



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

**“Evaluación de la Remoción de Carga Orgánica del Nuevo Sistema de
Tratamiento de Aguas Residuales (STAR) de la ciudad de Somoto, Madriz,
Nicaragua.”**

Trabajo Monográfico para optar al Título Profesional de Ingeniero Civil

Elaborado por

Br. Roberto Carlos Alvarado Rocha

Br. Robinson Smith Villanueva Brenes

Tutor

MSc. Henry Javier Vílchez

Managua, Nicaragua Febrero de 2017

Dedicatoria

Este trabajo investigativo está dedicado:

A Dios, por permitirme lograr nuestras metas y aportar un granito de arena en pro de preservar el medio ambiente.

A mis padres, por apoyarme incondicionalmente en este proyecto académico.

A los maestros, que nos enseñaron y nos guiaron durante los cinco años que duró la carrera.

A nuestros compañeros de estudio, grupo que por cinco años se caracterizó por su unidad, compañerismo, dedicación y perseverancia, lo que nos permitió superar los obstáculos presentados a lo largo de esos años.

ROBERTO CARLOS ALVARADO

Dedicatoria

Este trabajo investigativo está dedicado:

A Dios, por permitirme lograr nuestras metas y aportar un granito de arena en pro de preservar el medio ambiente.

A mi madre, por apoyarme incondicionalmente en este proyecto académico.

A los maestros, que nos enseñaron y nos guiaron durante los cinco años que duró la carrera.

A nuestros compañeros de estudio, grupo que por cinco años se caracterizó por su unidad, compañerismo, dedicación y perseverancia, lo que nos permitió superar los obstáculos presentados a lo largo de esos años.

ROBINSON SMITH VILLANUEVA

Agradecimientos

Agradecimiento a Dios nuestro Señor, guía espiritual que en todo momento nos ha iluminado para seguir el camino correcto y lograr nuestros objetivos.

Especial agradecimiento a los ingenieros Roland Montenegro y Edwin Sandoval, que con su dedicación y esfuerzo nos ha sabido guiar en la realización de este estudio, fomentando el espíritu investigativo del medio ambiente.

Ingeniero Henry Vílchez por su valiosa e incondicional colaboración en la realización de este trabajo investigativo.

Agradezco a todas las personas que contribuyeron de una u otra manera a la realización de este estudio, ya que sin ellos no hubiese sido posible la culminación de nuestro estudio.

A todos(as) muchas gracias y que Dios derrame muchas bendiciones.

*ROBERTO ALVARADO
ROBINSON VILLANUEVA*

Tabla de contenido

CAPITULO I. ASPECTOS GENERALES	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Justificación.....	4
CAPITULO II. OBJETIVOS	6
2.1 Objetivo General	6
2.2 Objetivos Específicos.....	6
CAPITULO III. MARCO TEÓRICO	8
3.1 Aguas residuales.....	8
3.1.1 Generalidades	8
3.1.2 Tipos de aguas residuales.....	8
3.1.3 Características y composición de las aguas residuales municipales.....	9
3.2 Tipos de tratamientos de aguas residuales domésticas.....	11
3.2.1 Tratamiento preliminar.....	11
3.2.2 Tratamiento primario	11
3.2.3 Tratamiento secundario	12
3.3 Lagunas de estabilización (primario y secundario)	12
3.3.1 Generalidades	12
3.3.2 Clasificación	13
3.3.3 Ventajas y desventajas de las lagunas de estabilización	14
3.3.4 Procesos que se desarrollan en las lagunas de estabilización.....	14
3.3.5 El ambiente y las algas.....	15
3.3.6 Parámetros de control	16
3.4 Carga orgánica.....	17
3.4.1 Carga orgánica	17
3.4.2 Operación y mantenimiento.....	17
CAPÍTULO IV. DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO	20
4.1 Descripción del área de estudio	20
4.1.1 Características hidrológicas.....	21
4.1.2 Características Geofísicas.....	22
4.1.3 Servicios básicos del municipio de Somoto.....	22
4.1.4 Actividad económica.....	25
4.1.5 Descripción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	26

