existente de Lagunas Facultativas primarias (LF) + Lagunas Aerobias secundarias (LA), por un sistema de Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) + Laguna Facultativa (LF) + Laguna de Maduración (LM).

Así también se realizó la ampliación de la capacidad de tratamiento del volumen de aguas residuales proveniente de la Red de Alcantarillado Sanitario (RAS) para que el efluente del STAR cumpliera con lo especificado en los artículos N° 22 y 23 del Decreto 33-95: “Disposiciones para el control de la contaminación proveniente de las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias”.

1.3 Justificación

Uno de los problemas que ha venido enfrentando la ciudad de Estelí en los últimos años es la contaminación ambiental, como es el caso de las afectaciones a la salud pública de la población que habita en las cercanías del STAR debido a los malos olores que esta genera, ya sea por un posible mal funcionamiento o falta de mantenimiento del sistema. Así también es importante mencionar la contaminación a los cuerpos de aguas como es el caso del río Estelí, producto de la descarga de aguas residuales provenientes de casas particulares que habitan a lo largo de la rivera del río y no cuentan con el servicio de alcantarillado sanitario.

Debido a lo mencionado anteriormente, esta investigación se realizó con el objetivo de diagnosticar el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales municipales de la ciudad de Estelí, logrando de esta manera obtener nueva información sobre la operación del sistema de tratamiento por lagunas de estabilización, mediante un análisis de su eficiencia y funcionamiento, lo cual podrá considerarse como punto de referencia para comprobar el estado de la planta de tratamiento municipal en lo respectivo al cumplimiento de los parámetros establecidos en los Artos. N° 22 y 23 del Decreto 33-95 y la norma NTON 05 027-05.

Por lo descrito en el párrafo anterior, este estudio servirá para plantear una solución que contribuya a mejorar la eficiencia del sistema de tratamiento, lo cual beneficiará las condiciones ambientales del cuerpo receptor y de la población que reside en los márgenes del STAR.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) de la ciudad de Estelí.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Determinar las variaciones de caudal en la entrada y salida del STAR para conocer el comportamiento hidráulico del sistema.
2. Verificar la operación y mantenimiento que se le da al sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) de la ciudad de Estelí, con respecto al manual de operación y mantenimiento.
3. Analizar los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio, de acuerdo a los parámetros contemplados en los Artos. N° 22 y 23 del Decreto 33-95 y la norma NTON 05 027-05.

Capítulo II.



Marco Teórico



Capítulo II. Marco Teórico

2.1 Marco teórico

En el presente marco teórico se estará abordando el estado del arte en lo que respecta al diseño de lagunas así como la eficiencia, operación y mantenimiento.

2.2 Aguas residuales

Se denominan aguas residuales a aquellas que resultan del uso doméstico o industrial del agua. Se les llama también aguas servidas, aguas negras o aguas cloacales. Estas aguas pueden ser tratadas por diferentes medios de depuración o bien pueden ser recogidas y llevadas mediante una red de tuberías y eventualmente bombas a una planta de tratamiento municipal.

De acuerdo al Decreto 33-95 “Disposiciones para el control de la contaminación proveniente de las descargas de las aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias”, las aguas residuales son aquellas generadas por residencias, instituciones y locales comerciales e industriales. Éstas presentan características físicas, químicas o biológicas que causan daño a la calidad del agua, suelo, ecosistemas y a la salud humana.

2.3 Red de alcantarillado sanitario

Sistema de tuberías y construcciones usado para la recolección y transporte de las aguas residuales e industriales de una población desde el lugar en que se generan hasta el sitio en que se vierten al medio natural o se tratan (INAA, 2004).

2.4 Tipos de fuentes de contaminación acuática

2.4.1 Agua residual doméstica: Desecho líquido resultante de los hábitos higiénicos del hombre y sus actividades domésticas (INAA, 2004).

2.4.2 Agua residual industrial: Es aquel tipo de agua producto del vertido de aguas residuales cargadas de materia orgánica, metales, aceites industriales e incluso radiactividad que realizan las industrias.

2.5 Parámetros principales de las aguas residuales

En la conceptualización siguiente se aborda los parámetros principales de las aguas residuales que fueron obtenidos del libro de tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones (Tchobanoglous, 2000).

Los parámetros para la caracterización de las aguas residuales se dividen en físicos, químicos y biológicos.

2.5.1 Parámetros físicos

2.5.1.1 Temperatura

Es un parámetro muy importante porque afecta directamente las reacciones químicas y las velocidades de reacción, la vida acuática y la adecuación del agua para fines benéficos. El aumento de la velocidad de las reacciones bioquímicas, como consecuencias de incrementos en la temperatura de las aguas superficiales, puede ocasionar una drástica disminución en la concentración del oxígeno disuelto durante los meses del verano.

La temperatura del agua residual es por lo general mayor q la temperatura del agua para abastecimiento como consecuencia de la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial. La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana está en el rango de 25 a 35° C.

2.5.1.2 Contenido de sólidos

El agua residual contiene una variedad de materiales sólidos que varían desde hilachas hasta materiales coloidales. En la caracterización de las aguas residuales, los materiales gruesos son removidos generalmente antes de analizar los sólidos en las muestras. Los sólidos se clasifican en suspendidos, disueltos y en general se

miden para evaluar el reúso potencial del agua residual y para determinar las operaciones unitarias y los procesos más óptimos para su tratamiento.

Los sólidos suspendidos es uno de los dos estándares universales usados en la evaluación de afluentes y señalan la necesidad de filtrar el efluente antes de su reúso.

2.5.2 Parámetros químicos

2.5.2.1 Potencial de hidrogeno (pH)

El pH es la medida del grado de acidez del agua residual. El rango de pH que permite la actividad biológica en el agua residual es típicamente de 5 a 9. El agua residual con valores de pH fuera de este rango presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, ya que se afecta la viabilidad de los microorganismos.

2.5.2.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

La DBO es una medida del oxígeno que usan los microorganismos para descomponer el agua residual. Si hay una gran cantidad de desechos orgánicos en el agua, también habrá muchas bacterias presentes trabajando para descomponer este desecho. En este caso la demanda de oxígeno será alta, así que el nivel de la DBO será alta. Conforme el desecho es consumido o dispersado en el agua, los niveles de la DBO empezarán a bajar.

2.5.2.3 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La DQO es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar toda la materia orgánica oxidable presente en las aguas residuales.

2.5.2.4 Oxígeno disuelto (OD)

El oxígeno disuelto se presenta en cantidades variables en el agua. Su contenido depende de la concentración y estabilidad del material orgánico, siendo un factor muy importante en la auto purificación de los ríos.

2.5.3 Parámetros biológicos

2.5.3.1 Coliformes fecales (CF)

Los coliformes pueden clasificarse en totales y fecales. Los coliformes fecales se miden para evaluar la presencia de bacterias patógenas y la efectividad del proceso de desinfección. Los organismos patógenos presentes en las aguas residuales pueden provenir de desechos humanos que son descargados al alcantarillado sanitario.

Las principales clases de organismos patógenos encontrados pueden ser: bacterias, parásitos y virus, los cuales pueden causar enfermedades, como fiebre, diarrea y cólera. Los coliformes totales y fecales se miden para evaluar la presencia de bacterias patógenas y la efectividad del proceso de desinfección.

2.6 Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en las aguas provenientes de la red de alcantarillado sanitario.

El objetivo del tratamiento de las aguas residuales es producir efluente reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o fango (lodo) convenientes para su disposición o reutilización. Es muy común llamarlo **depuración de aguas residuales**.

2.6.1 Etapas del tratamiento de aguas residuales

Para conocer las diferentes etapas del tratamiento de aguas residuales de un sistema se presenta la siguiente conceptualización que fue obtenida del Libro de tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones (Tchobanoglous, 2000).

2.6.1.1 Tratamiento preliminar

El tratamiento preliminar o pretratamiento es el conjunto de unidades que tienen como propósito de evitar el paso de basuras que puedan obstruir los conductos hidráulicos o dañar bombas, etc., así también la sedimentación y eliminación de las partículas inorgánicas antes de entrar al tratamiento primario. Las principales unidades son las rejillas y el desarenador.

- Rejillas: Se encargan de separar los sólidos presentes en las aguas residuales, está formada por barras separadas entre 1.0 y 5.0 centímetros, comúnmente 2.5 centímetros y colocadas en un ángulo de 30 y 60 grados respecto al plano horizontal.
- Desarenador: Sistema de extracción de arena contenida en las aguas residuales, llamado Desarenador de flujo horizontal. La función de esta unidad es separar las partículas del líquido por gravedad.

2.6.1.2 Tratamiento primario

La principal función de este tratamiento es reducir grasas, aceites, arenas y sólidos suspendidos. La remoción de sólidos suspendidos se hace por medio de sedimentación, filtración, flotación y precipitación; en este proceso se puede utilizar unidades como tanque imhoff o fosas sépticas.

2.6.1.3 Tratamiento secundario

Este tratamiento tiene como finalidad estabilizar la materia orgánica, coagular y remover los sólidos coloidales que no sedimentan y que se encuentran en las aguas residuales domésticas.

En esta etapa se utilizan generalmente las lagunas de estabilización y el sistema de lodos activados, en los cuales intervienen procesos biológicos, aprovechando la acción de microorganismos que en su proceso de alimentación degradan la materia orgánica.

En este proceso de actividad biológica existen dos grandes grupos de microorganismos debido a la presencia y ausencia de oxígeno disuelto en las aguas residuales como son: los aeróbicos (en presencia de oxígeno) y los anaeróbicos (en ausencia de oxígeno).

2.7 Sistema de tratamiento con Lagunas

Las lagunas no son más que excavaciones realizadas en un terreno para el tratamiento de aguas residuales. Los trabajos de investigación sobre lagunas en la década de 1940 permitieron el desarrollo de estos sistemas como una alternativa de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales (Tchobanoglous, 2000).

La función real de estas unidades es estabilizar la materia orgánica y remover los patógenos de las aguas residuales realizando una descomposición biológica natural (Mercado, 2013).

2.7.1 Clasificación de las lagunas de estabilización

A continuación se presentan los conceptos sobre la clasificación de las lagunas de estabilización los cuales fueron extraídos del libro de tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones (Tchobanoglous, 2000).

2.7.1.1 Lagunas aerobias

Son aquellas que reciben las aguas residuales que han sido sometidos a un tratamiento y que contienen relativamente pocos sólidos en suspensión. En ellas se produce la degradación de la materia orgánica mediante la actividad de bacterias aerobias que consumen oxígeno producido fotosintéticamente por las algas. Son lagunas poco profundas de 1 a 1.5m de profundidad, ver tabla 1.

2.7.1.2 Lagunas anaerobias

El objetivo de este tipo de laguna es retener la mayor parte posible de los sólidos en suspensión, que pasan a incorporarse a la capa de lodos acumulados en el fondo y eliminar parte de la carga orgánica. El tratamiento se lleva a cabo por la acción de bacterias anaerobias.

Las lagunas anaerobias suelen tener profundidad entre 2 y 5 m, el parámetro más utilizado para el diseño de lagunas anaerobias es la carga volumétrica (Ver tabla 1).

2.7.1.3 Lagunas facultativas

Las lagunas facultativas son las más usadas y versátiles entre las diferentes clases de lagunas. Su profundidad oscila entre 1.5 a 2.5m y se conocen también como lagunas de estabilización (Ver tabla 1). El tratamiento se desarrolla por acción de bacterias aerobias en la capa superior y bacterias anaerobias en la capa inferior. El objetivo de las lagunas facultativas es obtener un efluente de la mayor calidad posible, en el que se haya alcanzado una elevada estabilización de la materia orgánica, y una reducción en el contenido en nutrientes y bacterias coliformes.

2.7.1.4 Lagunas maduración

Las lagunas de maduración tienen como objetivo fundamental la eliminación de bacterias patógenas. Además de su efecto desinfectante, las lagunas de maduración cumplen otros objetivos, como son la eliminación de nutrientes, clarificación del efluente y consecución de un efluente bien oxigenado.

Las lagunas de maduración suelen constituir la última etapa del tratamiento y esta se construyen generalmente con profundidades de 1 a 1.5 metros.

Tabla 2.1: Clasificación de las lagunas de estabilización

TABLA	Carga Superficial (Kg DBO₅/ha x días)	Profundidad (m)
Como lagunas primarias a) Aerobia b) Facultativa c) Anaerobia	< 100 200 – 1 000 > 1 500	<1,5 1,3 >2,5
Como lagunas secundarias a) Aerobia b) Facultativa c) Anaerobia	<200 300 – 1 200 >1 800	<2 1,5 – 3 >2,5
Como lagunas de Maduración a) Aerobias b) Facultativas	<300 400 - 800	<2 1,5 – 2,5

Fuente: Criterios para el diseño de las lagunas de estabilización y de las lagunas aireadas base técnica, 2004

2.8 Ventajas y desventajas de las lagunas de estabilización

Tabla 2.2: Ventajas y desventajas de las lagunas de estabilización

Ventajas	Desventajas
Los bajos costos	Requiere grandes extensiones de terreno
Requieren mínima capacitación del Personal encargado de su operación.	El efluente posee una gran cantidad de algas.
Sencillo, ya que el sistema funciona por gravedad.	Las lagunas sin aireación a menudo no cumplen las existentes de calidad del efluente.
La evacuación y disposición de lodos se realiza en el intervalo de 10 a 20 años.	Las lagunas pueden causar daño a las aguas subterráneas si no están bien impermeabilizadas.
Es compatible con sistemas de tratamientos acuáticos o sobre el suelo.	Una incorrecta operación puede causar malos olores.

Fuente: Crites & Tchobanoglous, 2000.

2.9 Procesos que se desarrollan en las lagunas de estabilización

En las lagunas de estabilización residen varias especies de bacterias, hay aerobias, facultativas y anaerobias. Las bacterias descomponen la materia orgánica a elementos más sencillos, que serán asimilados por las algas. El proceso de tratamiento depende de la eficacia con que se establezca la interacción algas-bacterias. En este proceso se liberan nutrientes (nitratos y fosfatos) y dióxido de carbono en grandes cantidades, los cuales son utilizados por las algas para su crecimiento (Tchobanoglous, 2000).

2.10 Factores climáticos que afectan a las lagunas

2.10.1 Temperatura

Las reacciones físicas, químicas y bioquímicas que ocurren en las lagunas de estabilización son muy influenciadas por la temperatura (Tchobanoglous, 2000).

En general y para los intervalos de temperatura normales en las lagunas, se puede decir que la velocidad de degradación aumenta con la temperatura, en especial en lo que concierne a la actividad de las bacterias. Estos fenómenos son retardados por las bajas temperaturas. Por eso, el proyecto de las lagunas debe tener en cuenta siempre las condiciones de temperaturas más adversas.

2.10.2 Radiación solar

La luz es fundamental para la actividad fotosintética, ésta depende no solo de la luz que alcanza la superficie del agua, sino de la que penetra en profundidad. Como la intensidad de la luz varía a lo largo del año, la velocidad de crecimiento de las algas cambia de misma forma. Este fenómeno da lugar a dos efectos: el oxígeno disuelto y el pH del agua presentan valores mínimos al final de la noche, y aumentan durante las horas de luz solar hasta alcanzar valores máximos a media tarde.

2.10.3 Viento

El viento proporciona un efecto importante en el comportamiento de las lagunas, ya que induce a la mezcla vertical del líquido de la laguna, una buena mezcla asegura una distribución más uniforme de DBO, oxígeno disuelto (importante para lagunas aerobias y facultativas), bacterias, algas y por lo tanto un mejor grado de estabilización del agua residual.

2.10.4 Infiltración y evaporación

La infiltración y evaporación disminuyen el volumen de agua contenida en una laguna. Ambos factores están íntimamente ligados a las condiciones climáticas y geológicas locales.

2.10.5 Precipitación

El oxígeno disuelto suele bajar después de tormentas debido a la demanda adicional de oxígeno provocada por los sólidos arrastrados por el agua de lluvia y los sedimentos de las lagunas que se mezclan con la columna de agua. Otro efecto de la lluvia es una cierta oxigenación en la zona superficial de las lagunas, debido tanto al propio contenido en oxígeno de la lluvia como a la turbulencia que provoca con su caída.

2.11 Factores físicos

2.11.1 Flujo a través de las lagunas

La circulación del agua a través de la laguna viene afectada por la forma y tamaño de ésta, la situación de entradas y salidas, velocidad y dirección de los vientos dominantes y la aparición de diferencias de densidad dentro de la misma. Las anomalías de flujo más frecuentes se manifiestan en la aparición de zonas muertas, es decir, partes de la laguna en las que el agua permanece estancada durante largos periodos de tiempo.

2.11.2 Profundidad

Existen varias razones por las que en estos sistemas profundos se obtiene mayor eficacia de tratamiento como es la mayor productividad de las algas en un medio en el que tienden a sedimentar en la zona profunda y morir. La zona profunda tiende a estar en condiciones anaerobias, y en ella se produce la degradación lenta de compuestos orgánicos y microorganismos sedimentados desde la superficie. De esta forma se generan nutrientes solubles que se reincorporan a la capa superficial y contribuyen a la actividad biológica.

2.12 Factores químicos y bioquímicos

2.12.1 pH

El valor de pH en las lagunas viene determinado fundamentalmente por la actividad fotosintética del fitoplancton y la degradación de la materia orgánica por las bacterias. Las algas consumen anhídrido carbónico en la fotosíntesis, lo que desplaza el equilibrio de los carbonatos y da lugar a un aumento del pH. Por otra parte, la degradación de la materia orgánica conduce a la formación de dióxido de carbono como producto final, lo que causa una disminución de pH.

Como la fotosíntesis depende de la radiación solar, el pH de las lagunas presenta variaciones durante el día y el año. Cuanto mayor es la intensidad luminosa, los valores del pH son más altos.

2.12.2 Oxígeno disuelto

El contenido en oxígeno disuelto es uno de los mejores indicadores sobre el funcionamiento de las lagunas. La principal fuente de oxígeno disuelto es la fotosíntesis, seguida por la reaireación superficial. La concentración de oxígeno disuelto presenta una variación senoidal a lo largo del día. El contenido en oxígeno es mínimo al amanecer y máximo por la tarde, y puede oscilar entre un valor nulo hasta la sobresaturación. Durante el verano es posible encontrar que las capas superficiales de las lagunas están sobresaturadas de oxígeno disuelto.

El oxígeno disuelto presenta variaciones importantes en profundidad. La concentración de oxígeno disuelto es máxima en superficie, y a medida que aumenta la profundidad va disminuyendo hasta anularse. En invierno la capa oxigenada tiende a ser mucho más reducida que en verano.

2.12.3 Sedimentación de lodos.

En una laguna primaria, parte de la reducción de la DBO se debe a la sedimentación de la materia orgánica como lodo, el cual se descompone anaerobiamente para

reducir su concentración orgánica y liberar los productos de la fermentación anaerobia. Inicialmente la capa de lodos aumenta en volumen, pero eventualmente, la DBO añadida por la sedimentación se iguala con la DBO removida por fermentación anaerobia y el volumen de lodo no aumenta más.

2.12.4 Sulfuros

La existencia de compuestos de azufre, en el agua residual del afluente, afecta el ecosistema de las lagunas de estabilización, como en cualquier proceso biológico.

2.13 Carga orgánica

2.13.1 Carga orgánica

La carga orgánica es la concentración de DBO o DQO medidos en la descarga de una unidad de tratamiento por el caudal de vertido. También debe entenderse como la masa de contaminantes aportada en una unidad de tiempo.

2.14 Operación y mantenimiento

La operación es la forma de llevar a cabo una labor con el fin de que los equipos, procesos y operaciones del sistema de tratamiento de aguas residuales, se realicen de manera correcta para lograr el máximo rendimiento de los mismos (OPS/CEPIS/COSUDE, 2005).

El mantenimiento son todas las actividades que se ejecutan, para garantizar que el sistema esté en óptimas condiciones y realice las funciones correspondientes, ya que la falta de mantenimiento y una mala operación pueden generar problemas en la salud de los trabajadores y en el funcionamiento del sistema de tratamiento en las aguas residuales, afectando la calidad del efluente, así también llegar a contaminar el medio ambiente.

La operación y el mantenimiento de las lagunas de estabilización tiene como objetivos básicos los siguientes:

- ✓ Mantener limpias las estructuras de entrada, interconexión y salida.
- ✓ Mantener las en las lagunas facultativas primarias un color verde intenso brillante, el cual indica el pH y el oxígeno disuelto alto.
- ✓ Mantener libre de vegetación la superficie del agua.
- ✓ Mantener adecuadamente podados los taludes para prevenir problemas de insectos y erosión.
- ✓ Mantener un efluente con concentraciones mínimas de DBO y sólidos suspendidos.