4.1.6	Criterios para la ubicación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.....	39
CAPITULO V. DISEÑO METODOLÓGICO		46
5.1	Tipo de investigación	46
5.2	Procedimiento	46
5.2.1	I Etapa	46
5.2.2	II Etapa	47
5.3	Parámetros físicos-químicos evaluados.....	54
5.4	Procedimientos y Técnicas de Medición de Variables	55
5.4.1	Parámetros In situ	55
5.4.2	Parámetros en Laboratorio	55
5.5	Verificación de dimensiones del STAR- Somoto.....	56
5.6	Determinación del tiempo de retención.....	56
5.7	Determinación de la carga orgánica.....	57
5.7.1	Determinación de carga orgánica total	57
5.7.2	Determinación de carga superficial máxima	57
5.8	Determinación de concentración de DBO ₅ en el afluente	60
5.9	Determinación de las eficiencias en el STAR.....	60
5.10	Regulaciones ambientales	61
CAPÍTULO VI. RESULTADOS.....		63
6.1	Aporte, distribución y variación de caudales	63
6.2	Resultados de análisis físicos – químicos del STAR.....	66
6.3	Determinación del periodo de retención.....	68
6.4	Determinación de la carga orgánica.....	70
6.5	Determinación de la carga orgánica total.....	70
6.6	Determinación de carga máxima superficial.....	70
6.6.1	Método de Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), Yáñez (1992)	70
6.6.2	Método de McGarry & Pescod.....	71
6.6.3	Método por correlación de Kawai	72
6.6.4	Método de Mara & Silva	72
6.6.5	Método de la Carga Orgánica Superficial por Radiación Solar.....	74
6.7	Determinación de concentración de DBO ₅ en el afluente	76
6.8	Determinación de las eficiencias en el STAR.....	77
6.9	Regulaciones ambientales	78

CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
7.1 Conclusiones.....	85
7.2 Recomendaciones	88
CAPÍTULO VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	90
8.1 Bibliografía	90

Lista de tablas

Capítulo 4

Tabla 4. 1: Cronograma de aforo del STAR	
Tabla 4. 2-. Aforos de los caudales	50
Tabla 4. 3-. Ubicación, espécimen y periodo de muestras	52
Tabla 4. 4-. Límites máximos permisibles para poblaciones menores a 75000 habitantes.....	61

Capítulo 5

Tabla 5. 1-. Registro de medición de caudales.....	63
Tabla 5. 2-. Resultados promedios del monitoreo de muestras.....	67
Tabla 5. 3-. Relación entre Temperatura, Tiempo de Retención Hidráulica y.....	69
Tabla 5. 4-. Carga total orgánica a tratar y C. orgánica teórica	70
Tabla 5. 5-. Carga superficial máxima	71
Tabla 5. 6-. Carga orgánica a aplicar.....	71
Tabla 5. 7-. Remoción esperada de materia orgánica	71
Tabla 5. 8-. Método de McGarry & Pescod.....	71
Tabla 5. 9-. Método por correlación de Kawai	72
Tabla 5. 10-. Correlación Mara & Silva	72
Tabla 5. 11-. Carga máxima superficial en laguna secundaria	73
Tabla 5. 12-. Método de radiación solar.....	75
Tabla 5. 13-. Insolación Solar y Carga Superficial Máxima.....	76
Tabla 5. 14-. Carga orgánica aplicada en afluente	76
Tabla 5. 15-. Eficiencias en el afluente y efluente general del STAR	77
Tabla 5. 16-. Resultados DBO5 vs Decreto 33-95 en cada fase de tratamiento.....	78
Tabla 5. 17-. Resultados DQO vs Decreto 33-95 en cada fase de tratamiento	79
Tabla 5. 18-. Resultados promedios analizados en el efluente vs Decreto 33-95 ...	81
Tabla 5. 19-. DBO ₅ vs SST en el efluente general del STAR	81
Tabla 5. 20-. DQO vs SST en el efluente del STAR	82

Índice de imágenes

Capítulo 4

Imagen 4. 1: Macro y micro localización de STAR-Somoto.....	20
Imagen 4. 2: Fosa de secado del desarenador	28
Imagen 4. 3: Estación de área de secado de lodos.....	31
Imagen 4. 4: Natas en laguna primaria.....	34
Imagen 4. 5: Coloración rojiza en Laguna Secundaria	35
Imagen 4. 6: Obstrucción de tortugas en canales de conducción	35
Imagen 4. 7: Presencia de animales domésticos en la PTAR	36
Imagen 4. 8: Análisis de amenaza y crecimiento poblacional de la ciudad de Somoto	40

Índice de gráfico

Capítulo 6

Gráfico 6. 1: Caudales máximos, medios y mínimos en el afluente	64
Gráfico 6. 2: Variación de promedio en el efluente general del STAR	64
Gráfico 6. 3: Concentraciones de DBO ₅ y DQO en afluentes de STAR.....	66
Gráfico 6. 4: Índice de biodegradabilidad para afluente	68
Gráfico 6. 5: Concentraciones de DBO ₅ en el efluente general vs Decreto 33-95	79
Gráfico 6. 6: Concentraciones de DQO por cada en el efluente general vs Decreto 33-95	80
Gráfico 6. 7: Comportamiento de DBO ₅ vs SST en el efluente	82
Gráfico 6. 8: Comportamiento de DQO vs SST en el efluente	83

Capítulo 4

Ecuación 5. 1	47
Ecuación 5. 2	48
Ecuación 5. 4	57
Ecuación 5. 5	58
Ecuación 5. 6	58
Ecuación 5. 7	58
Ecuación 5. 8	58
Ecuación 5. 9	59
Ecuación 5. 10	59
Ecuación 5. 11	60
Ecuación 5. 12	60
Ecuación 5. 13	60

Índice de esquemas

Capítulo 4

Esquema 4. 1: Tratamiento preliminar	26
Esquema 4. 2: Tratamiento primario	29
Esquema 4. 3: Tratamiento secundario.....	32
Esquema 4. 4: Efluente Final	37

Capítulo 5

Esquema 5. 1: Procedimiento de aforo en efluente	48
Esquema 5. 2: Ubicación de puntos de recolección de muestras STAR.....	51

Lista de abreviaturas

CEPIS: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales.

DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxígeno.

DQO: Demanda Química de Oxígeno.

ENACAL: Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillado Sanitario.

INAA: Instituto Nicaragüense de Acueducto 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.

MINSA: Ministerio de Salud.

NASA: Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio.

PEA: Población Económicamente Activa.

pH: Potencial de Hidrogeno.

PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Q: Caudal medio.

SS: Solidos Sedimentables.

SST: Solidos Suspendidos Totales.

STAR: Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

OPS: Organización Panamericana de la Salud.

Glosario de términos

Afluente: Se entiende como caudal de agua que entra en una unidad de tratamiento o del sistema de tratamiento.

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.

Bacterias heterótrofas: Son una parte integral del ecosistema, ya que su importancia en el proceso de desnitrificación y descomposición no puede negarse. A través de la respiración y fermentación, estas bacterias liberan muchos compuestos inorgánicos de vuelta a la naturaleza, que pueden ser utilizados por otros seres vivos.

Compuestos inocuos: Sustancias inofensivas que no causan daño.

Compuestos lábiles: Se le llama así al compuesto que es fácil de transformar en otro más estable.

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 oxidación bioquímica 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.

Efluente: Se entiende como el caudal de agua que sale de una unidad de tratamiento o del sistema de tratamiento.

Estratificación: Es la propiedad que tienen las aguas de un cuerpo líquido de ordenarse en capas según distintas variables, térmicas, químicas, físicas, entre otros.

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: Las que se toman por intervalos predeterminados durante el período de muestreo para completar un volumen proporcional al caudal de manera que éste resulte representativo de las descargas de aguas residuales, medido en el sitio y en el período de muestreo.

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.

Reino protista: Son organismos acuáticos, se desarrollan en ambientes terrestres húmedos o en el medio interno de otro organismo. Estos se encuentran entre los más importantes componentes del plancton (organismos que viven en suspensión en el agua).

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

Sólidos suspendidos totales (SST): La 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 ejecutivo

La Evaluación de la Remoción de Carga Orgánica del Nuevo Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR) de la ciudad de Somoto, Madriz, surgió como una herramienta para determinar la cantidad de carga orgánica que es aportada al cuerpo receptor.

En esta investigación se consideraron 3 objetivos fundamentales: Determinar las variaciones de caudal en la entrada y salida del sistema de lagunas que ingresan como afluente y egresan como efluente del STAR por 10 días no consecutivos en 24 horas. Registrándose un caudal promedio de 6.67 L/s, siendo este un valor mucho más alto que el asumido por el diseñador de 5.83 L/s.