Las labores típicas de operación y mantenimiento incluyen:

- ✓ Mantener limpia la rejilla en todo momento, remover el material retenido, desaguarlo y enterrarlo diariamente. Es recomendable medir el volumen diario de material dispuesto.
- ✓ Mantener controlada la vegetación de los diques impidiendo su crecimiento más allá del nivel del triturado o grava de protección contra la erosión
- ✓ Remover toda la vegetación emergente en el talud interior de las lagunas.

La operación y el mantenimiento de la planta de tratamiento deben estar basados en manuales de operación y mantenimiento en donde se identifiquen los procesos que hagan posible el funcionamiento óptimo, eficiente y efectivo de la planta.

Además todo manual de operación debe contener varios aspectos como: Equipos de protección para los operadores, herramientas de trabajo, medidas y técnicas de prevención (OPS/CEPIS/COSUDE, 2005).



Diagnóstico del STAR Estelí



Capítulo III. Diagnóstico del sitio

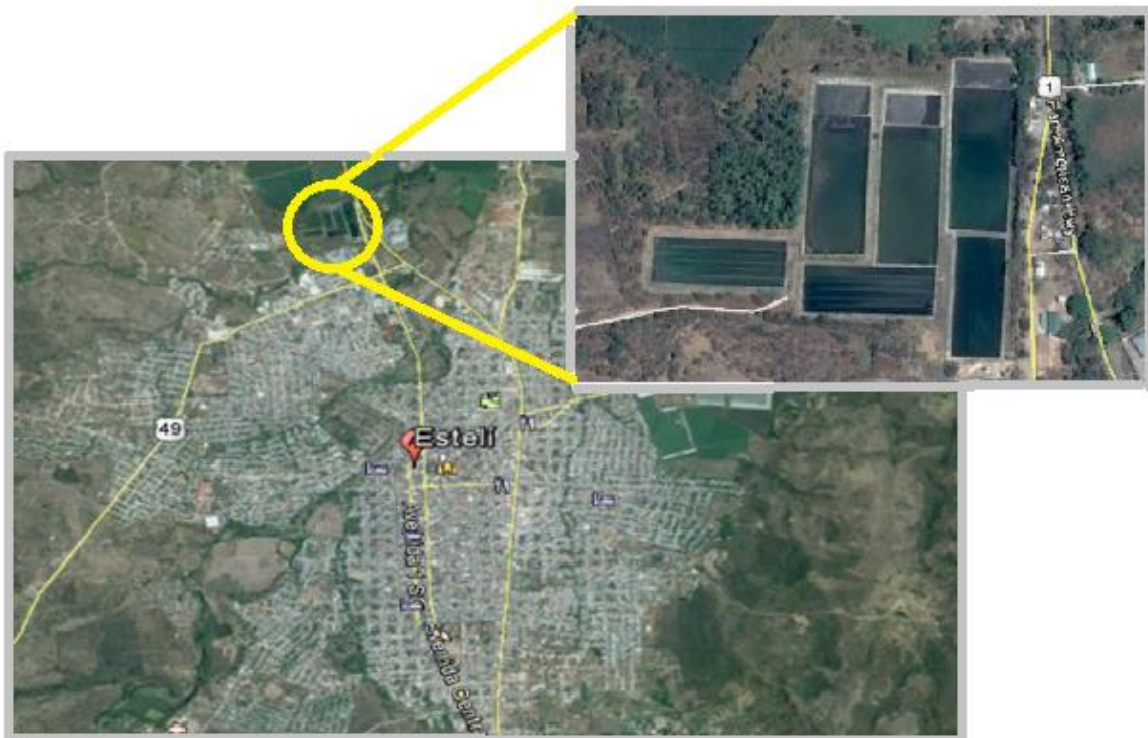
3.1 Diagnóstico del área de estudio

3.1.1 Descripción del área de estudio

Estelí, conocido también como el “Diamante de las Segovia”, es la cabecera municipal del departamento de Estelí. Se localiza a 147 Km de Managua. Se encuentra ubicado en las coordenadas geográficas: 13° 05'.00"N 86°21'.00"O y tiene una extensión territorial de 795,7 Km². Su distribución poblacional es eminentemente urbana, un 81% de sus más de 230,000 habitantes viven en la zona urbana y solo un 19% en la zona rural del municipio (INTUR, 2016).

El sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) de la ciudad de Estelí se encuentra ubicado en la salida norte.

Imagen 3.1: Macro y micro localización del STAR – Estelí



Fuente: Adaptado de Google earth, 2016

3.1.2 Características geofísicas

El municipio de Estelí se encuentra situado a 800 msnm, posee una topografía ondulada, con mesetas y montañas elevadas, lo cual hace que predomine un clima agradable. También guarda numerosos paisajes naturales que actúan como atractivo turístico como el Salto de “La Estanzuela” con sus más de 40 m de altura y la meseta de Moropotente con su máxima altura de 1.460 msnm. Otras reservas naturales de gran importancia son El Tisey con una altura de 1.550 msnm y el cerro Tomabú con 1.445 msnm (INETER 2004).

3.1.3 Características climáticas

El clima del municipio es muy agradable, ya que presenta temperaturas que oscilan entre 25°C y 28°C, caracterizándola como una de las ciudades más frescas de toda Nicaragua. La precipitación media anual es de 1000 mm de agua (MARENA 2000).

3.1.4 Características hidrológicas

El principal río que cruza este municipio es el río Estelí. A lo largo de los años este río ha venido desapareciendo por el alto nivel de contaminación de su afluente y la deforestación en la ribera. Los organismos gubernamentales y civiles han implementado un plan de manejo de aguas residuales y reforestación para tratar de reducir la contaminación del río, sin embargo el río no recupera su caudal y solo crece en temporadas lluviosa.

3.1.5 Actividad económica

La economía se caracteriza por la actividad comercial y la actividad agropecuaria. En el municipio se cultiva café, frijoles, maíz, sorgo y hortalizas, así como el tabaco. Este sin duda es el cultivo más importante económicamente por ser la base de la actividad comercial e industrial (generando la mayoría de empleos) como por ser uno de los más preciados a nivel mundial por su calidad y sabor.

3.1.6 Descripción del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Estelí

El sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Estelí está conformado por tres módulos independientes. Cada módulo constituido por un reactor UASB, laguna facultativa y laguna de maduración), pero esencialmente el sistema se compone por un tratamiento preliminar, un tratamiento primario y un tratamiento secundario, con el objetivo de mejorar la calidad del agua residual que ingresa al STAR, proveniente del alcantarillado sanitario de la ciudad y luego ser vertida al cuerpo receptor (Quebrada “La Limonosa”).

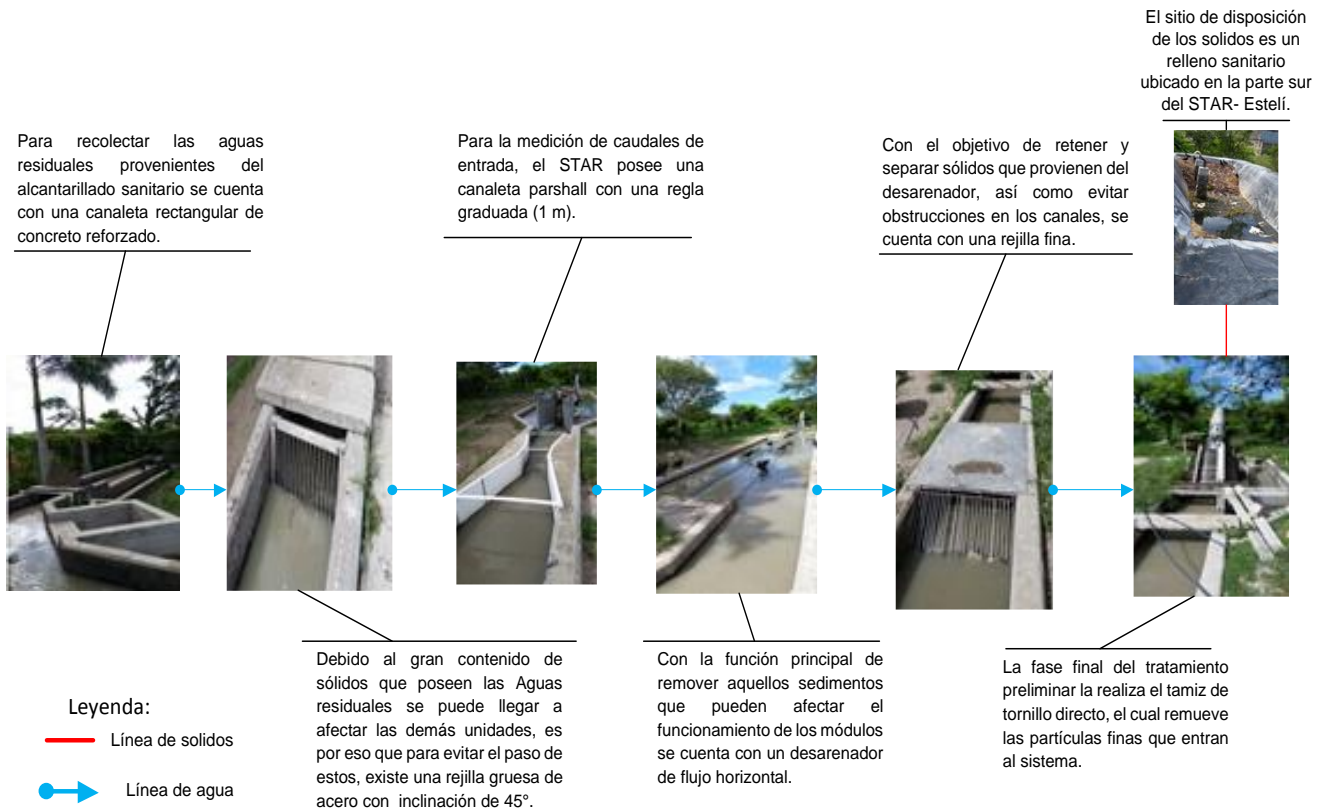
A continuación se presenta la descripción de cada unidad de tratamiento del STAR-Estelí de acuerdo al diseño y condiciones actuales:

3.1.6.1 Tratamiento preliminar

En este tratamiento se da el proceso de eliminación de materiales, que podrían perjudicar el sistema de conducción de la planta. El objetivo principal de este tratamiento es acondicionar el agua residual a fin de que esta pueda pasar a las demás etapas de tratamiento sin afectar la operación de los mismos.

En el siguiente esquema se presenta cada una de las unidades que comprende el tratamiento preliminar.

Esquema 3.1 Tratamiento preliminar



- **Canal de rejillas**

De acuerdo a criterios de diseños de INAA, para garantizar la retención de materiales gruesos provenientes del alcantarillado sanitario, se debe utilizar una rejilla removible, con un grado de inclinación de 45° y una separación entre las barras de 0.03 m.

En el tratamiento preliminar del STAR se encuentran dos tipos de rejillas, las cuales son: rejilla gruesa y rejilla fina, estas presentan un grado de inclinación de 45 ° y una separación entre barras de 0.03 m. La rejilla gruesa se encuentra en buenas condiciones en comparación a la rejilla fina que está después del desarenador, la cual presenta un mal estado físico, por lo cual esto puede afectar los procesos subsecuentes del tratamiento.

- **Desarenador**

Esta unidad tiene la función de separar los sedimentos por medio de gravedad y no afectar el funcionamiento de los módulos. El desarenador del STAR –Estelí está compuesto por dos canales paralelos, con el fin de dejar funcionando un canal mientras el otro se limpia. Actualmente el desarenador se encuentra saturado de sedimentos, lo cual ocasiona que esta unidad no trabaje adecuadamente producto de la frecuente falta de mantenimiento.

- **Medidor de caudal**

El sistema de tratamiento cuenta con una canaleta parshall la cual posee una escala métrica (1m) que sirve para la medición de caudales que ingresan al sistema. Esta unidad de medición de caudales presenta un buen estado físico lo cual hace que esta trabaje correctamente.

- **Tamiz mecánico**

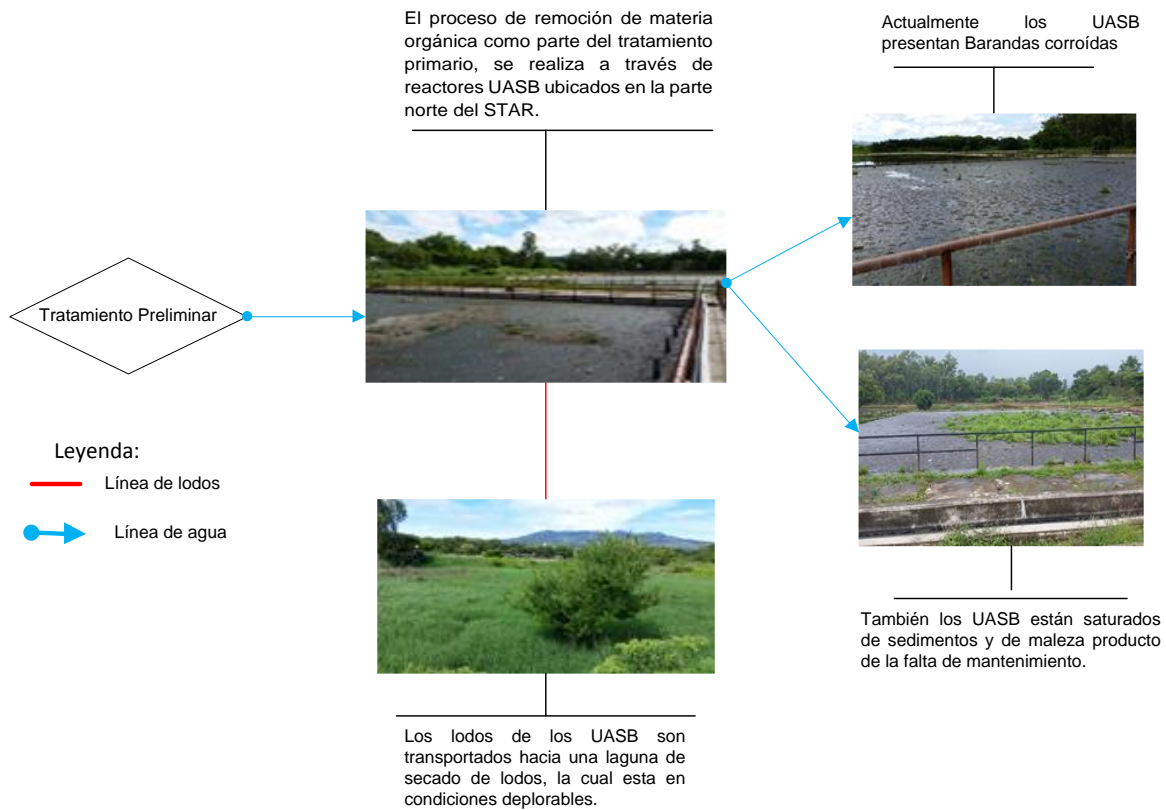
La finalidad de esta unidad de tratamiento es retener partículas sólidas finas de las aguas residuales y luego transportarlas a un depósito. Según el estado actual, este dispositivo ubicado en la parte sur del STAR, presenta un buen estado físico y se encuentra funcionando adecuadamente.

3.1.6.2 Tratamiento primario

El objetivo de este tratamiento es remover aquellos contaminantes como sólidos sedimentables y suspendidos por medio de sedimentación, flotación, filtración y precipitación. Para este tratamiento el STAR posee en cada módulo un UASB.

En el esquema N° 2 se presenta la unidad que realiza el tratamiento primario del STAR.

Esquema 3.2 Tratamiento primario



- **Reactor UASB**

Los reactores UASB que posee cada módulo del STAR se encargan de la remoción de materia orgánica a través de un proceso biológico que realizan las bacterias en el fondo de la unidad de tratamiento. En estos reactores se forma una capa o nata que asegura las condiciones para el proceso anaeróbico, los reactores no tienen cámara de sedimentación de lodos y poseen una profundidad de 4m.

Se puede decir que actualmente los reactores UASB que comprende el STAR presentan un alto grado de saturación de sólidos y alta cantidad de algas, lo cual genera malos olores afectando a la población cercana al sistema, debido a la falta de mantenimiento operacional. La descarga de lodos de esta unidad es conducida a una laguna de secado a cielo abierto.

Imagen 3.2: Estado de los reactores UASB

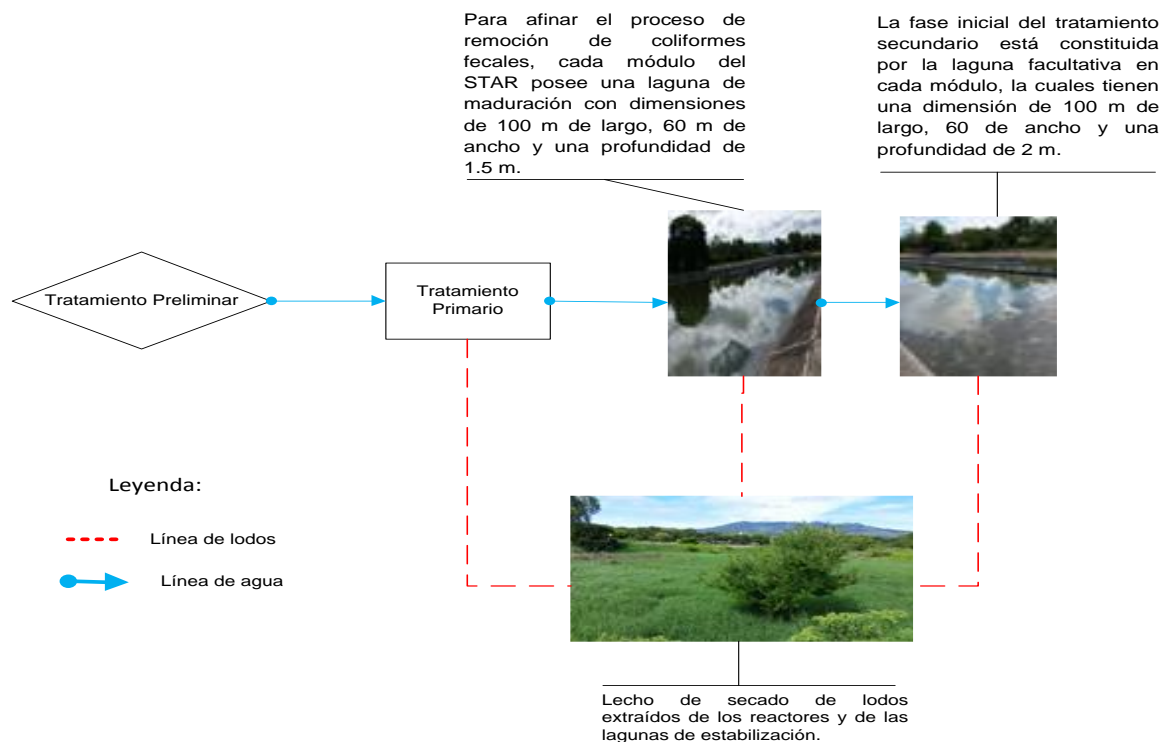


3.1.6.3 Tratamiento Secundario

Esta etapa del sistema de tratamiento es realizada por las lagunas facultativas y de maduración presentes en cada módulo y estas tienen como función principal la remoción del material contaminante a través de procesos bioquímicos, en los cuales los microorganismos son los encargados de la degradación de la materia orgánica contenida en las aguas residuales.

En el esquema N° 3 se presenta las unidades que comprende el tratamiento secundario.

Esquema 3.3 Tratamiento secundario



- **Laguna facultativa**

La función principal de este tipo de laguna es la remoción de materia orgánica y agentes patógenos que se encuentran en las aguas residuales. El STAR cuenta con una laguna facultativa en cada módulo, las cuales tienen una dimensión de 187m de largo, 61m ancho y una profundidad 2m.

Actualmente las lagunas facultativas presentan acumulación de natas color gris en las esquinas, lo que ocasiona que las algas no realicen el proceso de fotosíntesis, evitando el proceso de degradación de la materia orgánica, lo cual afecta la eficiencia de las lagunas y genera malos olores a los alrededores del STAR debido a la descomposición del material flotante (nata) como se observa en la imagen 3.3:

Imagen 3.3: Acumulación de natas en laguna facultativa



- **Laguna de maduración**

La finalidad de esta laguna es producir un efluente de alta calidad a través de la remoción de microorganismos patógenos. Las lagunas de maduración fueron diseñadas con paredes deflectoras (mamparas), para mejorar el régimen hidráulico por medio de un flujo tipo pistón.