Determinar el funcionamiento operacional de las lagunas basadas en el periodo de retención teórico y cargas aplicadas; es importante recalcar que el periodo de retención es fundamental en la reducción de carga orgánica y patógenos; el valor de retención teórico obtenido para el caso de la laguna primaria es de cuatro días presentando una carga orgánica de 280.29 Kg DBO₅/Ha-d, en el caso de la laguna secundaria el periodo de retención es de nueve días y una carga orgánica en el efluente de 31.65 Kg DBO₅/Ha-d, estos valores de carga orgánica están dentro del rango recomendado en la literatura especializada de McGarry & Pescod(1970); Yáñez(1980); Mara & Silva(1969); Kawai (CETESB) (1981); Cubillos(1984) para lagunas facultativas.

Estimar eficiencias puntuales por cada fase de tratamiento y cargas contaminantes que conforma el STAR, determinando los parámetros contemplados en el artículo 23 del Decreto 33-95. A partir de los resultados físico-químicos se determinaron las eficiencias puntuales por cada unidad pero en general el STAR registró una eficiencia del 78.58% en remoción de la DBO₅ y del 52.74% en la DQO, el STAR no tiene la suficiente eficiencia para la remoción de la DQO, esto se debe a que el sistema se encuentra con sobre carga hidráulica

Palabras claves: caudal, periodo de retención, carga orgánica, eficiencias puntuales, remoción de DBO₅.



CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES

*“El océano es el alcantarillado universal”. Jacques
Yves Cousteau.*

CAPITULO I. ASPECTOS GENERALES

1.1 Introducción

La contaminación del medio ambiente y sus consecuentes efectos negativos en la calidad de vida de los ciudadanos de Somoto, ha originado una preocupación por parte del gobierno local, organismo no gubernamentales y de la sociedad civil en general. El triste y desolador panorama de grandes extensiones, antes bosques plétóricos de vida, ahora convertido en llanos secos y erosionados tal es el río Cacaúlí, hasta hace algunos años caudaloso y cristalino, transformado en cloaca maloliente.

Todo ello ha despertado la conciencia en la ciudadanía y algunos de sus gobernantes de que el deterioro de los recurso hídrico está llegando a un punto sin retorno, lo que invita de manera urgente a tomar medidas que contribuyan a evitar el colapso del equilibrio natural, y tratar de conservar los recursos que aún pueden ser salvados (*AENOR, 1997*).

Así mismo, en el marco de esta reflexión como parte de la culminación de estudios, se propone realizar una Evaluación de la Remoción de Carga Orgánica del Nuevo Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR) de la ciudad de Somoto, Madriz, a fin de valorar los aspectos relacionados a su operación y mantenimiento, así como, el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en el artículo N° 23: Disposiciones para el control de la contaminación provenientes de las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias (Decreto 33-95), los cuales son vertidos por el sistema al río Cacaúlí.

Con la finalidad de contribuir a que la autoridad encargada del STAR, en este caso la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios (ENACAL), disponga de información relacionada a las características de funcionamiento que contribuyan a la toma de decisiones, además de proporcionar una herramienta de trabajo a los operadores de los STAR, como es el Manual de Operación y Mantenimiento.

1.2 Antecedentes

El sistema de tratamiento de aguas residuales de Somoto está situado al norte de la ciudad. La entrada principal al predio está localizada contiguo a la cooperativa de transporte del Norte (COOTRAN).

La red de alcantarillado sanitario de la ciudad cuenta con dos cuencas de drenaje sanitario, es decir, que existen dos plantas de tratamiento dentro del predio. La planta de tratamiento vieja está compuesta por un módulo de lagunas, con dos lagunas facultativas dispuestas en serie y descarga al cuerpo receptor, carece de pre tratamiento y un inadecuado manejo del canal de demasía para aguas pluviales.

En 2005, con financiamiento del Gran Ducado de Luxemburgo, inicio operación la planta nueva de Somoto, con la capacidad de tratar diariamente 5.83 L/s, la cual dispone de tratamiento preliminar que consta de rejillas, desarenador, elemento de medición y una trampa de grasas, seguido de dos tanques Imhoff en paralelo con el objetivo de la decantación inicial y el pre tratamiento y remoción de DBO de las aguas residuales, con un punto de descarga en común, conduciendo el efluente en una tubería aérea que descarga en un tren de lagunas facultativas dispuestas en serie de primaria y secundaria. La laguna secundaria consta de paredes deflectoras, la descarga de estas lagunas es independiente a la del sistema Somoto Viejo.