De acuerdo al estado actual, las lagunas de maduración presentan un deterioro en los taludes; el agua contenida en estas lagunas presenta una coloración verde lo

cual es un indicador de su alto contenido de algas. Al igual que las lagunas facultativas presentan en las esquinas acumulación de natas, lo cual produce malos olores y afecta directamente el proceso de remoción de coliformes fecales debido a la falta de mantenimiento operacional como se observa en la imagen siguiente:

Imagen 3.4: Estado físico de laguna de maduración

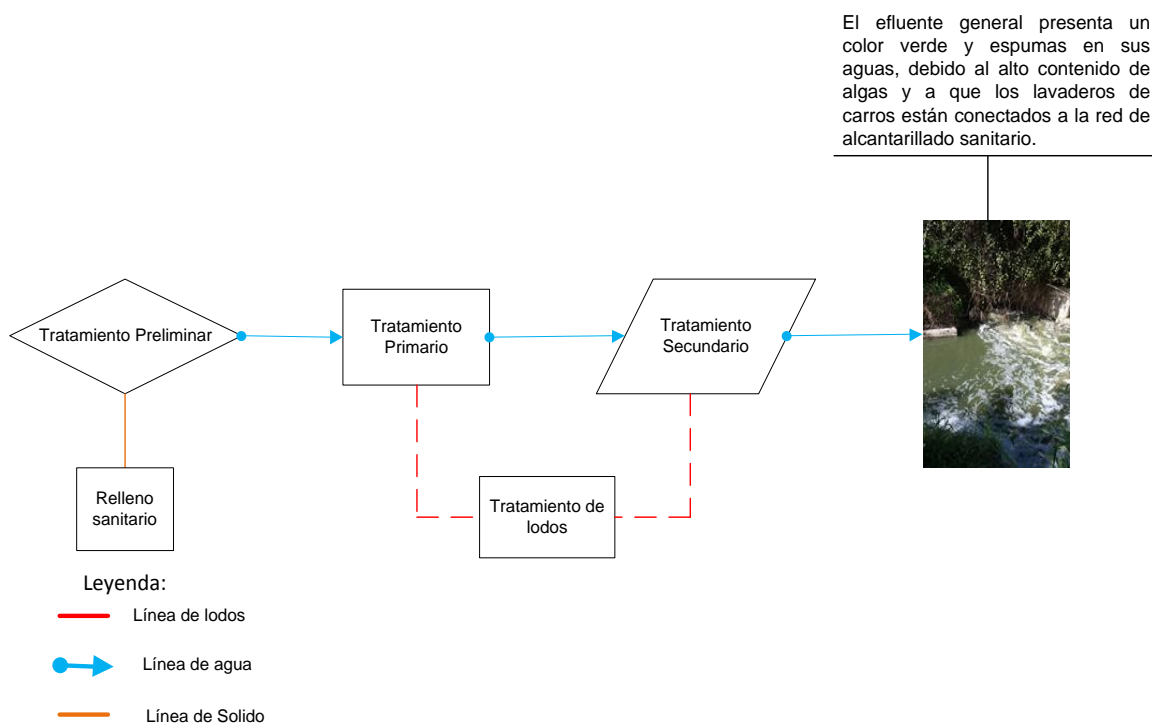


3.1.6.4 Efluente general STAR – Estelí

El tratamiento realizado en cada uno de los módulos produce un efluente verde por su alto contenido de algas, el cual es recolectado en un canal subterráneo para ser vertido al cuerpo receptor que es la Quebrada la Limonosa, afluente del río Estelí.

En el esquema N° 4 se presenta la etapa de recolección, conducción y vertido de las aguas tratadas por los módulos del STAR-Estelí

Esquema 3.4 Efluente Final



3.1.6.5 Condiciones físicas de operación y mantenimiento del STAR- Estelí

Tabla 3.1: Condiciones de operaciones y mantenimiento por cada fase de tratamiento

Unidad	Condición física	Frecuencia monitoreo	Mantenimiento	Cantidad de operadores	Observaciones	Sostenibilidad
Canal de aproximación (entrada general)	Estado actual; en buenas condiciones	-	Aceptable	1	-	Apoyo técnico y económico por parte de la municipalidad
Rejas	Rejillas Gruesas: se encuentran en buen estado, en comparación de las rejillas finas que presentan un mal estado físico (corroídas, retorcidas).	Cada hora	No satisfactorio	1	Debido al mal estado físico de la rejilla fina, la retención de sólidos es mínima lo cual afecta a las siguientes unidades de tratamiento.	Apoyo técnico y económico por parte de la municipalidad

Desarenador	Saturado de sedimentos	Cada 15 días	No satisfactorio, saturado de sedimentos debido al escaso mantenimiento y al mal funcionamiento de las rejillas,	2	Debido a la falta de mantenimiento esto afecta los siguientes procesos de tratamiento.	Apoyo técnico y económico por parte de la municipalidad
Tamiz mecánico o de tornillo directo.	Buen estado físico	-	Aceptable.	1	-	Apoyo técnico y económico por parte de la municipalidad
UASB	Alto grado de saturación de sólidos	1 semana por cada UASB,	No aceptable, sobre saturado de sólidos en el interior de las unidades.	2	La falta de mantenimiento a estas unidades genera presencia de vectores y malos olores en las cercanías del STAR.	Apoyo técnico y económico por parte de la municipalidad.
Lagunas facultativas	Acumulación de materia en suspensión en los bordes de las lagunas facultativas.	2 veces por semana.	Mantenimiento deficiente debido a la falta de limpieza de natas en las esquinas y los bordes de estas unidades	2	A causa de falta de limpieza de las lagunas, esto origina la emanación de malos olores.	Apoyo técnico y económico por parte de la municipalidad,
Laguna Maduración	Acumulación de materia en suspensión en los bordes, los taludes están deteriorados.	2 veces por semana	No satisfactorio.	2	Producto de la presencia de natas en las esquinas, esto afecta la eficiencia de remoción de las unidades.	Apoyo técnico y económico por parte de la municipalidad.
Caja derivadora de caudales.	Buen estado físico.	1 vez por semana.	Aceptable	1	-	Apoyo técnico y económico por parte de la municipalidad.



Diseño metodológico



Capítulo IV. Diseño metodológico

Para lograr la evaluación operacional del STAR de la ciudad de Estelí se presenta la siguiente metodología que se implementó para el desarrollo de la investigación, desde el muestreo del sistema de tratamiento hasta la determinación de los parámetros establecidos en el Decreto 33-95 y la norma NTON 05 027-05.

4.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada ya que pretende brindar una posible solución a la situación técnico ambiental del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Estelí.

La investigación tendrá un enfoque mixto desde el punto de vista descriptivo ya que se realiza una descripción de la zona de estudio, para obtener información actualizada sobre su funcionamiento.

Según el alcance temporal el estudio es de corte transversal, debido a que se refiere a un momento específico.

4.2. Procedimiento

4.2.1. I Etapa

Esta etapa se realizó con el fin de conocer a profundidad el problema y las posibles soluciones, abarcando los siguientes aspectos:

- Reconocimiento del sitio de estudio.
- Selección de los puntos de muestreos y de medición del caudal.
- Capacitación sobre las técnicas de análisis de laboratorio para aguas residuales.
- Preparación de materiales y equipo.

4.2.2. II Etapa

Después de haber finalizado la etapa anterior, con el conocimiento del problema planteado y con una planeación definida, se procedió a realizar las siguientes actividades:

4.2.2.1 Medición de caudales

La medición de los caudales de la entrada y salida general del STAR se realizó en la canaleta parshall y canal de descarga. La medición de los caudales de entrada y salida de cada módulo se realizó en los canales rectangulares que comprenden cada uno de los módulos, para determinar del comportamiento del flujo en el transcurso del tiempo establecido.

Para lograr el objetivo planteado de determinación de variación de caudal en la entrada y salida del STAR se utilizó el siguiente procedimiento:

Se realizaron tres aforos durante el periodo comprendido entre el 29 de Marzo al 31 de Marzo de 2016, con una duración de 8 horas por día, con una frecuencia de c/hora.

En la tabla 5 se presentan los horarios establecidos para la medición de los caudales.

Tabla 4.1: Aforos realizados al STAR-Estelí

Número de aforo	Días	Fecha	Hora de Inicio y de salida	Duración o periodo	Frecuencia
1	Lunes	29 Marzo 2016	08:00 am - 03:00 pm	8 horas	Cada hora
2	Martes	30 Marzo 2016	08:00 am - 03:00 pm	8 horas	Cada hora
3	Miércoles	31 Marzo 2016	08:00 am - 03:00 pm	8 horas	Cada hora

Para la realización de esta actividad se utilizó un flotador en los canales de entrada de cada módulo para medir las velocidades de flujo de las aguas residuales, áreas transversales de cada canal y obteniéndose así los caudales que entran a cada módulo del STAR.

Las ecuaciones que se utilizaron para este proceso fueron las siguientes:

Ecuación de continuidad.

$$Q = V * A \text{ (m}^3\text{/seg)} \quad \text{(Ecuación 4.1)}$$

Canaletas Parshall.

$$Q = 2.2 * W * H^{3/2} \quad \text{(Ecuación 4.2)}$$

Donde:

Q= Caudal en m³/s

W: Ancho de la garganta en metros

H: Carga o altura de la lámina de agua en metros

V: Velocidad del flujo de agua (m/s)

A: área (obtenida al multiplicar el ancho del canal y el tirante de agua registrado cada hora)

4.2.2.2 Muestreo de las aguas residuales del STAR

Para la realización del muestreo del STAR, se tomaron muestras representativas en diferentes puntos, para posteriormente caracterizarlas, permitiendo así obtener una mejor evaluación del sistema de tratamiento en estudio.

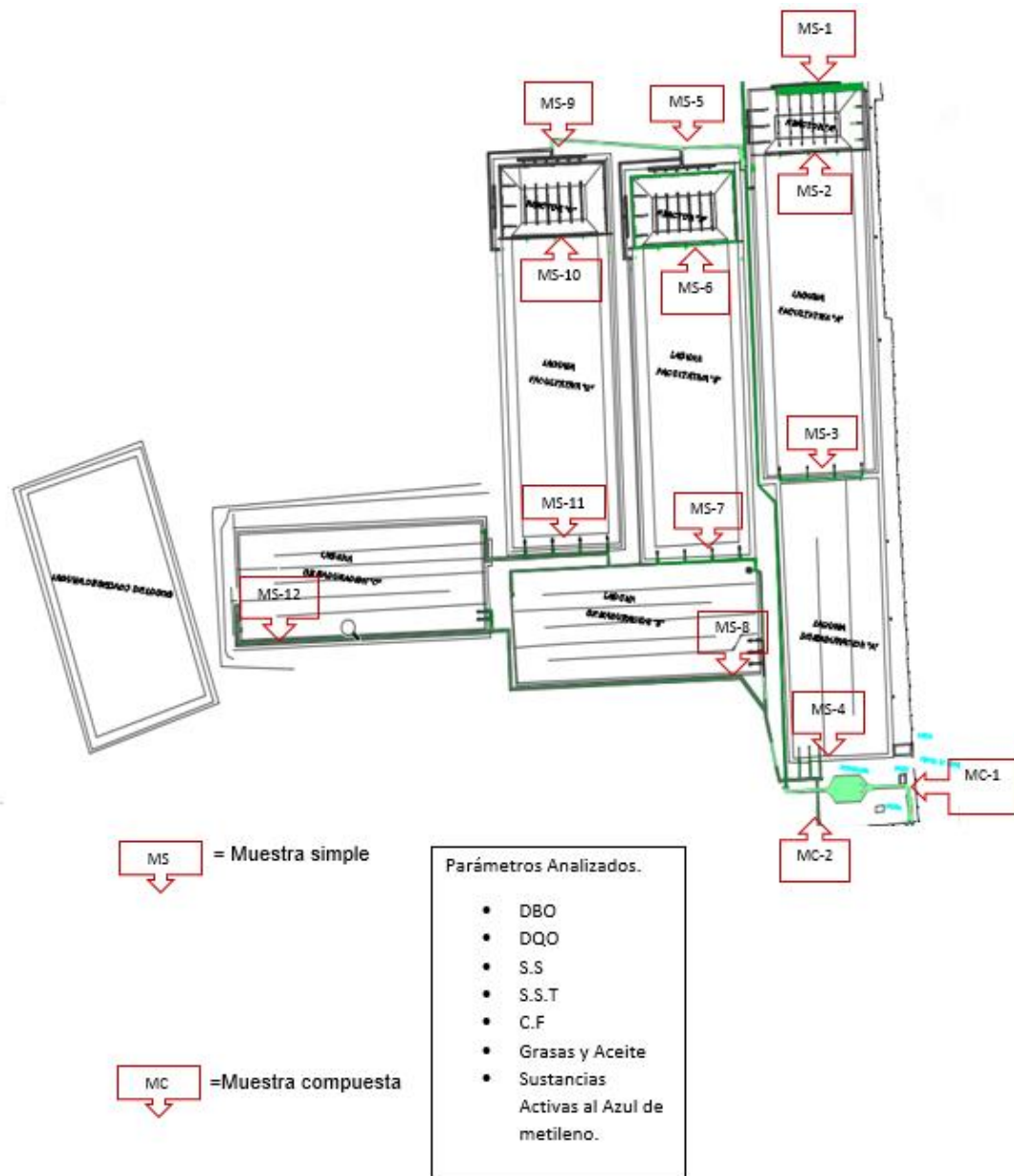
Para lograr el muestreo de las aguas residuales fue necesario definir los puntos y horario del muestreo.

4.2.2.2.1 Selección de los puntos de muestreo

Para el muestreo se definieron 14 puntos diferentes, los cuales corresponden a la entrada y salida general del STAR, así también las entradas y salidas de las unidades de tratamiento que conforman los módulos. En el esquema 4.5 se

muestran los puntos de muestreo que se seleccionaron dentro del sistema de tratamiento.

Esquema 4.5. Puntos de muestreo seleccionados dentro del STAR.



4.2.2.2 Selección del tipo de muestra

Se determinó que la realización del muestreo fuera de tipo compuesto para la entrada y salida general STAR, y para el afluente y efluente de cada laguna del STAR sería una serie de muestreos puntuales, los cuales se utilizaron para posteriormente realizar un análisis de laboratorio.

4.2.2.3 Frecuencia de muestreos

Las muestras compuestas se efectuaron en dos puntos distintos (afluente y efluente) donde se realizaron seis muestreos por tres días consecutivos, con frecuencia de 10h/día. También, se efectuaron una serie de muestreos puntuales durante un día con frecuencia de 3h/día en el afluente y efluente de cada laguna del STAR. En la tabla siguiente se especifica la frecuencia de muestreo.

Tabla 4.2: Frecuencia de muestreo

Tipo de muestra	Localización	Días	Duración	Frecuencia	Nro. Total de Muestras
Compuesta	Entrada general STAR Salida general STAR	Día 1	20h	Cada 10 h	2
		Día 2	20h	Cada 10 h	2
		Día 3	20 h	Cada 10 h	2
	Total				6 muestras
Simple	Entrada y salida de cada unidad de los módulos	Día 1	2 h	Cada 10 min	12 muestras

4.2.2.2.4 Toma de muestra en campo

Para la recolección de muestras simples y compuestas se utilizó un recipiente de plástico para posteriormente preservarlas en un termo con hielo y luego las muestras compuestas fueron transportarlas al laboratorio central de ENACAL y las muestras simples al laboratorio de PIENSA-UNI.

4.2.2.3 Parámetros físicos-químicos evaluados

Los parámetros medidos en el campo fueron pH y temperatura. El resto de los parámetros se determinaron en el Laboratorio Central de ENACAL y una parte en el laboratorio de PIENSA-UNI.

Tabla 4.3: Métodos utilizados para el análisis de laboratorio

Parámetros		Método SM/EPA
Físico-Químicos	Temperatura	In situ
	pH	In situ
	Sólidos Sedimentables	SM 2540-F
	Grasa y aceites	SM 5220-B
	DBO ₅	SM 5510-B
	DQO	SM 5220-C
	Sólidos Suspendidos	SM 2540-E
	Sustancias Activas al Azul de Metileno	SM 5540-C
Microbiológico	Coliformes Fecales	SM 9221-E

4.2.2.4 Verificación de dimensiones del STAR

Se realizó la medición de las lagunas antes de efectuar el muestreo; la medición del tirante de las lagunas no se realizó por motivos económicos, sin embargo se consideró un valor de 1.60 m proporcionado por ENACAL, el cual fue obtenido unas semanas antes.

4.2.2.5 Determinación del tiempo de retención

El período de retención para cada laguna del sistema se determinó de manera teórica, se obtuvieron los valores de la relación entre los volúmenes de cada laguna tomando en cuenta los caudales promedios del balance hídrico.

$$TRH = \frac{V}{Q_{medio}} \quad (\text{Ecuación 4.3})$$

Donde:

TRH = Tiempo de retención Hidráulico (días)

Q = Caudal (m³/d)

V = Volumen (m³)

4.2.2.6 Balance Hídrico

Para la determinación del balance hídrico se utilizaron los caudales que entran a cada unidad del sistema de tratamiento y las pérdidas por infiltración y evaporación, calculadas de acuerdo a Cubillos con la fórmula:

$$Q_p = (E + I) A \quad (\text{Ecuación 4.4})$$

Donde:

Q_p = Pérdidas por infiltración y evaporación (m³/d)

E = Evaporación (m/d)

I = Infiltración (m/d)

A = Área superficial de la laguna (m²)

4.2.2.7 Herramientas de recolección de datos

Para la recolección de información de la presente investigación se realizó una revisión bibliográfica con el fin de tener una mejor perspectiva de los datos obtenidos y de los objetivos planteados. También permitió explicar la importancia del problema de estudio y las posibles soluciones a este.

Se realizó una visita al sitio de estudio los días 21 y 22 de marzo de 2016 con el fin de obtener información propia del STAR; se revisó y verificó personalmente el funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales. Además se hizo una revisión de la capacidad hidráulica y balance hídrico de las lagunas.

4.2.2.8 Procesamientos de datos

Se procesaron y analizaron los resultados de los diferentes parámetros obtenidos en campo y en el laboratorio, los cuales se presentan como valores promedios con el fin de evaluar la eficiencia y funcionamiento del STAR.

4.2.2.9 Métodos de cálculos aplicados para lagunas de estabilización

4.2.2.9.1 Carga orgánica

Para la determinación de la carga orgánica se obtiene mediante la ecuación de Yáñez:

$$C_o = Q \times DBO_5 \times 0.0864 \quad (\text{Ecuación 4.5})$$

Donde:

CO = Carga Orgánica

Q = Caudal

DBO₅ = Concentración de DBO

4.2.2.9.2 Determinación de carga superficial límite admisible para lagunas facultativas

Para obtener la carga superficial máxima para lagunas facultativas se utilizará el modelo cinético desarrollado por CEPIS a través de estudios de campo realizados por Yáñez, el cual a través de procesamiento de datos concluyó que para cargas por encima de 357.4 Kg/ Ha. Día predominan los procesos anaeróbicos.

4.2.2.9.2.1 Metodología del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), Yáñez (1992) para determinar carga superficial máxima

A continuación con la siguiente correlación reportada por Yáñez (1992), se estima la carga máxima admisible:

$$Csm = 357.4 * 1.085^{T-20} \text{ (Ecuación 4.6)}$$

Donde:

T: la temperatura del agua en °C, en el mes más frío.

a) Carga orgánica superficial máxima a aplicar

Para determinar la Carga orgánica superficial máxima a aplicar es necesario utilizar la siguiente ecuación:

$$Csa = Csm * 0.90 \text{ (Ecuación 4.7)}$$

b) Remoción esperada de materia orgánica

En evaluaciones realizadas por Yáñez (1980) en San Juan Lima, Perú mediante el procedimiento de datos se obtuvo la siguiente correlación para carga removida para lagunas primarias:

$$Csr = 7,67 + 0,8063 * Csa \text{ (Ecuación 4.8)}$$

Donde:

CSa= Carga orgánica superficial a aplicar

4.2.2.9.3 Método de McGarry & Pescod

La siguiente correlación fue desarrollada por McGarry & Pescod (1970) para determinar la carga superficial removida:

$$C_{sr} = 10,35 + 0,725 * C_{sa} \text{ (Ecuación 4.9)}$$

4.2.2.9.4 Método de Mara & Silva

De acuerdo a estudios de Mara & Silva (1969) la carga superficial removida, se determina con la siguiente ecuación:

$$C_{sr} = 2 + 0,79 * C_{sa} \text{ (Ecuación 4.10)}$$

4.2.2.10 Determinación de las eficiencias en el STAR

La eficiencia se calcula de acuerdo a Gámez la siguiente manera:

$$E = \frac{\text{afluente} - \text{efluente}}{\text{afluente}} \text{ (Ecuación 4.11)}$$

4.2.2.11 Regulaciones ambientales

- Decreto 33-95: “Disposiciones para el control de la contaminación proveniente de las descargas de las aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias”.