El sitio en que se ubica el sistema de tratamiento de aguas residuales nuevo se encuentra en el extremo Este del sistema de lagunas viejo, con topografía adecuada para albergar el nuevo sistema de tratamiento y buenas condiciones de drenaje por gravedad de las aguas hasta el sitio de tratamiento, la elevación del predio oscila desde los 674 msnm hasta los 673 msnm y su topografía presenta pendiente noroeste-sureste. Este sitio está localizado a unos 1000 metros del núcleo poblacional más cercano.

La ubicación del predio permite que el sistema de recolección de las aguas servidas llegue por gravedad hasta el sitio y que igualmente la descarga del sistema de

tratamiento drene por gravedad hasta el sitio de disposición final, el nivel de fondo de las lagunas se fijó de manera que se redujeron los costos de movimiento de tierra. Los vientos predominan del sureste-noroeste, es decir, primero pasan por la localidad y luego por el sistema de tratamiento.

La posibilidad de contaminación de las fuentes de subterráneas se minimizó con la impermeabilización del fondo y taludes de las lagunas, además de que el subsuelo en el lugar ya cuenta con un espesor mayor de 1 metro de material arcilloso. Las fuentes de agua potable se encuentran muy alejadas de estos terrenos, localizándose en dirección opuesta al mismo.

También, en el municipio se ha dado seguimiento a las actividades de operación y mantenimiento de la Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR), administrada por ENACAL (2008), con la finalidad de contribuir a mejorar la eficiencia del tratamiento y dar cumplimiento a las normas de vertido vigentes a nivel nacional.

1.3 Justificación

Una de las necesidades más urgente de la población es la correcta recolección, tratamiento y disposición de las aguas residuales y es una prioridad para asegurar la salud pública, pues estos residuos líquidos transportan organismos patógenos y deterioran aceleradamente el ambiente, generando sistemáticos problemas socio ambiental que repercuten en la salud, teniendo mayor incidencia en la salud infantil.

Considerando que recientemente el STAR fue mejorado y que el efluente del STAR del municipio de Somoto descarga en el río Cacaúlí, el cual desemboca en el río Coco resulta trascendental efectuar una evaluación de la eficiencia de remoción de los parámetros establecidos en el Artículo. N° 23 del Decreto 33-95: *“Disposiciones para el control de la contaminación provenientes de las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias”*.

Es importante destacar que a lo largo del río Cakahulí, la población aledaña utiliza ese cuerpo natural de agua para dar de abreviar al ganado vacuno y caballar, además para el riego de cultivo (chiltoma, maíz y aguacate), lavado de ropa, pesca, limpieza personal, entre otros.

Este estudio servirá para estimar la eficiencia puntual y cargas contaminantes de cada unidad del STAR. Los que se verán en gran parte beneficiado serán los operadores del STAR con la facilitación de un manual de operación y mantenimiento adecuado a las condiciones reales de la planta, otra de las instancia que se mirará beneficiada es la Empresa de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios (ENACAL) ya que al realizar este estudio se definirán las posibles deficiencia de la planta.



CAPÍTULO II. OBJETIVOS

“Es el peor de los tiempos pero también el mejor porque aún tenemos una oportunidad”. *Sylvia Earle.*

CAPITULO II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Realizar una evaluación de la remoción de carga orgánica del nuevo Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR) de la ciudad de Somoto, Madriz, Nicaragua.

2.2 Objetivos Específicos

- i. Determinar las variaciones de caudal en la entrada y salida del sistema de lagunas.
- ii. Determinar el funcionamiento operacional de las lagunas basadas en el periodo de retención teórico y cargas aplicadas.
- iii. Estimar eficiencias puntuales por cada fase de tratamiento y cargas contaminantes que conforma el STAR, determinando los parámetros contemplado en el Arto. N° 23 del Decreto 33-95.
- iv. Elaborar un manual de operación y mantenimiento adecuado a las condiciones reales de la planta que contenga las instrucciones mínimas para que el actual STAR sea operado de la mejor manera y se promueva la eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales.



CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO

“Es el peor de los tiempos pero también el mejor porque aún tenemos una oportunidad”.
Sylvia Earle.