Capítulo VI. Las descargas de aguas residuales provenientes de los sistemas de tratamientos de los alcantarillados a cuerpos receptores

Arto.22. Los límites máximos permisibles de coliformes fecales medidos como número más probable no deberá exceder de 1000 por cada 100 en el 80% de una serie de muestras consecutivas y en ningún caso superior a 5000 por cada 100 ml.

Arto.23. Los parámetros de calidad de vertido luido provenientes de los Sistemas de tratamientos de los alcantarillados que sean descargados directa o

indirectamente a los cuerpos receptores, deberán cumplir en los rangos y límites máximos permisibles expresados a continuación:

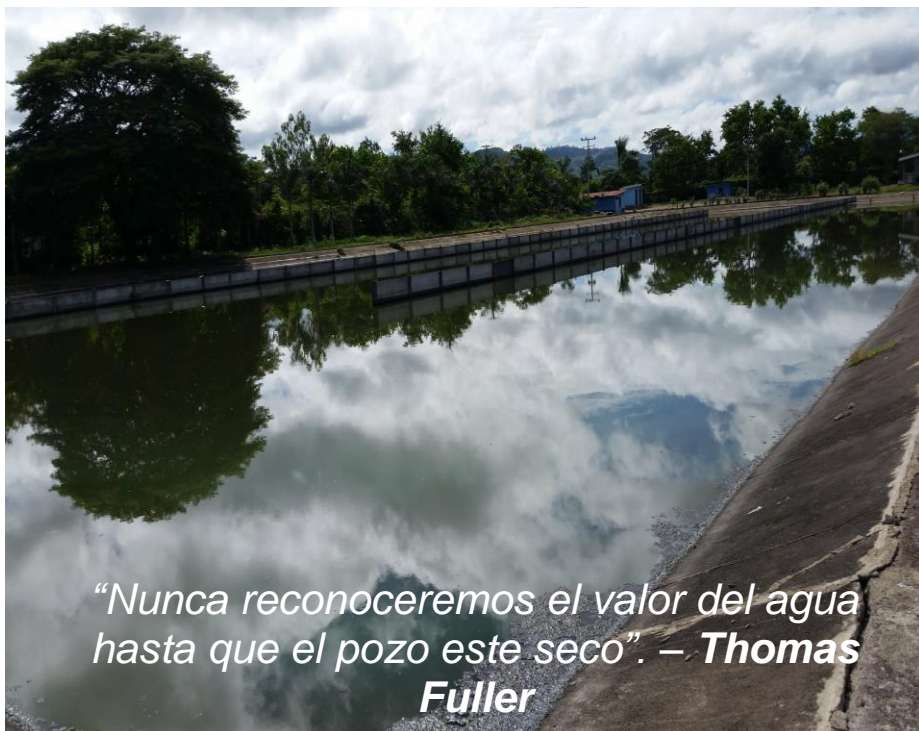
Para una población mayor de 75,000 habitantes

Tabla 4.0.4: Límites máximos permisibles para poblaciones mayores de 75,000 habitantes

Parámetros	Límites máximos permisibles
PH	6-9
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	80
Grasas y Aceites (mg/L)	10
Sólidos Sedimentables (m/L)	1.0
DBO(mg/L)	90
DQO(mg/L)	180
Sustancias Activas al azul de metileno (mg/L)	3



Resultados y Discusión



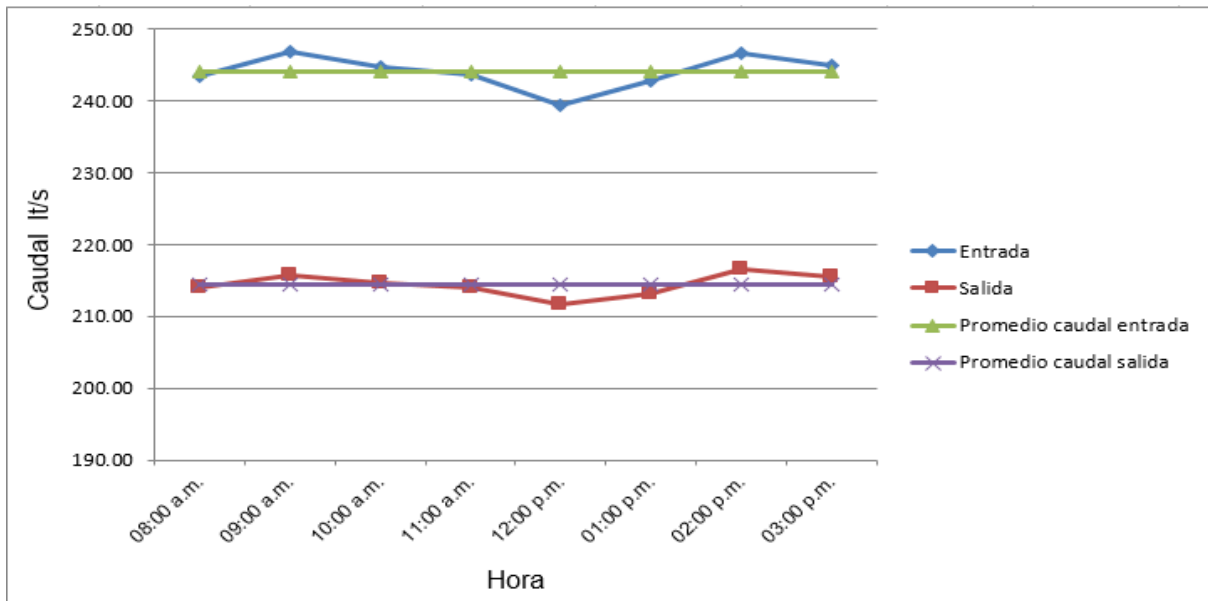
Capítulo V. Resultados y discusión

5.1 Registro de medición de caudal

Como resultado de los aforos realizados durante un periodo de 3 días consecutivos con una frecuencia de 8h por día se obtuvo un gráfico de los caudales de la entrada y salida del STAR. De acuerdo a los resultados obtenidos del aforo realizado al STAR, el caudal promedio de entrada fue de 244.03 lt/s, equivalente a 21,084.19 m³/d, correspondiente al 81.34 % de la capacidad de diseño 25,920 m³/d y el caudal promedio de salida fue de 214.41 lt/s. Los promedios diarios de los días aforados en la entrada se encuentran entre un mínimo de 239.39 lt/s y un máximo de 246.81 lt/s y en la salida el caudal mínimo es de 213.21 lt/s y el máximo de 216.52 lt/s.

Los valores anteriores indican el comportamiento de los caudales que ingresan y egresan del sistema, esto es producto de las actividades diarias y de producción de la población. Si observamos la gráfica del caudal de entrada, la mayor demanda de agua residual se presenta a las 9:00 am y 2.00 pm, las cuales no coinciden con las de agua potable debido a las hora de retardo por las actividades domésticas e industriales que se desarrollan en la ciudad.

Gráfica 5.1: Registro de medición de caudales



5.2 Capacidad Hidráulica

En la tabla 5.1 se presenta los caudales promedios de entrada y volúmenes de cada laguna del STAR para obtener la capacidad hidráulica de cada laguna y además se muestran los tiempos de retención teórico de cada laguna de estabilización.

Tabla 5.1: Capacidad hidráulica de las Laguna de estabilización

Modulo	Caudal entrada (m³/d)	Caudal salida (m³/d)	Volumen (m³)	Tiempo retención (día)
Laguna Facultativa Módulo A	7,191.94	7,112.45	16,733.34	2.34
Laguna Facultativa Módulo B	6,863.62	6,788.45	16,733.34	2.45
Laguna Facultativa Módulo C	6,976.80	6,898.18	16,733.34	2.41
Laguna Maduración Módulo A	7,112.45	7,042.46	8,899	1.26
Laguna Maduración Módulo B	6,788.45	6,721.92	7,753	1.15
Laguna Maduración Módulo C	6,898.18	6,830.78	8435	1.23

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla anterior, estos nos indican que las lagunas no realizan una completa remoción de materia orgánica y patógenos debido a que los tiempos de retención no se encuentran dentro del rango recomendado por el CEPIS (7-10 días) por lo cual esto afecta en la eficiencia remocional de coliformes fecales y en el cumplimiento de los Art. 22 y 23 del Decreto 33-95. Esta es una evidencia que los sistemas deben de ser diseñados con valores propios de las localidades.

5.3 Balance hídrico

De acuerdo a los resultados obtenidos a través del balance hídrico estos nos indican que existen pérdidas de hasta 5.66 lt/s en todo el sistema de tratamiento, considerando que la evaporación incidió durante el periodo que se realizaron los aforos, y que además hay lagunas que presentan agrietamiento en los taludes lo cual favorece a la pérdida de agua.

En la tabla siguiente se muestran las variaciones promedio de caudales en la entrada y salida de cada unidad y del sistema en general, de igual manera se presentan las pérdidas.

Tabla 5.2: Balance Hídrico de las lagunas

	Módulo A			Módulo B			Módulo C			
Caudal	RAFA	Laguna Facultativa	Laguna Maduración	RAFA	Laguna Facultativa	Laguna Maduración	RAFA	Laguna Facultativa	Laguna Maduración	STAR
Caudal entrada (L/s)	83.44	83.24	82.32	79.64	79.44	78.57	80.95	80.75	79.84	244.03
Caudal salida (L/s)	83.24	82.32	81.51	79.44	78.57	77.80	80.75	79.84	79.06	238.36
Perdidas (L/s)	0.20	0.93	0.81	0.20	0.87	0.78	0.20	0.91	0.79	5.66

De acuerdo a lo antes expuesto no se consideró precipitación ya que los días del aforo no hubo presencia de lluvia. Para obtener las perdidas por evaporación e infiltración en las unidades de tratamiento de los módulos, se utilizaron los datos de evaporación de los últimos 10 años de la ciudad de Estelí y la infiltración se obtuvo de un estudio de suelo realizado en de la zona de estudio, para luego obtener el balance hídrico.

5.4 Resultados de los análisis físico-químicos y bacteriológicos

En esta sección se presentan los resultados de los análisis físico-químicos y bacteriológicos obtenidos en el laboratorio de ENACAL y de PIENSA, a partir del muestreo compuesto realizado al STAR en general y el muestreo puntual realizado a los módulos A, B y C respectivamente.

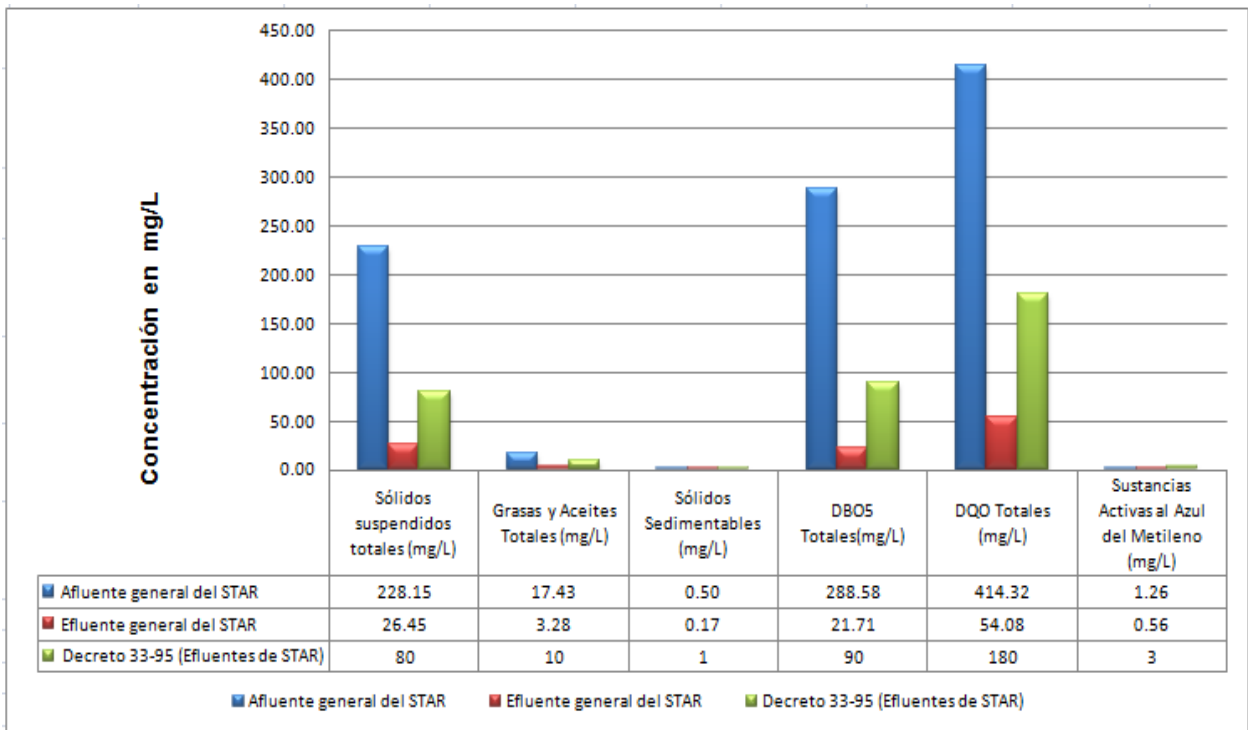
Tabla 5.3: Resultados de análisis de laboratorios de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del afluente y efluente general del STAR

Parámetros	Entrada General-STAR	Salida General-STAR	Cumplimiento Art. 22 y 23 del Decreto 33-95	Cuadro 5 : Criterios según el tipo de categoría de riego (NTON 05 027-05)
Temperatura	26.96	26.85	-	-
pH campo	6.93	6.88	Cumple	-
pH laboratorio	7.05	6.85	Cumple	-
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	228.15	26.45	Cumple	-
Grasas y Aceites Totales (mg/L)	17.43	3.28	Cumple	-
Sólidos Sedimentables (mg/L)	0.50	0.17	Cumple	-
DBO5 Totales(mg/L)	288.58	21.71	Cumple	Cumple
DQO Totales (mg/L)	414.32	54.08	Cumple	-
Sustancias Activas al Azul de Metileno (mg/L)	1.26	0.56	Cumple	-
Coliformes Fecales (NMP/100)	1.66E+07	3.13E+06	No Cumple	No cumple

En la tabla 5.3 podemos observar la caracterización que se le realizó al afluente y efluente general del STAR. De acuerdo a los parámetros fisicoquímicos que se muestran en la tabla 5.3 podemos decir que estos cumplen con los Art N° 22 y 23 del Decreto 33-95 y la Norma NTON 05 027-05, a excepción del parámetro microbiológico como son los coliformes fecales, lo cual indica que el efluente tratado no es apto para ser directamente vertido al cuerpo receptor (La quebrada la Limonosa) y para ser reutilizable como riego de cultivos.

Los valores anteriores de coliformes fecales que presenta este sistema de acuerdo a los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio mostrados en la tabla 5.3 son muy comunes en las aguas residuales, ya que estas pueden llegar a tener niveles altos de concentración de coliformes en su efluente, estas altas concentraciones se debe a que el diseñador trabajo con un valor de coliformes que difiere al encontrado. Además hay que agregar la falta de mantenimiento en las unidades de tratamiento del sistema reduciendo su capacidad de remoción de patógenos.

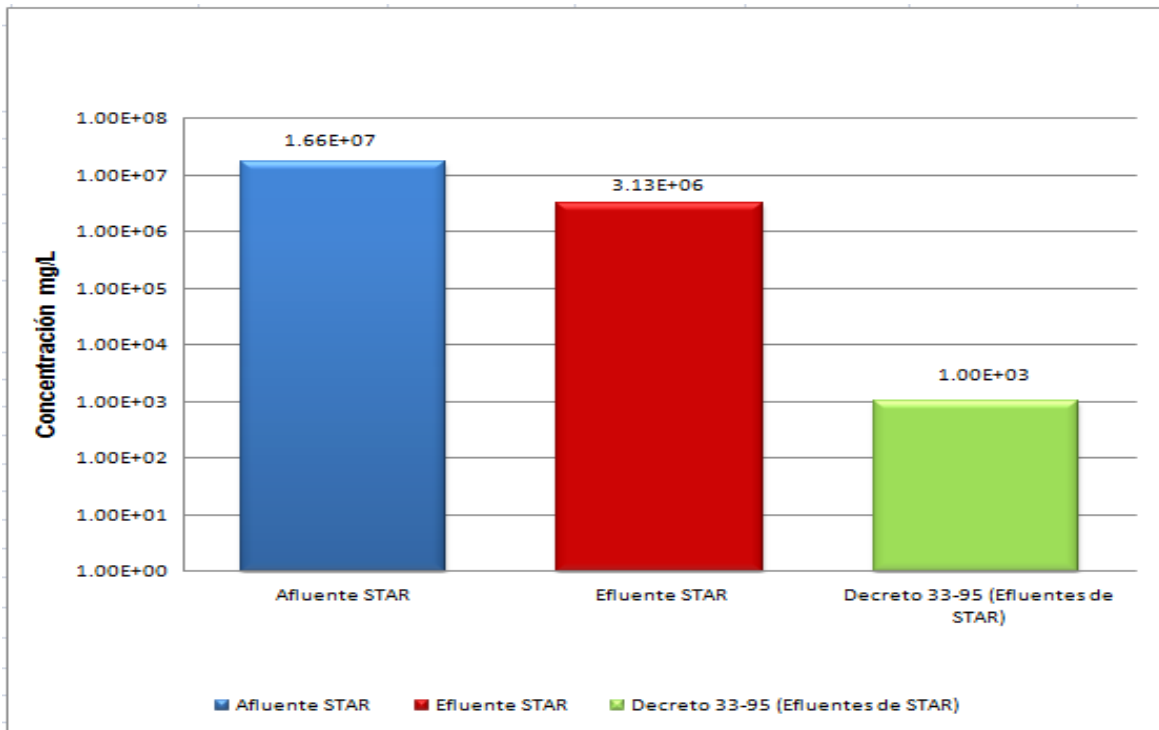
A continuación en el gráfico 5.2 se muestran los valores promedios de concentración de los parámetros físico químicos analizados correspondientes a la entrada y salida general de STAR.



Gráfica 5. 2: Resultados de análisis fisicoquímicos del afluente y efluente general del STAR

En el gráfico 5.2, podemos observar que los parámetros físico-químicos que se presentan del efluente general del STAR cumplen con los límites máximos permisibles establecidos en los Art. 22 y 23 del Decreto 33-95, por lo tanto podemos decir de acuerdo a estos resultados, que la reducción de concentración de dichos parámetros en el efluente es bastante aceptable, lo cual es un indicador de que el STAR trabaja de buena manera en la remoción de estos parámetros, ya que si observamos los datos de temperatura y pH en la tabla 5.3 estos se encuentran dentro del rango óptimo entre 6-9 (Decreto 33-95) lo que garantiza condiciones favorables para que las unidades de tratamiento realicen los procesos de manera adecuada.

En el gráfico 5.3 se muestran la concentración de coliformes fecales en el afluente y efluente del STAR.

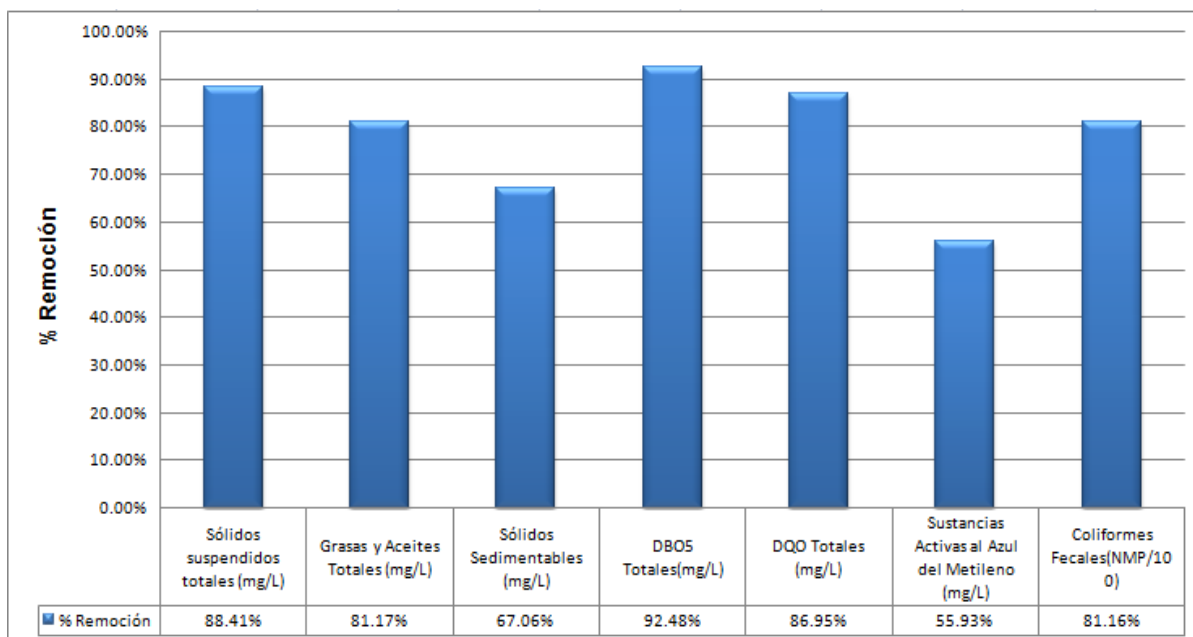


Gráfica 5. 3 Concentración promedio de coliformes fecales en el afluyente y efluente del STAR

En los resultados obtenidos de concentración promedio de coliformes fecales, podemos observar que este sistema no cumple con lo exigido en los Art. 22 del Decreto 33-95, ya que el promedio de concentración del efluente de $3.13E+06$ sobrepasa el límite máximo permisible de $1.00E+03$, lo que nos indica que las aguas tratadas no deben ser vertidas al cuerpo receptor (Quebrada la Limonosa) por no cumplir en su totalidad con las normas de calidad. (Decreto 33-95).

De acuerdo al promedio de concentración en el afluyente y efluente de $1.66E+07$ y de $3.13E+06$, se observa que se obtiene una remoción de coliformes fecales de 1.0 ciclo \log_{10} , lo cual es un valor limitante ya que la remoción es bastante baja, y esto se debe a que los tiempos de retención son cortos, ya que si consideramos la investigación de Oakley (2005), si el TRH se aproxima a 10 días se pueden obtener 2 ciclos \log_{10} de remoción de coliformes y además influye la falta de mantenimiento de algunas unidades de tratamiento como los reactores UASB y las lagunas de estabilización, las cuales presentan maleza alrededor, acumulación de natas en los

bordes y esquinas (lagunas), lo que afecta en el proceso de la fotosíntesis de algas y de la eliminación de bacterias coliformes.

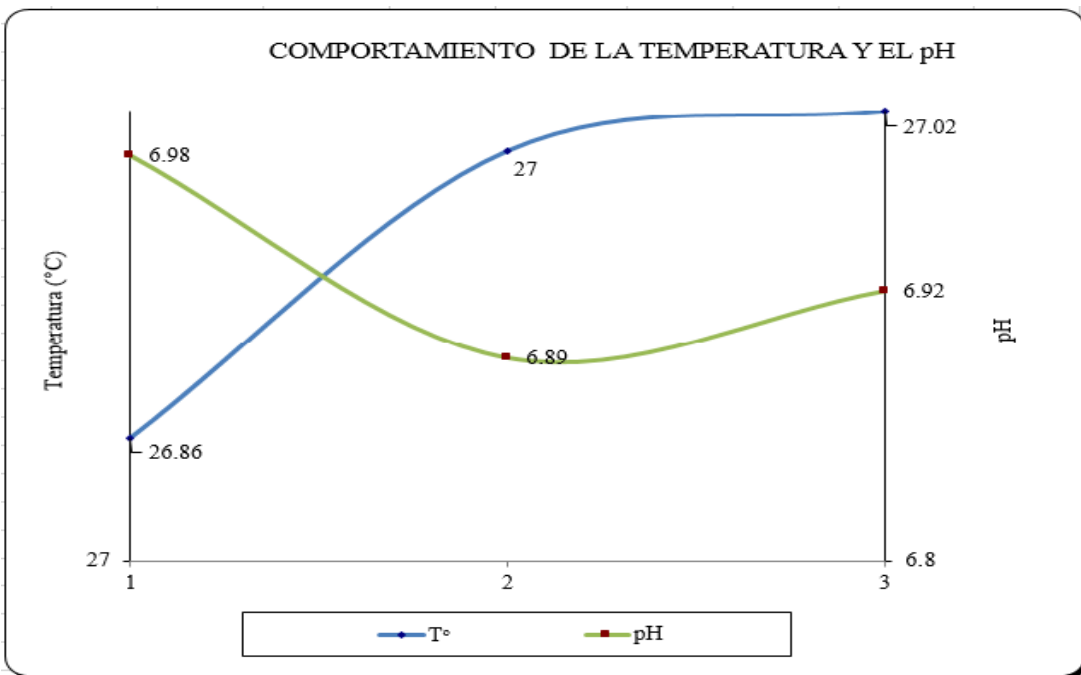


Gráfica 5. 4: Eficiencias de remoción de contaminantes en el afluente y efluente general del STAR.

Si se puede observar en el gráfico 5.4, los parámetros con mayor porcentaje de remoción son DBO₅ con el 92.48%, Sólidos Suspendidos con un 88.41% y DQO con 86.95%. Aunque el porcentaje de remoción de coliformes fecales del 81.16% es bastante aceptable, la concentración de coliformes fecales presentes en el efluente del STAR es alta ya que no cumple con los valores máximos admisibles de coliformes fecales establecidos en el Decreto 33-95.

Si se analiza el porcentaje de remoción de coliformes fecales este se ve afectado por la falta de mantenimiento y mala operación del sistema en general, lo cual perjudica significativamente el funcionamiento del STAR en la remoción de dicho parámetro, cabe señalar que si se garantizara un buen mantenimiento se lograría un porcentaje más alto de remoción de coliformes. Además hay que agregar que los tiempos de retención hidráulicos intervienen considerablemente ya que son cortos lo que origina que no se realice una remoción completa de agentes patógenos.

5.5 Relación temperatura y pH en el afluente del STAR



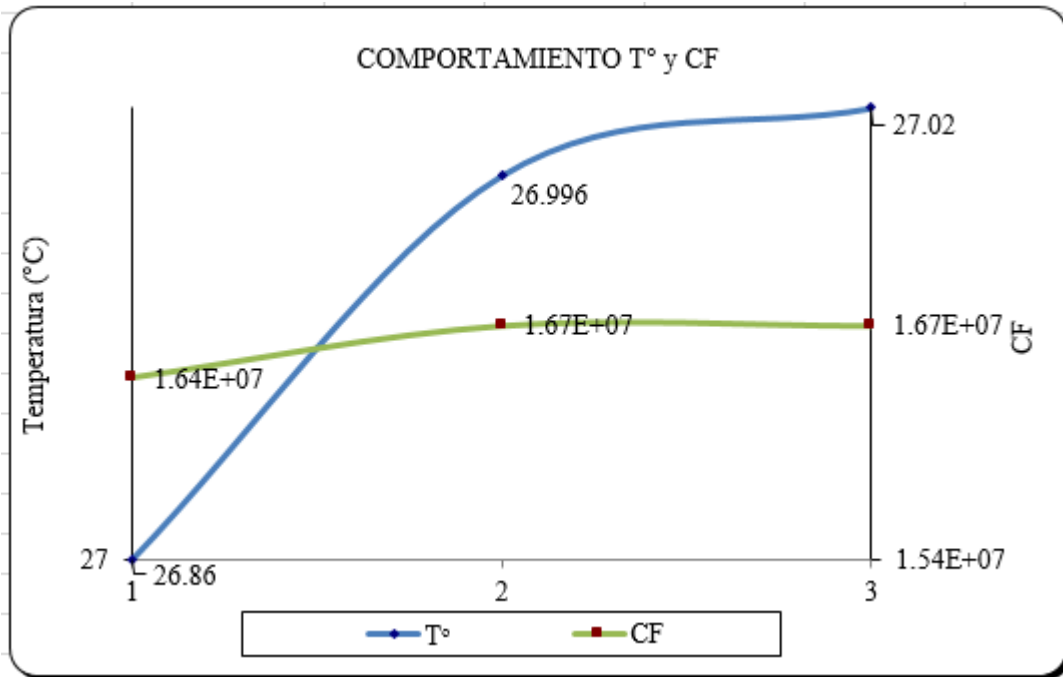
Gráfica 5. 5: Comportamiento de la temperatura y el pH

Si se analiza la gráfica 5.5, podemos observar que la temperatura y el pH en los días 1,2 y 3 presentan una estrecha relación ya que son inversamente proporcional, si la temperatura aumenta el pH disminuye, lo cual es un indicador de que el afluente posee las condiciones favorables para que en las unidades se realicen los procesos de manera óptima.

Para la gráfica anterior las escalas con las que se trabajaron se aproximaron para que se analizara en mejor detalles el comportamiento entre pH y temperatura en el afluente del STAR Estelí.

A continuación se presenta los resultados de los análisis de los muestreos simples realizados a los módulos del STAR.

5.6 Relación entre temperatura y coliformes fecales en el afluente del STAR



Gráfica 5. 6: Comportamiento de la temperatura y coliformes fecales

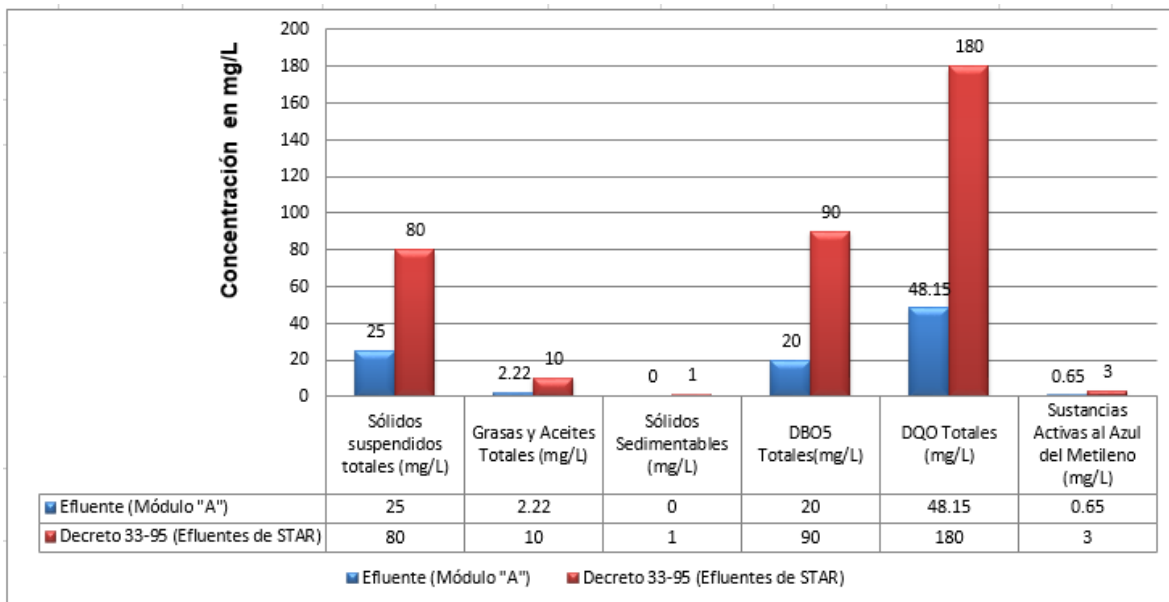
De acuerdo al comportamiento de la gráfica anterior se puede analizar que la temperatura no influye significativamente en la reducción de coliformes fecales en la entrada del sistema, por lo cual esto origina que el afluente general del sistema se vea afectado por la alta concentración de estos microorganismos.

Tabla 5.4: Muestreo promedio realizado al módulo A, el día martes 29 de marzo del 2016.

Parámetro	Decreto 33-95 (Efluentes de STAR)	Punto de muestreo				Cumplimiento con Decreto 33-95
		Afluente RAA	Efluente RAA	Efluente facultativa	Efluente maduración	
Día		Martes – 29/03/16				
Hora		07:30 a.m.	07:40 a.m.	07:50 a.m.	08:00 a.m.	-
Temperatura		26.89	26.75	26.51	26.32	-
pH en situ	6-9	7	6.53	6.35	6.72	Cumple
pH laboratorio	6-9	7.3	6.80	6.60	7.10	Cumple
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	80	150	80	28	25	Cumple
Grasas y Aceites Totales (mg/L)	10	6.09	3.45	2.30	2.22	Cumple
Sólidos Sedimentables (mg/L)	1	0.75	0.60	< 0.50	< 0.50	Cumple
DBO5 Totales(mg/L)	90	210	80.25	40.1	20.00	Cumple
DQO Totales (mg/L)	180	278	94.51	60.25	48.15	Cumple
Sustancias Activas al Azul del Metileno (mg/L)	3.00	1	0.70	0.61	0.48	Cumple
Coliformes Fecales(NMP/100)	1.00E+03	1.60E+07	7.27E+06	4.52E+06	3.08E+06	No cumple

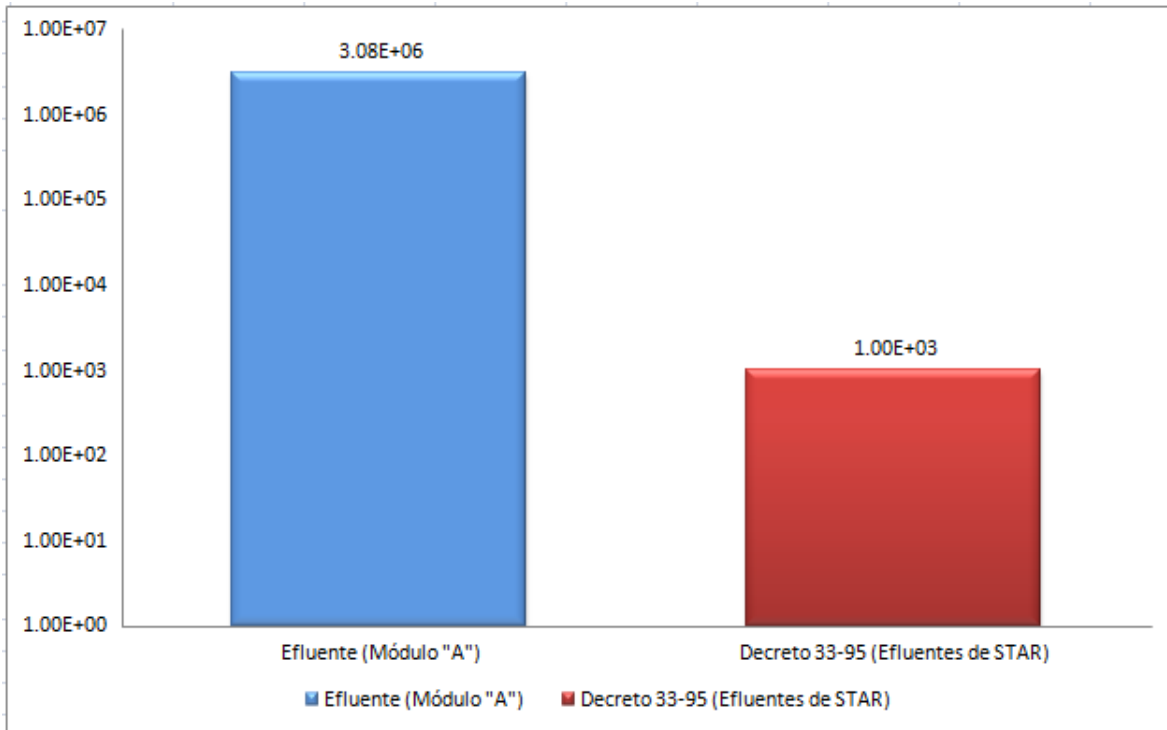
En la tabla 5.4, se presentan los resultados obtenidos de los análisis realizados a las muestras simples extraídas del módulo A, de los cuales podemos analizar que la mayoría de los parámetros cumplen con lo establecido en el Decreto 33-95, a excepción del parámetro de coliformes fecales.

El gráfico que se presenta a continuación se muestra los resultados obtenidos de los análisis físico-químicos realizados al efluente del módulo A.



Gráfica 5. 7: Resultados de los análisis físicoquímicos del efluente del módulo A.

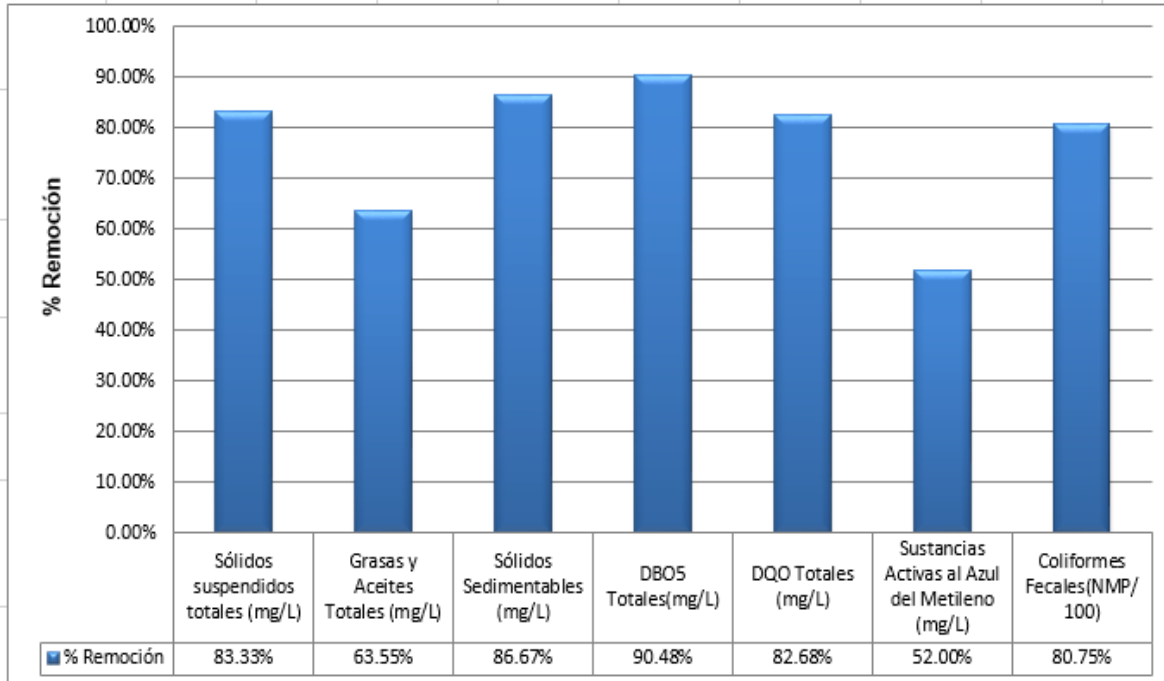
En el gráfico 5.7, se puede observar que en el efluente del módulo A, los parámetros físico-químicos analizados cumplen con los límites máximos permisibles establecidos en el Decreto 33-95, por lo cual podemos decir que la unidad que comprenden este módulo operan adecuadamente, ya que a pesar de la falta de mantenimiento y de tiempos de retención hidráulicos cortos, se logran condiciones en cada unidad que favorecen considerablemente a la reducción de concentración de carga orgánica que son un peligro de contaminación para el cuerpo receptor.



Gráfica 5. 8: Concentración de coliformes fecales en el efluente del módulo A

En el gráfico anterior se puede observar que la concentración de coliformes fecales presentes en la salida del módulo A de acuerdo al resultado obtenido del análisis realizado a la muestra no cumple, ya que presenta un valor de 3.08E+06 NMP/100 mL, el cual sobrepasa el valor máximo permisible de 1.00E+03 establecido en el Decreto 33-95, este incumplimiento se ve influenciado por la falta de mantenimiento adecuado y tiempos de retención bajos en las unidades que comprende este módulo para garantizar una reducción de concentración de coliformes fecales.

A continuación en el siguiente grafico se presentan las eficiencias de porcentajes de remoción de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos correspondientes al módulo A.