CAPITULO III. MARCO TEÓRICO

3.1 Aguas residuales

3.1.1 Generalidades

Según el Decreto 33-95 en su artículo antes descrito, “*Disposiciones para el control de la contaminación provenientes de las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias*” establecido por el gobierno de Nicaragua en conjunto con el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA) en el año de 1995, las aguas residuales (en general) se definen como aquellas procedentes de actividades domésticas, comerciales, industriales y agropecuarias que presenten características físicas, químicas o biológicas que causen daños a la calidad del agua, suelo, biota y a la salud humana.

Este tipo de agua por razones de salud pública y por consideraciones de recreación económica y estética, no pueden desecharse vertiéndolas sin ningún tipo de tratamiento previo en lagos o corrientes convencionales. En caso contrario, esta agua produce contaminación en cuerpos de aguas superficiales y subterráneos, afectando su posterior utilización y generando afectaciones a la salud humana.

Para evitar los problemas que pueden causar los contaminantes de las aguas residuales existen sistemas de depuración que sirven para restituirles, en el mayor grado posible, las características físicas y químicas originales; además, de reducir los organismos patógenos presentes a niveles aceptables. Esto con el fin de establecer y mantener saludable el medio acuático para la flora y fauna, garantizar a la humanidad el uso del recurso acuático para diferentes propósitos y prevenir enfermedades transmitidas por el agua (ENACAL; 2009).

3.1.2 Tipos de aguas residuales

- **Agua residual domestica:** Todas las descargas de los hogares, lo cual incluye la descarga resultante de los servicios higiénicos (aguas negras, así como de las regaderas, lavabos, cocinas y lavanderías (aguas grises) (ENACAL, 2009).

- **Agua residual municipal:** Una mezcla de aguas residuales domésticas, efluentes de establecimientos comerciales e industriales, y escurrimiento urbano (ENACAL, 2009).

3.1.3 Características y composición de las aguas residuales municipales

Por lo general, los contaminantes del agua residual municipal constituyen una mezcla muy compleja de compuestos orgánicos e inorgánicos que prácticamente es posible un análisis completo de cada uno de los componentes presente. Sin embargo, para diseñar y operar una planta de tratamiento es suficiente conocer algunos parámetros básicos para caracterizar el estado de agua cruda a tratar (Gámez; 2005).

De tal manera que en la tabla N° 3.1 se presentan los principales parámetros considerado en el artículo N°23 del Decreto 33-95: *“Disposiciones para el control de la contaminación provenientes de las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias”* para el tratamiento de aguas residuales municipales.

Tabla 3. 1: Principales parámetros de agua residual municipal

Parámetro	Descripción	Importancia
Temperatura	La temperatura del agua superficial generalmente es homogénea, depende de muchos factores como el clima, altitud, temperatura del aire, estaciones del año, entrada de descarga, velocidad del flujo, etc. La temperatura tiene una visión con la vida acuática, la solubilidad de las sustancias disueltas, las reacciones y las velocidades de las reacciones químicas.	La temperatura de descarga de las plantas de tratamiento de aguas residuales, no debe ser muy diferente a la temperatura del cuerpo receptor (gradiente de temperatura), ya que podría afectar en gran medida el ecosistema.
pH	El pH puede variar de acuerdo a la composición del agua, pero con frecuencia se sitúa entre 6.5 y 9.5. Se usa para expresar la intensidad de las condición acida o alcalina de una solución, sin que esto quiera decir que mide la acidez total o la alcalinidad total.	Los valores extremos de pH pueden ser resultado de vertimientos accidentales. Valores de pH muy altos o bajos en efluentes o cuerpos de agua, puede alterar la química y concentración de las aguas naturales del cuerpo receptor.
DBO ₅ (mg/L)	La DBO es una medida de la cantidad de oxígeno utilizados por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, bajo condiciones aerobias, en un periodo de 5 días y a 20°C.	La DBO ₅ expresa la cantidad de oxígeno requerido (microbiológicamente) para estabilizar la materia orgánica e inorgánica.
DQO (mg/L)	La DQO es un parámetro analítico de contaminación que mide el material orgánico contenido en una muestra líquida mediante oxidación química.	La DQO expresa la cantidad de oxígeno requerido (químicamente) para estabilizar la materia orgánica e inorgánica.