Gráfica 5. 9: Eficiencias de remoción de contaminantes en módulo A

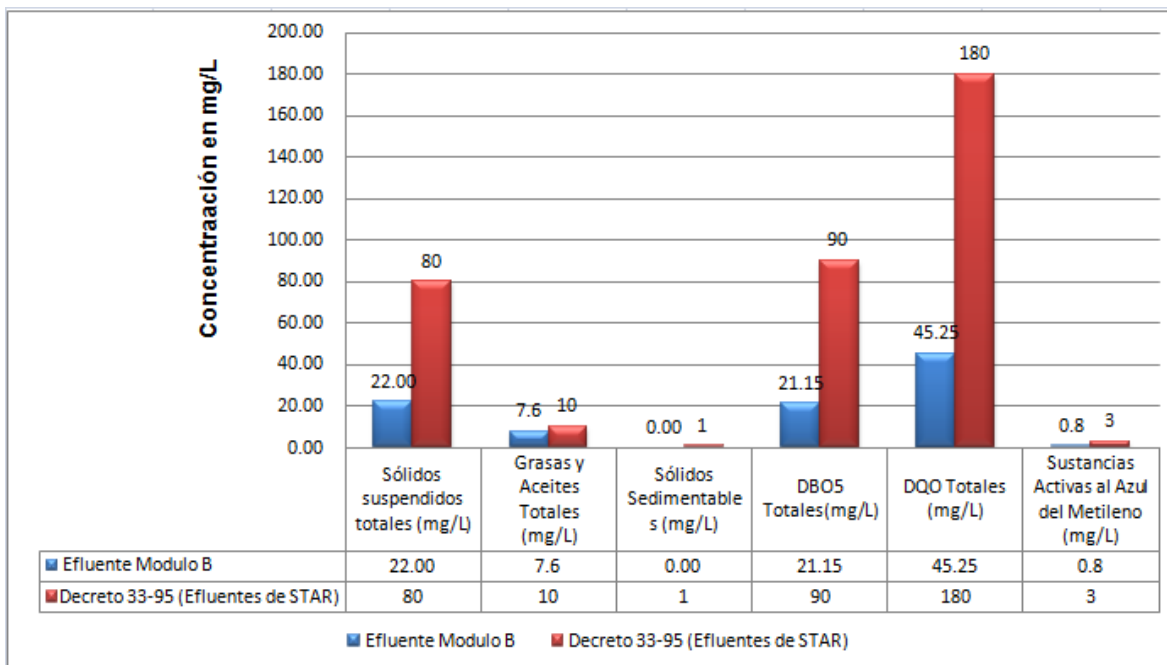
De acuerdo a las eficiencias encontradas podemos analizar que los parámetros que presentan mayor porcentaje de remoción en el efluente del módulo A como son DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno) con un 90.48% y Sólidos Sedimentables 86.67%, sin embargo a pesar de que existe un alto porcentaje del 80.75% en remoción de coliformes fecales, no es lo suficiente para que el efluente de este módulo cumpla con lo establecido en los Art. N° 22 y 23 del Decreto 33-95 y la NTON 05 027 05, esto se debe a que existen unidades como los reactores y lagunas de estabilización que no reciben un mantenimiento rutinario lo que origina una disminución en la eficiencia y se sobrepase el valor máximo permisible lo que es un indicador de la presencia de contaminantes afectando de manera directa el efluente general del sistema.

En la siguiente tabla se presentan los resultados de los análisis realizados a las muestras simples extraídas del módulo B.

Tabla 5.5: Muestreo realizado al módulo B

Parámetro	Decreto 33-95 (Efluentes de STAR)	Punto de muestreo				Cumplimiento con Decreto 33-95
		Afluente RAA	Efluente RAA	Efluente facultativa	Efluente maduración	
Día		Martes – 29/03/16				
Hora		08:30 am	08:40 am	08:50 am	09:00 am	
Temperatura		27.01	26.9	27.21	27.3	-
pH campo	6-9	6.8	6.4	6.28	6.74	Cumple
pH laboratorio	6-9	7.2	6.91	7.00	7.25	Cumple
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	80	180	79	28	22	Cumple
Grasas y Aceites Totales (mg/L)	10	12.5	9.9	8.00	3.1	Cumple
Sólidos Sedimentables 1(mg/L)	1	0.95	0.71	< 0.5	< 0.5	Cumple
DBO ₅ Totales (mg/L)	90	242.6	100.5	76.36	21.15	Cumple
DQO Totales (mg/L)	180	320.62	200.10	150.31	45.25	Cumple
Sustancias Activas al Azul del Metileno (mg/L)	3.00	1.02	0.88	0.65	0.51	Cumple
Coliformes Fecales(NMP/100)	1.00E+03	1.62E+07	8.30E+06	4.12E+06	3.16E+06	No cumple

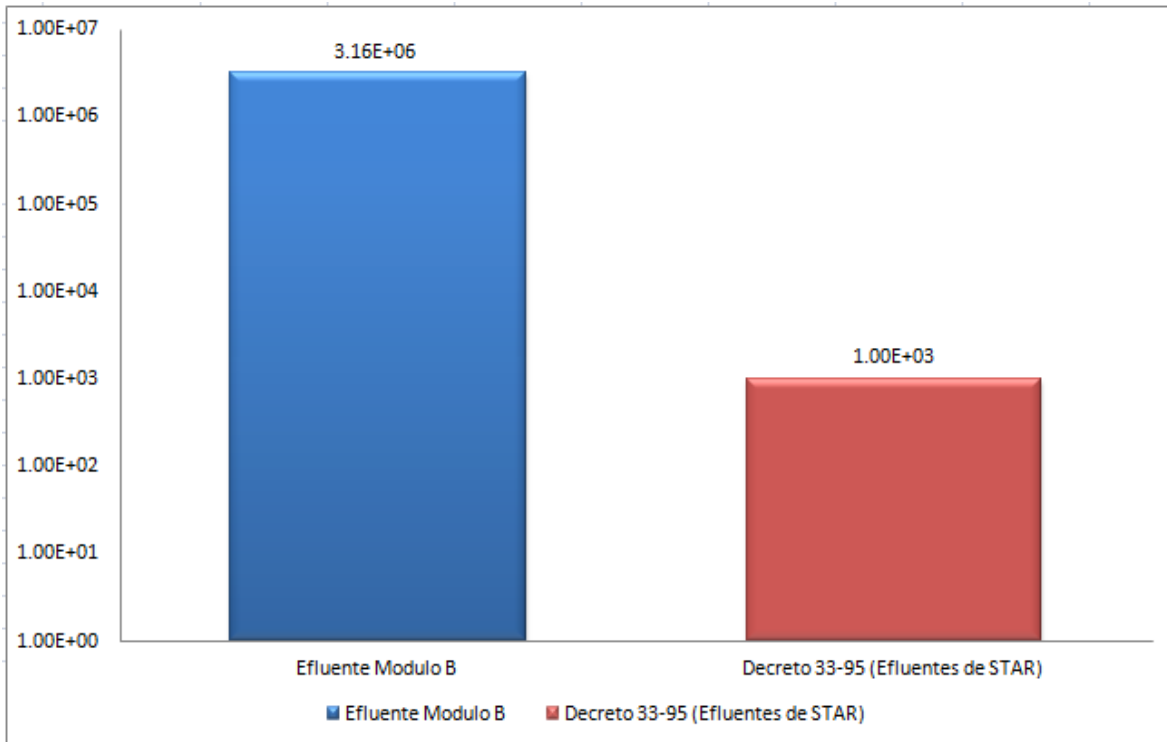
En la tabla 5.5 se puede observar que sigue siendo constante el incumplimiento del parámetro de coliformes fecales, ya que sobre pasa el límite máximo permisible contemplado en el Decreto 33-95 y la norma NTON 05 027 05.



Gráfica 5. 10: Resultados de los análisis fisicoquímicos del efluente del módulo B

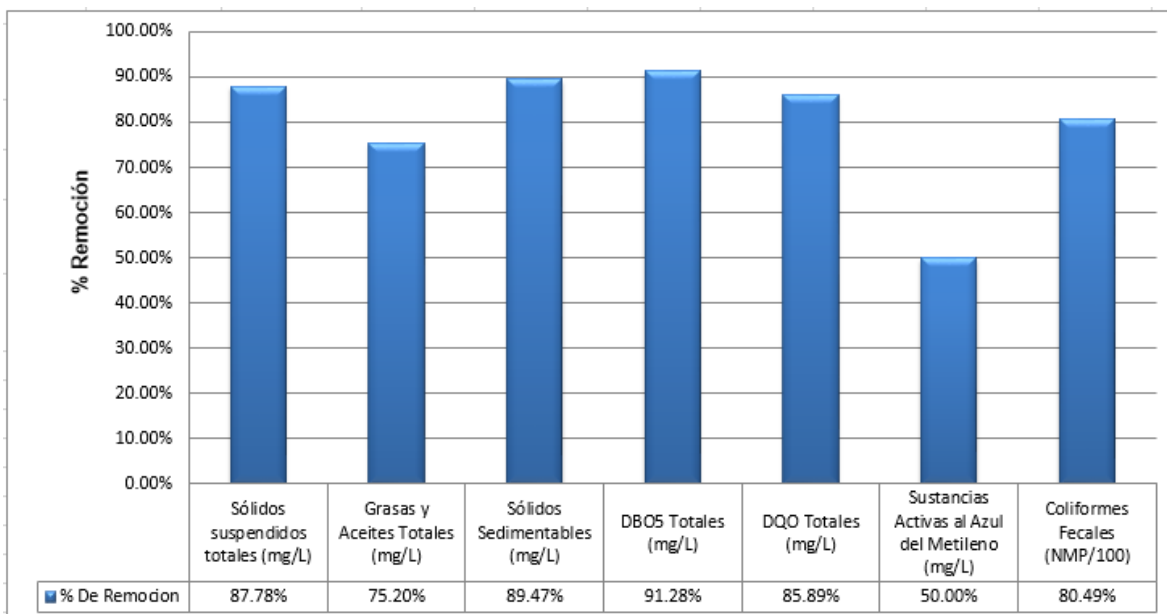
Si observamos la figura anterior los parámetros en el efluente de modulo B cumplen con los valores máximos admisibles establecidos en el decreto 33-95. Así mismo, es importante mencionar que los resultados de los análisis físico-químicos nos indican que el módulo remueve lo suficiente para que el efluente cumpla con la norma de vertido conforme a estos parámetros.

En la figura que se muestra a continuación se presenta la concentración de coliformes fecales presentes en el efluente del módulo B.



Gráfica 5. 11: Concentración de coliformes fecales en el efluente del módulo B

En la concentración de coliformes fecales presentes en la salida del módulo B mostrada en el gráfico anterior existe un notable incumplimiento de la norma de vertido de aguas residuales a cuerpos receptores (Decreto 33-95) y la Norma Técnica Ambiental para regular los sistemas de tratamiento de aguas residuales y su reuso, ya que sobrepasa el valor máximo admisible de 1.00E+03 NMP/100mL contemplado en el Decreto y el 1.00+E04 en la NTON 05 027 05 respectivamente. Al igual que el módulo A, este módulo carece de mantenimiento, lo cual afecta su funcionamiento para remover considerablemente agentes patógenos presentes en las aguas residuales.



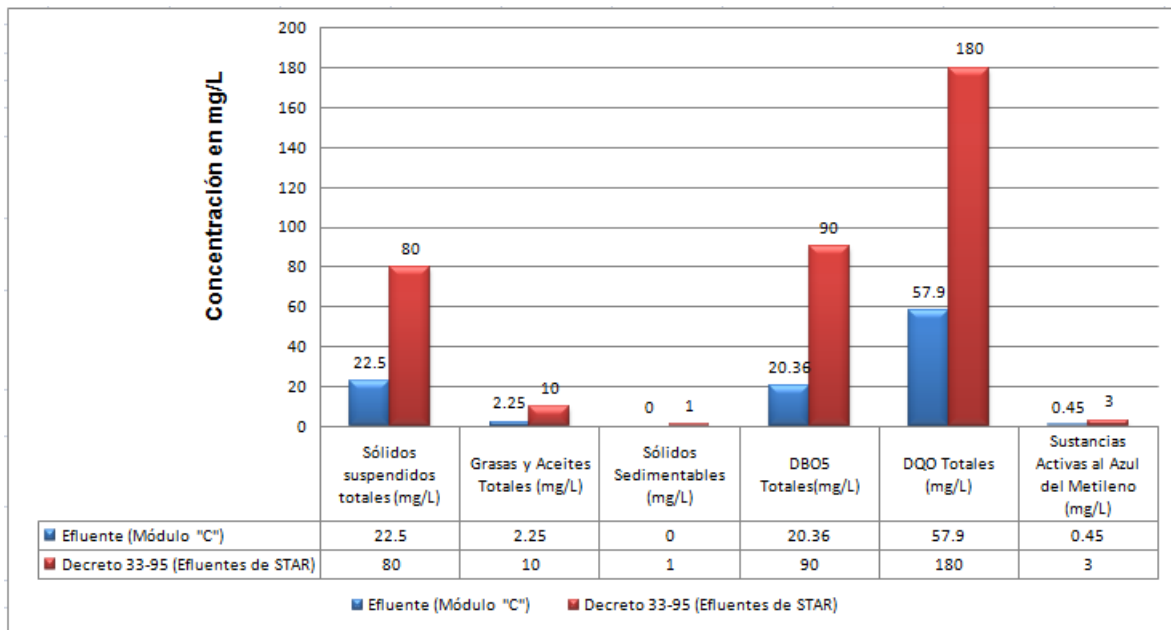
Gráfica 5. 12: Eficiencias de remoción de contaminantes en el módulo B

Con respecto a los resultados de los análisis de eficiencias obtenidas en el módulo B este presenta un porcentaje aceptable de remoción en parámetros como DBO con un 91.28%, sólidos sedimentables con 89.47% y sólidos suspendidos con 87.78%. Se observa en el gráfico 10 un alto porcentaje de 80.49% en la reducción de coliformes fecales, lo cual es un valor aceptable pero no lo suficiente para garantizar el buen tratamiento de las aguas residuales que ingresan a este, debido a que no se cumple con el límite máximo permisible del parámetro de coliformes fecales contemplado en el Decreto 33-95 y la NTON 05 027 05, lo que es un indicador de la alta concentración de contaminación presente en el efluente del módulo.

Tabla 5.6: Muestreo realizado al módulo C

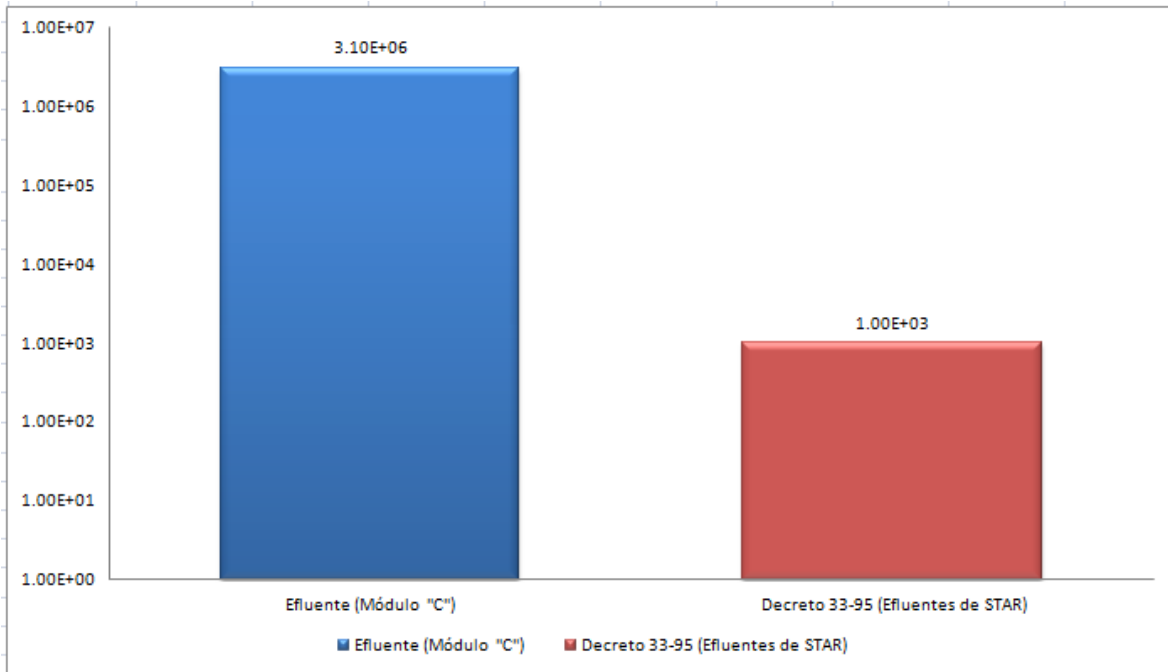
Parámetro	Decreto 33-95 (Efluentes de STAR)	Punto de muestreo				Cumplimiento con Decreto 33-95
		Afluente RAA	Efluente RAA	Efluente facultativa	Efluente maduración	
Día		Martes – 29/03/16				
Hora		09:30 am	09:40 am	09:50 am	10:00 am	
Temperatura		27.65	26.32	26.2	26	
pH campo	6-9	6.79	6.31	6.48	7	Cumple
pH laboratorio	6-9	7.15	6.80	6.85	7.06	Cumple
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	80	175	70	37	22.5	Cumple
Grasas y Aceites Totales (mg/L)	10	10	5.1	2.98	2.25	Cumple
Sólidos Sedimentables (mg/L)	1	0.69	0.50	< 0.5	< 0.5	Cumple
DBO5 Totales(mg/L)	90	165	97	50.2	20.36	Cumple
DQO Totales (mg/L)	180	240	148.4	81.2	57.9	Cumple
Sustancias Activas al Azul del Metileno (mg/L)	3.00	0.9	0.76	0.60	0.45	Cumple
Coliformes Fecales(NMP/100)	1.00E+03	1.59E+07	9.89E+06	4.5E+06	3.1E+06	No cumple

Si analizamos la tabla 5.6 en la que se presentan los resultados de los análisis realizados a las muestras extraídas del módulo C, se puede observar al igual que en los módulos A y B que existe un gran incumplimiento en el efluente en cuanto al parámetro de coliformes fecales ya que se sobrepasa el valor máximo exigido en el Decreto 33-95 y la NTON 05 027 05.



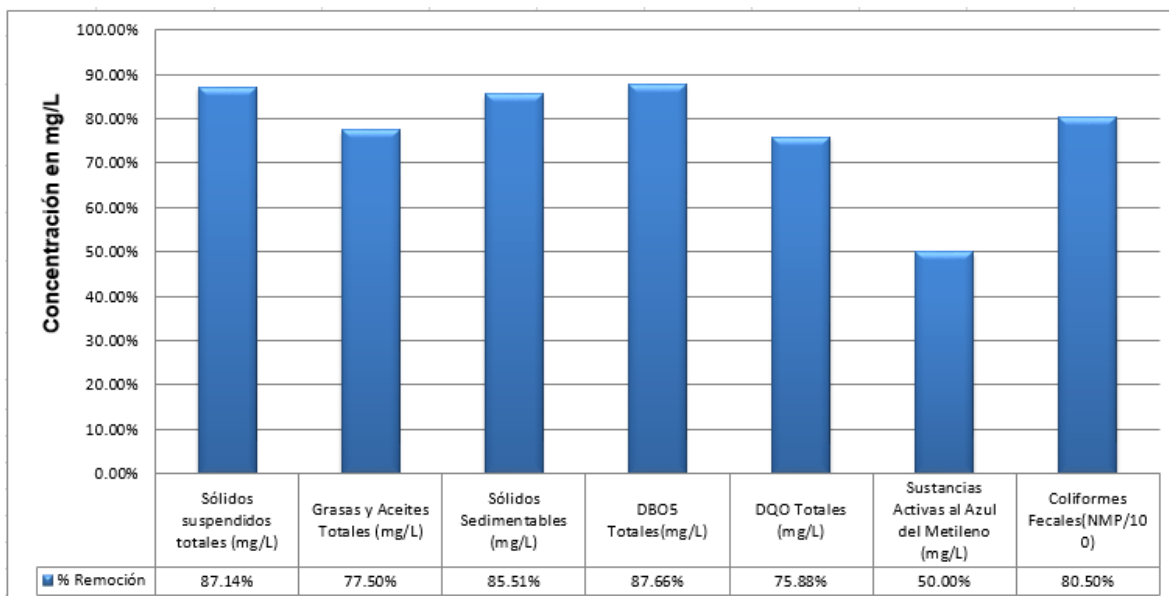
Gráfica 5. 13: Resultados de los análisis fisicoquímicos del efluente del módulo C

Los resultados de los análisis realizados a las muestras extraídas del efluente del módulo C, presentado en el gráfico 5.11 nos indica que este cumple con los valores máximos permisibles de los parámetros fisicoquímicos establecidos en los Art. 22 y 23 del Decreto 33-95.



Gráfica 5. 14: Concentración de coliformes fecales en el efluente del módulo C

El valor de coliformes fecales de 3.10E+06 NMP/100 mL obtenidos en el efluente del módulo C, incumple nuevamente como los demás módulos de tratamiento con lo establecido en el Decreto 33-95 y la NTON 05 027 05, esto es debido a que las unidades que posee este módulo se encuentran descuidadas por los operadores del STAR, los cuales no garantizan un mantenimiento rutinario para el buen funcionamiento del reactor y las lagunas que conforman el módulo C.



Gráfica 5. 15: Eficiencias de remoción de contaminantes en módulo C

Los porcentajes más altos de remoción obtenidos en el efluente del módulo C se presentan en parámetros como son DBO₅ con 87.66% y los sólidos suspendidos totales con 87.14%, sin embargo a pesar del porcentaje en coliformes de fecales es de 80.50% es bastante considerable, no obstante no es lo suficiente para garantizar el cumplimiento de la norma de vertido de aguas residuales a cuerpos receptores y la norma de reuso de las aguas tratadas, por el alto grado de contaminación del efluente.

5.7 Comparación entre remoción real y teórica

Tabla 5.7: Comparación entre porcentajes de remoción real y teórica de loa reactores UASB

Tratamiento	Porcentaje de Remoción							
	DBO ₅	DQO	S.S	Coliformes	Cuadro 11-33 de eficiencia típicas de remoción de unidades tratamiento (Guía técnica para el diseño de sistemas de tratamiento, INAA)			
					DBO ₅	DQO	SS	Colif.
UASB- Módulo A	61.79%	66%	46.67%	54.56%	NC	C	NC	-
UASB- Módulo B	58.57%	37.59%	56.11%	48.77%	NC	NC	NC	-
UASB- Módulo C	41.21%	38.17%	60%	37.80%	NC	NC	C	-

C= Cumple NC= No cumple

Tabla 5.8: Comparación entre porcentajes de remoción real y teórica de las lagunas de estabilización

Tratamiento	Porcentaje de Remoción							
	DBO ₅	DQO	S.S	Coliformes	Cuadro 3 de eficiencia de remoción de los diferentes procesos de tratamiento (NTON 05 027 05)			
					DBO ₅	DQO	SS	Colif.
L. Facultativa - A	50%	36.25%	65%	37.83%	N.C	N.C	C	N.C
L. Facultativa - B	24.02%	24.88%	64.56%	50.36%	N.C	N.C	C	N.C
L. Facultativa - C	48.25%	45.28%	47.14%	54.50%	N.C	C	N.C	N.C
L. Maduración- A	50.12%	20.08%	11%	31.86%	N.C	N.C	N.C	N.C
L. Maduración- B	72.30%	69.90%	21.43%	23.30%	C	C	N.C	N.C
L. Maduración- C	59.44%	28.69%	39.19%	31.11%	N.C	N.C	N.C	N.C

C= Cumple NC= No cumple

Si se analizan las tabla anteriores, las lagunas y los reactores no cumplen en su totalidad con el cuadro de eficiencia esperadas de diferentes procesos de tratamiento presentado en la guía técnica de INAA y la norma NTON 05 027-05, esto se debe a que sus funcionamientos están siendo afectado por la falta de mantenimiento adecuado para cada unidad, ya que no se garantiza la limpieza de maleza alrededor de cada unidad y de materia en suspensión acumulada en las esquinas y bordes de las lagunas.

Producto de estos hallazgos la remoción de las concentraciones son bajas, sin embargo algunas de estas cumplen con los establecido en el Decreto 33-95 en el Art. 22 y 23.

5.8 Carga orgánica

Como análisis adicional se realizó el cálculo de la carga orgánica en términos de DBO₅ y DQO que el STAR descarga al cuerpo receptor en este caso la quebrada “La Limonosa”, resultando un valor de **402.19 Kg/día** con respecto a DBO₅ y en cuanto a DQO fue de **1001.85 Kg/día**.

En la tabla se muestran los resultados del cálculo de carga orgánica.

Tabla 5.9: Resultado de carga orgánica en términos de DBO y DQO que ingresan y egresan del sistema

	Carga DBO (Kg/día)	Carga DQO (Kg/día)	% Remoción
Entrada general	6084.42	8735.53	93.39
Salida general	402.19	1001.85	88.53

Los valores anteriores son de gran importancia ambiental ya que nos indican la cantidad máxima aproximada de carga contaminante en términos de DBO₅ y DQO

que entran al sistema y lo que el STAR en general aporta a la quebrada “La Limonosa”.

La eficiencia remocional de carga orgánica del sistema en general en términos de DBO₅ y DQO es de 93.39% y 88.53%, estos porcentajes nos indican que el sistema de tratamiento trabaja eficientemente en la reducción de la carga orgánica.

5.9 Determinación de la Carga orgánica total

Tabla 5.10: Carga orgánica total a tratar y concentración teórica de DBO₅

Unidad	Población conectada (ENACAL)	DBO ₅ Percápita	Carga Orgánica	Concentración teórica de DBO ₅
STAR-Estelí	121,688	50 gr.DBO ₅ .ppd	6,084.40 Kg. DBO ₅ /día	288.58 mg DBO ₅ /lt

5.10 Determinación de la Carga máxima Superficial

5.10.1 Método de Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), Yáñez (1992)

Con este método estadístico se permite conocer el límite máximo de carga orgánica para lagunas facultativas el cual tiene que ser siempre mayor que la carga que reciben los estanques primarios, para que este estanque no corra el riesgo de tornarse anaerobio; es decir que el estanque primario fallaría como facultativo, eliminando su estrato aerobio y convirtiéndose en anaerobio en toda su extensión.

Con los modelo de cálculos aplicados a continuación, se determinó la cantidad de materia orgánica removida para lagunas facultativas tomando en cuenta la carga superficial aplicada a las lagunas. Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 5.11: Correlaciones de carga superficial para reactores UASB del STAR Estelí

Por correlación Yánez-CEPIS se determina remoción adicional de carga superficial						
	Carga aplicada a lag. secundaria (DBO5 total):	Carga superficial (CSals) (Kg.DBO/Ha.día)	Carga superf. Removida (Kg.DBO/Ha.día)	Carga superf remanente (Kg.DBO/Ha.día)	Carga orgánica efluente (Kg.DBO/Ha.día)	Eficiencia remocional de lag. secundaria:
Reactor UASB- A	1513.98 Kg.DBO/día	7569.90	5790.18	1779.73	355.95	76.49%
Reactor UASB- B	1669.24 Kg.DBO/día	8346.18	6384.03	1962.15	392.43	76.49%
Reactor UASB- C	1154.01 Kg.DBO/día	5770.03	4413.27	1356.76	271.35	76.49%

Si se analiza la tabla anterior, los porcentajes de remoción de los reactores que se pueden llegar a alcanzar de acuerdo al modelo de cálculo aplicado son bastantes aceptables ya que se lograría una reducción de materia orgánica que entra a las unidades de tratamientos.

Tabla 5.12: Correlaciones de carga superficial para lagunas primarias del STAR Estelí

Unidad	Csm (Yáñez-1992) (Kg.DBO/Ha.día)	Csa (90% Csm) (Kg.DBO/Ha.día)	Remociones esperadas de materia orgánica			Promedio de remociones (Kg.DBO/Ha.día)	Eficiencia remocional:
			Por correlación (Yáñez -CEPIS) (Kg.DBO/Ha.día)	Por correlación (Mc Garry-Pescod) (Kg.DBO/Ha.día)	Por correlación (Mara y Silva) (Kg.DBO/Ha.día)		
L. Facultativa - A	357.4	321.66	267.02	243.55	256.11	255.56	79.45%
L. Facultativa - B	357.4	321.66	267.02	243.55	256.11	255.56	79.45%
L. Facultativa -C	357.4	321.66	267.02	243.55	256.11	255.56	79.45%

De acuerdo a los resultados obtenidos, la carga superficial máxima a aplicar para las lagunas facultativas del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Estelí debe ser 321.66 kg.DBO/ Ha*día, lo cual es un valor de gran importancia para evitar que las lagunas primarias reciban cargas orgánicas superiores al límite encontrado porque perderían su condición de lagunas facultativas.

Por lo mencionado anteriormente podemos analizar que las cargas encontradas no están dentro del límite de carga superficial máxima para las lagunas del STAR Estelí, esto se debe a que el método aplicado según CEPIS (Yáñez 1992) no está basado en estudios de cargas orgánicas realizados en nuestro país ya que no se puede comparar las aguas residuales de Perú con Nicaragua ya que esto requiere de una investigación de la cinética microbiana.

Con respecto a los valores obtenidos aplicando las diferentes correlaciones de carga superficial removida esperada, existe una leve variación, por lo cual de acuerdo a recomendaciones de Gámez (2009) se debe realizar un promedio general de las remociones esperadas.

Tabla 5.13: Correlaciones de carga superficial para lagunas secundarias del STAR Estelí

Por correlación Yánez-CEPIS se determina remoción adicional de carga superficial						
	Carga aplicada a lag. secundaria (DBO5 total):	Carga superficial (CSals) (Kg.DBO/Ha.día)	Carga superf. Removida (Kg.DBO/Ha.día)	Carga superf remanente (Kg.DBO/Ha.día)	Carga orgánica efluente (Kg.DBO/día)	Eficiencia remocional de lag. secundaria:
L. Maduración-A	289.10 Kg.DBO/Día	481.83	367.80	114.03	68.42	76.33%
L. Maduración-B	525.40 Kg.DBO/Día	875.67	669.09	206.58	123.95	76.41%
L. Maduración-C	351.10 Kg.DBO/Día	585.16	446.85	138.31	82.99	76.36%

En tabla anterior se puede observar las eficiencias de remoción obtenidas en las lagunas del STAR, las cuales no varían demasiado y son valores aceptables ya que se logra el cumplimiento de los rangos máximos establecidos en los Art. 22 y 23 del Decreto 33-95 .

5.11 Comparación entre las cargas superficiales aplicadas a cada laguna

Tabla 5.14: Comparación entre los módulos del STAR con respecto a las cargas superficiales aplicadas a cada laguna.

Módulo	Unidad	Carga superficial entrada (Kg.DBO/Ha. día)	Carga superficial salida (Kg.DBO/Ha. día)	% de Remoción	% Promedio remoción STAR
Módulo A	UASB	7569.68	2892.70	61.79 %	97.65 %
	L. Facultativa	622.09	310.85	50.03 %	
	L. Maduración	356.90	178.01	50.12 %	
Módulo B	UASB	8346.53	3457.65	58.57 %	97.76 %
	L. Facultativa	794.86	603.94	24.02 %	
	L. Maduración	673.62	186.58	72.30 %	
Módulo C	UASB	5770.12	3392.13	41.21 %	96.88 %
	L. Facultativa	745.52	385.83	48.25 %	
	L. Maduración	444.43	180.25	59.44 %	

De acuerdo a los resultados de la tabla anterior, se puede analizar que existen algunas unidades de tratamiento dentro de los módulos con bajos porcentajes de remoción de materia orgánica, lo cual indica que estas unidades no garantizan una completa remoción y esto se debe a que sus eficiencias se ven afectada por la falta de mantenimiento y tiempos de retención cortos, sin embargo se puede decir que los 3 módulos que comprende el STAR, en general trabajan adecuadamente en la reducción de carga contaminante, ya que los porcentajes de remoción de materia orgánica que estos presentan son bastantes considerables.

5.12 Conclusiones

Según los valores obtenidos de las variaciones de los caudales del afluente y efluente general del STAR estos nos proporcionaron el comportamiento de los caudales que ingresan y egresan del sistema, ya que si analizamos los datos del caudal de entrada y salida, la mayor demanda de agua residual se presenta a las 9:00 am y 2.00 pm, esto se debe a las actividades diarias y de producción de la población.

De acuerdo a los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio realizados a las muestras extraídas del STAR, podemos concluir que el sistema de tratamiento trabaja eficientemente en la remoción de los parámetros fisicoquímicos establecidos en los Art. 22 y 23 del Decreto 33-95, a excepción del parámetro microbiológico de coliformes fecales que aun teniendo un aceptable porcentaje de remoción no es lo suficiente para cumplir con los límites máximos permisibles, lo cual afecta directamente al efluente ya que contiene un alto grado de contaminación para el cuerpo receptor y la población en general.

Según la evaluación que se realizó sobre la operación y mantenimiento del sistema se puede decir que las unidades de tratamiento como los reactores y las lagunas de estabilización no reciben un mantenimiento adecuado lo cual afecta al funcionamiento del STAR y a la salud de la población debido a los malos olores que esta genera producto de la falta de limpieza de natas en la superficie de las unidades mencionadas.

De acuerdo a los resultados obtenidos a través del balance hídrico estos nos indican que existen pérdidas de hasta 5.66 lt/s en todo el sistema, debido a que influyo la evaporación durante el periodo que se realizó el aforo y hay que señalar que varias lagunas presentan un deterioro en sus taludes, lo cual favorece que las pérdidas de aguas residuales aumenten.

5.13 Recomendaciones

Basándonos en el estudio realizado al funcionamiento del STAR de la ciudad de Estelí, se presentan a continuación ciertas medidas que contribuirán al mejoramiento de la eficiencia del sistema de tratamiento:

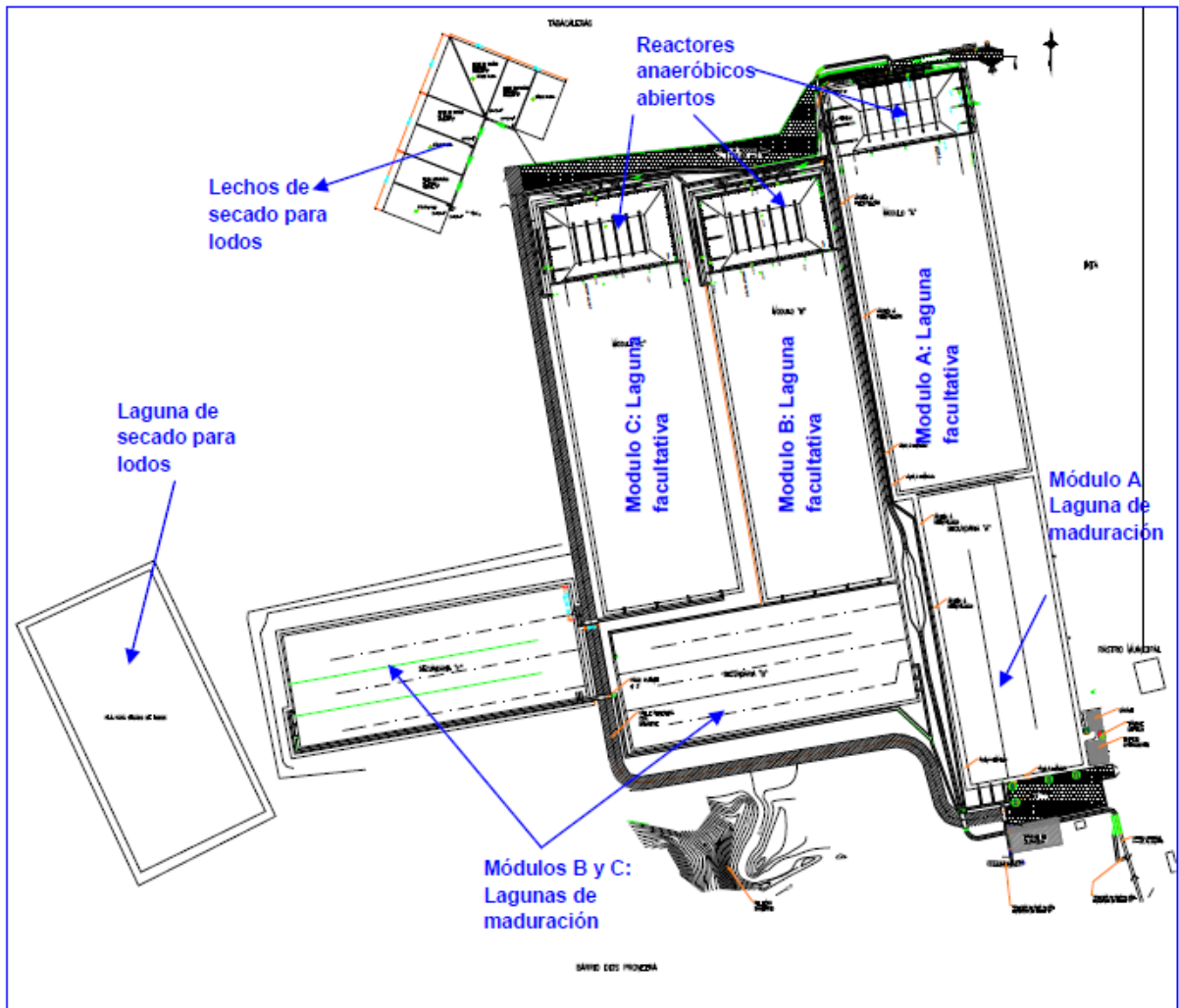
- Realizar semanalmente la limpieza de maleza y diariamente la de material en suspensión (nata), para garantizar la buena circulación del flujo de agua que entra a las unidades de tratamiento y evitar la generación de malos olores que perjudique a la población cercana al STAR.
- Con el fin de mejorar el funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Estelí, se recomienda el remplazo de la rejilla fina debido al mal estado en que se encuentra, lo que causa una mínima retención de sólidos, afectando los diferentes módulos.
- Se sugiere mejorar las condiciones de la laguna de secados de lodos, para garantizar el buen funcionamiento del STAR y evitar que sea un riesgo de contaminación y accidentes para la población que habitan en la cercanía de la planta.
- Actualizar el catastro de conexiones domiciliarias d la ciudad de Estelí.
- Realizar un estudio de la autodepuración del agua de la quebrada “La Limonosa”

5.14 Bibliografía

- Alcaldía municipal de Estelí. (18 de Septiembre de 2015). *Alcaldía municipal de Estelí*. Obtenido de Alcaldía de Estelí:
http://www.alcaldiaesteli.gob.ni/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=12
- Asamblea Nacional de Nicaragua. (2000). *Decreto N° 33-95: "Disposiciones para el control de la contaminación proveniente de las descargas de las aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias"*. Managua, Nicaragua.
- INAA. (2004). *Guías técnicas para el diseño de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamiento de aguas residuales*. Managua, Nicaragua. Obtenido de www.inaa.gob.ni.
- Mercado, A. (2013). *www.aquaknow.net*. Obtenido de www.aquaknow.net:
http://www.aquaknow.net/en/system/files/3.Lagunas%20de%20estabilizaci%C3%B3n_0.pdf
- OPS/CEPIS. (1996). *Propuesta Metodológica Evaluación de Lagunas de Estabilización*. Lima.
- OPS/CEPIS/COSUDE. (2005). *Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización*. Lima.
- Tchobanoglous, G. (2000). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. Bogotá, Colombia: McGraw Hill.

5.15 Anexos

Anexo 1: Sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) de la ciudad de Estelí.



Fuente: Unidad de Gestión Proyecto Integrado Estelí-Ocotal, Programa Regional de reconstrucción para América Central (PRRAC) 2004.

Anexo 2: Muestreo en el sitio de estudio



Fuente: Propia

Anexo 3: Verificación de cámara derivadora de caudales



Fuente: Propia

Anexo 3: Evaluaciones realizadas por el laboratorio de ENACAL al STAR de la ciudad de Estelí

Parámetro	Decreto 33-95 (Efluentes de STAR)	Afluente general STAR									
		Martes-29/03/2016									
Día											
Hora		07:00 a.m.	08:00 a.m.	09:00 a.m.	10:00 a.m.	11:00 a.m.	12:00 p.m.	01:00 p.m.	02:00 p.m.	03:00 p.m.	04:00 p.m.
Temperatura (°C)		26.40	26.65	26.87	26.91	26.99	27.53	27.21	26.89	26.69	26.45
pH campo	6.00-9.00	6.80	7.25	6.70	7.10	6.92	6.87	7.22	6.78	7.30	6.85
pH laboratorio		6.73	6.91	6.82	7.24	7.13	7.00	7.26	6.84	7.28	6.98
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	80	226.47	226.82	226.52	227.10	228.51	232.50	229.25	228.15	227.02	226.45
Grasas y Aceites Totales (mg/L)	10	16.70	17.30	16.75	17.10	17.72	18.30	17.65	17.23	16.83	17.11
Sólidos Sedimentables (mg/L)	1	0.50	0.51	0.49	0.50	0.48	0.51	0.50	0.49	0.49	0.47
DBO5 Totales(mg/L)	90	287.43	289.10	287.60	288.65	289.50	290.20	288.87	287.75	287.42	288.34
DQO Totales (mg/L)	180	411.62	415.00	413.20	411.50	412.00	416.00	414.53	414.42	413.89	413.15
Sustancias Activas al Azul del Metileno (mg/L)	3	1.20	1.30	1.22	1.25	1.23	1.50	1.20	1.26	1.31	1.20
Coliformes Fecales(NMP/100)	1.00E+03	1.60E+07	1.65E+07	1.62E+07	1.66E+07	1.65E+07	1.70E+07	1.68E+07	1.65E+07	1.61E+07	1.61E+07

Fuente: Enacal 2016

Parámetro	Decreto 33-95 (Efluentes de STAR)	Efluente general STAR									
		Martes-29/03/2016									
Día		08:00 a.m.	09:00 a.m.	10:00 a.m.	11:00 a.m.	12:00 p.m.	01:00 p.m.	02:00 p.m.	03:00 p.m.	04:00 p.m.	05:00 p.m.
Hora		26.10	26.22	27.1	27.43	27.63	27.32	27.02	26.75	26.25	26
Temperatura (°C)		26.10	26.22	27.1	27.43	27.63	27.32	27.02	26.75	26.25	26
pH campo	6.00-9.00	6.75	7.16	6.60	6.84	6.87	6.80	7.15	6.62	7.24	6.79
pH laboratorio		6.60	6.75	6.74	6.70	7.00	6.96	7.21	6.78	7.26	6.88
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	80	25	26	24.95	25.9	28.5	26.23	25	27.56	26.4	25.14
Grasas y Aceites Totales (mg/L)	10	2.9	2.1	3.92	2.95	2.05	2.9	3.21	3.84	2.99	3.18
Sólidos Sedimentables (mg/L)	1	0.18	0.15	0.14	0.14	0.2	0.16	0.21	0.1	0.12	0.16
DBO5 Totales(mg/L)	90	20.29	21.1	21.4	20.3	22.02	21.52	20.85	20.4	22.45	20.25
DQO Totales (mg/L)	180	55.9	54.71	54.5	55.1	54.7	55.4	54.83	56.3	55.69	55.98
Sustancias Activas al Azul del Metileno (mg/L)	3	0.5	0.56	0.53	0.6	0.65	0.61	0.59	0.5	0.5	0.52
Coliformes Fecales(NMP/100)	1.00E+03	3.00E+06	3.10E+06	3.02E+06	3.12E+06	3.50E+06	3.20E+06	3.10E+06	3.15E+06	3.05E+06	3.18E+06

Fuente: Enacal 2016

Parámetro	Decreto 33-95 (Efluentes de STAR)	Afluente general STAR									
		Miercoles. 30/03/2016									
Día		07:00 a.m.	08:00 a.m.	09:00 a.m.	10:00 a.m.	11:00 a.m.	12:00 p.m.	01:00 p.m.	02:00 p.m.	03:00 p.m.	04:00 p.m.
Temperatura (°C)		26.60	27.14	27.08	26.84	26.83	27.5	27.00	26.78	27.4	26.79
pH campo	6.00-9.00	6.90	7.30	6.98	6.82	6.89	6.70	7.05	6.63	6.91	6.70
pH laboratorio		7.25	7.32	7.15	7.23	6.91	7.00	7.15	6.80	6.99	6.86
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	80	227.10	227.21	226.30	226.88	228.90	230.12	229.22	229.01	228.35	227.96
Grasas y Aceites Totales (mg/L)	10	16.73	17.60	17.10	17.36	18.10	18.50	17.96	17.50	16.98	17.33
Sólidos Sedimentables (mg/L)	1	0.52	0.50	0.50	0.48	0.50	0.60	0.54	0.50	0.51	0.48
DBO5 Totales(mg/L)	90	287.85	287.98	287.30	288.21	288.69	290.98	289.78	289.56	288.63	288.40
DQO Totales (mg/L)	180	412.01	414.47	414.91	413.08	413.21	417.16	415.62	414.94	414.55	412.13
Sustancias Activas al Azul del Metileno (mg/L)	3	1.30	1.28	1.20	1.25	1.25	1.29	1.40	1.21	1.27	1.20
Coliformes Fecales(NMP/100)	1.00E+03	1.64E+07	1.64E+07	1.65E+07	1.71E+07	1.67E+07	1.77E+07	1.70E+07	1.66E+07	1.66E+07	1.60E+07

Fuente: Enacal 2016

Parámetro	Decreto 33-95 (Efluentes de STAR)	Efluente general STAR									
		Miercoles.									
Día		08:00 a.m.	09:00 a.m.	10:00 a.m.	11:00 a.m.	12:00 p.m.	01:00 p.m.	02:00 p.m.	03:00 p.m.	04:00 p.m.	05:00 p.m.
Temperatura (°C)		26.20	26.32	27.32	27.43	27.63	27.67	27.14	26.87	26.25	26
pH campo	6.00-9.00	6.65	7.02	6.75	6.87	6.99	6.85	7.35	6.44	7.50	6.32
pH laboratorio		6.70	6.87	6.64	6.76	7.08	6.96	7.33	6.54	7.23	6.20
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	80	31.26	28.58	30.02	27.64	29.76	29.01	26.6	26.45	27.1	24.15
Grasas y Aceites Totales (mg/L)	10	2.95	2.99	3.41	3.89	2.12	2.25	3.98	2.91	3.02	4.9
Sólidos Sedimentables (mg/L)	1	0.1	0.17	0.17	0.15	0.25	0.20	0.14	0.22	0.18	0.14
DBO5 Totales(mg/L)	90	21.3	23.25	20.53	22.65	21.95	20.39	20.89	22.14	20.03	25.3
DQO Totales (mg/L)	180	52.85	53.89	52.75	53.69	55.1	53.97	54.75	52.35	55.01	54.2
Sustancias Activas al Azul del Metileno (mg/L)	3	0.5	0.55	0.53	0.5	0.66	0.6	0.61	0.5	0.52	0.5
Coliformes Fecales(NMP/100)	1.00E+03	3.10E+06	3.06E+06	3.12E+06	3.05E+06	3.25E+06	3.14E+06	3.09E+06	3.05E+06	3.16E+06	3.16E+06

Fuente: Enacal 2016

Parámetro	Decreto 33-95 (Efluentes de STAR)	Afluente general STAR									
		Jueves. 31/03/2016									
Día		07:00 a.m.	08:00 a.m.	09:00 a.m.	10:00 a.m.	11:00 a.m.	12:00 p.m.	01:00 p.m.	02:00 p.m.	03:00 p.m.	04:00 p.m.
Temperatura (°C)		26.70	27.22	27.44	26.85	26.98	27.43	27.10	26.55	27.34	26.6
pH campo	6.00-9.00	6.98	7.40	7.21	6.65	6.80	6.76	7.15	6.54	6.90	6.79
pH laboratorio		7.30	7.42	7.10	7.45	6.90	7.00	7.15	6.78	6.89	6.67
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	80	226.85	226.98	226.20	227.51	229.78	230.58	229.87	229.42	228.89	228.58
Grasas y Aceites Totales (mg/L)	10	16.50	17.30	16.98	17.47	18.05	18.79	18.41	17.68	17.20	16.80
Sólidos Sedimentables (mg/L)	1	0.49	0.50	0.49	0.47	0.55	0.58	0.52	0.48	0.48	0.49
DBO5 Totales(mg/L)	90	286.89	287.31	287.68	288.75	288.99	291.98	289.16	288.51	287.88	288.01
DQO Totales (mg/L)	180	413.56	414.22	413.98	416.84	415.23	417.86	416.59	414.78	413.64	415.61
Sustancias Activas al Azul del Metileno (mg/L)	3	1.25	1.22	1.36	1.27	1.22	1.28	1.25	1.24	1.25	1.23
Coliformes Fecales(NMP/100)	1.00E+03	1.71E+07	1.67E+07	1.66E+07	1.68E+07	1.70E+07	1.78E+07	1.64E+07	1.65E+07	1.64E+07	1.61E+07

Fuente: Enacal 2016

Parámetro	Decreto 33-95 (Efluentes de STAR)	Efluente general STAR									
		Jueves. 31/03/2016									
Día		08:00 a.m.	09:00 a.m.	10:00 a.m.	11:00 a.m.	12:00 p.m.	01:00 p.m.	02:00 p.m.	03:00 p.m.	04:00 p.m.	05:00 p.m.
Temperatura (°C)		26.20	26.32	27.32	27.43	27.63	27.67	27.14	26.87	26.25	26
pH campo	6.00-9.00	6.65	7.02	6.75	6.87	6.99	6.85	7.35	6.44	7.50	6.32
pH laboratorio		6.70	6.87	6.64	6.76	7.08	6.96	7.33	6.54	7.23	6.20
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	80	25.13	31	28.7	27.57	29.99	31.02	28.75	27.91	27.12	25.05
Grasas y Aceites Totales (mg/L)	10	3.1	2.95	4.8	3.14	2.96	2.12	3.97	2.93	4.09	5.95
Sólidos Sedimentables (mg/L)	1	0.23	0.19	0.11	0.2	0.27	0.15	0.15	0.1	0.13	0.17
DBO5 Totales(mg/L)	90	20	21.7	20.4	24.56	20.98	21.46	20.2	25.52	22.01	25.56
DQO Totales (mg/L)	180	53	52.62	54.88	53.25	51.23	53.44	50.3	53.1	52.89	56
Sustancias Activas al Azul del Metileno (mg/L)	3	0.57	0.65	0.5	0.51	0.68	0.61	0.56	0.52	0.5	0.57
Coliformes Fecales(NMP/100)	1.00E+03	3.10E+06	3.08E+06	3.14E+06	3.19E+06	3.21E+06	3.11E+06	3.08E+06	3.09E+06	3.20E+06	3.16E+06

Fuente: Enacal 2016

MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO STAR ESTELÍ



Nicaragua, Diciembre 2016

Índice general

Introducción.....	1
Objetivos	2
Operación básica.....	3
Mantenimiento rutinario	4
Registro de campo de la operación básica y mantenimiento rutinario	6
Seguridad y prevención.....	9
Recomendaciones.....	11

Introducción

Todo sistema de tratamiento de aguas residuales puede funcionar adecuadamente si se realizan los trabajos de operación y mantenimiento de manera correcta. Una operación y un mantenimiento, preventivo y rutinario pueden lograr en el sistema una buena eficiencia de remoción de materia contaminante hasta alcanzar un efluente de calidad.

Para evitar que un sistema de tratamiento fracase, es necesario contar con un personal altamente capacitado y calificado para realizar las labores de operación y mantenimiento, los cuales deben estar dotados de las herramientas necesarias para la supervisión y evaluación de los diferentes procesos que se desarrollan en el STAR y así evitar afectaciones a la salud humana y accidentes dentro del sistema.

Objetivos

- Establecer procedimientos básicos para una buena operación y mantenimiento del STAR.
- Determinar medidas de seguridad y protección para los operarios del sistema de tratamiento de aguas residuales

Operación básica

a) Medición de caudales

La medición de caudales es de gran importancia para conocer el comportamiento hidráulico del sistema y además para evaluar el funcionamiento de las lagunas. El registro de caudales es fundamental para determinar las cargas orgánicas e hidráulicas, así también los tiempos de retención, con el fin de obtener una mayor información sobre la capacidad hidráulica y eficiencia del sistema.

Para el desarrollo de esta actividad, el operador debe realizar un registro de caudales diario para tener un historial de los caudales para evitar futuros problemas en el sistema de tratamiento. La lectura del caudal se debe realizar en períodos de 2 horas durante 3 días consecutivos; luego se puede obtener el caudal promedio de ese período de muestreo. Además se debe revisar periódicamente la canaleta parshall para evitar obstrucciones del flujo de agua.

b) Control de niveles de agua

Toda laguna de estabilización de cualquier sistema está diseñada para un determinado nivel de agua, por lo cual es responsabilidad del operador mantener el nivel adecuado para evitar un mal funcionamiento en las unidades de tratamiento. Se deben revisar los canales de conducción para evitar obstrucción del flujo hidráulico del sistema en general.

c) Vertederos de demasías

Para garantizar la protección del sistema de lagunas contra la introducción de sobrecargas hidráulicas por infiltración de sobrecargas hidráulicas, el operador debe desviar el sistema cuando los caudales llegan al nivel de sobrecarga.

d) Detección de olores y colores

Es de gran importancia que el operador detecte los malos olores y colores de las lagunas de estabilización, para conocer su grado de funcionamiento, ya que toda laguna que esté funcionando adecuadamente no debe presentar olores fuertes.

Las lagunas facultativa deben tener en la entrada, una agua residual normalmente de color gris; el color de las aguas a la salida de las lagunas facultativas y de maduración debe ser verde brillante debido a la alta concentración de algas presentes.

Mantenimiento rutinario

a) Rejillas

Las rejillas deben ser limpiadas diariamente con un rastrillo manual. El material que es retirado debe ser enterrado para evitar la generación de malos olores y la atracción de vectores.

b) Desarenador

El operador debe garantizar la funcionalidad del desarenador agitando el material sedimentado dos veces al día; el propósito de este procedimiento es liberar el material orgánico atrapado por los sólidos arenosos.

Los sólidos arenosos del desarenador deben ser enterrados y cubiertos para evitar afectaciones en las siguientes unidades de tratamiento.

c) Remoción de natas y sólidos flotantes

La remoción de natas y sólidos flotantes debe hacerse diariamente o cuando sea necesario para que no se extiendan demasiado sobre el área superficial de las lagunas, donde se puede causar problemas de malos olores por su descomposición, y por la formación de lugares adecuados para la cría de insectos.

d) Control de maleza

El operador debe mantener el borde de las lagunas y los reactores libre de maleza para evitar problemas en el funcionamiento de las unidades.

La maleza debe ser retirada, sacada al aire y quemada o enterrada. Se debe presentar atención especial al surgimiento otras plantas acuáticas, las cuales pueden llegar a cubrir toda la superficie de la laguna afectando el proceso de degradación de la materia orgánica y estas deben ser extraídas, secadas y quemadas también.

e) Control de vectores

La aparición de mosquitos, moscas y otros insectos debe ser nula si se ha cumplido con la tarea de enterrar el material flotante y el material orgánico, además de la limpieza de maleza en los márgenes de las unidades de tratamiento.

f) Taludes

El operador debe revisar constantemente el estado físico de los taludes para conocer si ha ocurrido algún asentamiento y así evitar infiltraciones en las lagunas.

g) Cercos y Caminos

El predio del sistema de lagunas de estabilización debe estar cercado, preferiblemente con alambre de púa, para impedir la entrada de animales domésticos y de personas no autorizadas. Cuando el estado de los cercos y caminos están en malas condiciones, el operador debe notificar las personas encargadas de reparar estas obras tan pronto como sea posible.

Registro de campo de la operación básica y mantenimiento rutinario

En el siguiente cuadro se presenta de manera general las actividades de operación, mantenimiento y la frecuencia con que se llevaran a cabo.

Actividad	Frecuencia	Observaciones
Determinación de caudales	Diario	<ul style="list-style-type: none">-El operador debe registrar los caudales diariamente para tener un historial de estos y así anticipar futuros problemas.-El registro de caudales es fundamental para determinar cargas orgánicas e hidráulicas y tiempos de retención.
Mantenimiento del pretratamiento	Diario	<ul style="list-style-type: none">-Las rejillas deben limpiarse diariamente con rastrillos manuales.-El material retirado debe ser enterrado para evitar la generación de malos olores y atracción de vectores.-Retirar y enterrar los sedimentos arenosos del desarenador para evitar afectaciones en las siguientes unidades.
Mantenimiento de los reactores UASB	Diario o día de por medio	<ul style="list-style-type: none">- Remover la maleza que crece alrededor de los UASB y la que crece dentro de la unidad para evitar afectaciones a su funcionamiento.-Agregar pintura anticorrosiva a las barandas de los reactores.
Mantenimiento de las lagunas facultativas	Diario o día de por medio	<ul style="list-style-type: none">-Remover natas y solidos flotantes de las esquinas de las lagunas para que no se extiendan sobre el área superficial.-Verificar que los taludes no presentes grietas.-Cortar maleza que crezca cerca de las lagunas de maduración

Actividad	Frecuencia	Observaciones
Mantenimiento de las lagunas de maduración	Diario o día de por medio	<ul style="list-style-type: none"> - Remover natas de la superficie de las lagunas para que no se afecte el medio ambiente (malos olores) y el proceso de remoción de agentes patógenos. -Cortar maleza que crezca cerca de las lagunas de maduración.
Mantenimiento de tuberías y canales	Diario	<ul style="list-style-type: none"> -Limpiar natas y solidos que puedan obstruir el flujo de agua de las tuberías y canales de conducción. -Proteger las unidades de tratamiento de sobrecargas hidráulicas en las entradas y salidas.
Mantenimiento laguna de secado de lodos	Diario	<ul style="list-style-type: none"> -Mejorar las condiciones de la laguna de secado de lodos.



En el siguiente cuadro se muestra un ejemplo de los registros operacionales e informes de campo de la operación básica y mantenimiento rutinario que el operador debe registrar.

Observaciones de campo en STAR-Estelí

Fecha: _____ Hora: _____ Nombre del Operador: _____
 Temperatura del Aire: _____ Estado del Tiempo: _____
 Caudal (m³/día): _____ Estado de la Rejilla: _____
 Estado del Desarenador: _____

Observación	UASB	L. Facultativa	L. Maduración	Comentarios
Color de Agua				
Olores				
Espumas y Natas				
Plantas en Taludes				
Plantas Acuáticas				
Erosión de Taludes				
Insectos				
Roedores				
Insectos				
Aves				
Reptiles				
Lodos Acumulados				
Nivel de Agua				
Entradas				
Salidas				

SEGURIDAD Y PREVENCIÓN

Para evitar accidentes y afectaciones dentro del sistema de tratamiento es necesario implementar medidas de seguridad e higiene que beneficien la protección del funcionamiento de las unidades de tratamiento, la integridad física y salud de los operadores.

Tomando en consideración lo antes mencionado en esta sección se presentan algunas medidas de seguridad e higiene:

- ✓ Todos los operadores que trabajen dentro del sistema de tratamiento, al final de cada jornada deberán lavarse cuidadosamente las manos y la cara. De ser posible deberá tomar baño con jabón desinfectante. El mismo cuidado deberá tenerse a la hora de refrigerio.
- ✓ Los operadores deben disponer de los equipos de protección adecuados como casco, guantes, botas de hule y trajes de trabajo para evitar el contacto directo con las aguas residuales.
- ✓ Para prevenir afectaciones al funcionamiento del STAR y salud pública, a todo trabajador se le deberá facilitar las herramientas adecuadas para ejecutar las labores rutinarias de operación y mantenimiento.
- ✓ La instalación deberá contar con agua limpia y botiquín de emergencia en caso de algún accidente laboral.
- ✓ Se debe capacitar periódicamente al personal de trabajo en primeros auxilios, seguridad y salud.
- ✓ Los trabajadores del STAR deberán vacunarse contra diferentes virus (tétano, Hepatitis A y fiebre tifoidea etc.) y realizarse un chequeo médico para evitar enfermedades.

Equipos de protección y herramientas de operación y mantenimiento requeridos para un sistema de tratamiento de aguas residuales

Equipo y/o herramienta	Cantidad	Utilización
Guantes impermeables	5 pares	-Protección personal de los operadores
Casco de protección	5	-Protección personal de los operadores
Botas de hule	4 pares	-Para evitar cualquier contacto directo con las aguas residuales.
Uniforme de campo	2 para cada trabajador	Para realizar las labores diarias de operación y mantenimiento.
Mascarilla	10	-Protección contra los malos olores que generan los procesos de tratamiento.
Rastrillo para rejilla	2	-Para efectuar la limpieza de las rejillas
Carretillas de mano	3	-Transporte de natas y sólidos que son extraídos de diferentes unidades (rejillas, canales, lagunas etc.)
Palas	5	-Entierro de natas y sólidos.
Machetes	4	-Cortar maleza que crece cerca de las unidades de tratamiento.
Desnatador (3 m de largo)	2	-Limpieza de natas de las lagunas facultativas y de maduración
Azadones	3	-Excavación para el entierro de natas y sólidos.
Botiquín de primeros auxilios	1	-En caso de accidentes laborales

RECOMENDACIONES

- Para garantizar el buen funcionamiento del STAR se recomienda cumplir correctamente con las labores de operación y mantenimiento rutinario en las unidades de tratamiento (UASB, lagunas facultativas y de maduración).
- Se debe mejorar las condiciones de la laguna de secado de lodos para evitar riesgos de accidentes.
- Las estructuras del sistema como cajas, canales y tuberías deberán revisarse periódicamente para impedir afectaciones a lo largo de las demás unidades que realizan los procesos de remoción de contaminantes.