Fuente: Korsak (2005).

3.2 Tipos de tratamientos de aguas residuales domésticas

Los niveles de tratamiento de aguas residuales serán conceptualizados de acuerdo a lo establecido en la guía de diseño de alcantarillado sanitario y plantas de tratamiento de ENACAL (2009):

3.2.1 Tratamiento preliminar

El tratamiento preliminar o pre tratamiento es el conjunto de unidades que tiene como finalidad eliminar materiales gruesos, que podrían perjudicar el sistema de conducción de la planta. Las principales unidades son las rejas y el desarenador.

- Canal de Rejas: Tienen como objetivo la remoción de materiales gruesos, está formada por barra separadas entre 1.0 y 5.0 centímetros, comúnmente 2.5 centímetros y colocada en un ángulo de 30 y 60 grados respecto al plano horizontal.
- Desarenador: El sistema más utilizado para extraer las arenas que van dentro de las aguas residuales es el Desarenador rectangular de flujo horizontal. Está conformado por una caja o canal, en donde las partículas se separan del líquido por gravedad. Normalmente se construyen dos en forma paralelas, con la intención de dejar funcionando un canal mientras el otro se limpia.
- Medidor de Caudal: Para un adecuado control de un sistema de tratamiento, es necesario conocer el caudal que entra a la planta. Entre estos se encuentran equipos eléctricos que trabajan por medio de sensores o los vertederos en canales, como el vertedero Sutro o el canal Parshall.

3.2.2 Tratamiento primario

La finalidad de este es remover sólidos suspendidos por medio de sedimentación, filtración, flotación y precipitación. Entre las unidades existentes en este tipo de tratamiento se encuentra el tanque Imhoff y la fosa séptica.

Sin embargo, también existen los sedimentadores primarios que a diferencia de la fosa séptica y los tanques Imhoff, en esta unidades no se trata los lodos por lo que los lodos

necesitan tratamiento adicional. Estas unidades pueden ser redondo o rectangulares, y tienen como función la reducción de los sólidos suspendidos, grasas y aceites de las aguas residuales. Las eficiencias esperadas son del 55% de los sólidos.

3.2.3 Tratamiento secundario

La finalidad de este es remover material orgánico en suspensión. Se utilizan procesos biológicos, aprovechando la acción de micro-organismos, que en su proceso de alimentación degradan la materia orgánica. La presencia o ausencia de oxígeno disuelto en el agua residual, define dos grandes grupos o procesos de actividad biológica: los aeróbicos (en presencia de oxígeno) y los anaeróbicos (en ausencia de oxígeno). En esta etapa se utilizan comúnmente las lagunas de estabilización y el sistema de lodos activados, estas presentan las siguientes características (*Ramalo, 2008*):

- ✓ Tecnología acorde al desarrollo de la localidad.
- ✓ Confiable técnicamente y factible de ser operada.
- ✓ Mínimos costos de operación y mantenimiento.
- ✓ Mínimo o ningún requerimiento de personal especializado para su operación.
- ✓ No requiere del suministro de energía eléctrica para su funcionamiento.

3.3 Lagunas de estabilización (primario y secundario)

3.3.1 Generalidades

El tratamiento por lagunaje de aguas residuales consiste en el almacenamiento de estas durante un tiempo variable en función de la carga aplicada y las condiciones climáticas, de forma que la materia orgánica resulte degradada mediante la actividad de bacterias heterótrofas presentes en el medio. El lagunaje es un método biológico natural de tratamiento, basado en los mismos principios por lo que tiene lugar un auto depuración en ríos y lagos así como satisfacer dos objetivos principales (*Korsak; 2007*):

- Reducción de la carga orgánica contenida en las aguas residuales para mitigar el impacto de su vertido en el ambiente y en cuerpos receptores, es decir, brindar una protección ecológica.
- Reducción de coliformes fecales y patógenos presentes en las aguas residuales domésticas, dificultando la transmisión de los mismos, es decir, brindar protección sanitaria.

3.3.2 Clasificación

A continuación, en la tabla N° 3.2, se detallan las principales ventajas y desventajas que conllevan la utilización del sistema de lagunas de estabilización para el tratamiento de las aguas residuales:

Tabla 3. 2: Clasificación de lagunas de estabilización

Tabla	Carga Superficial (kg DBO₅/ ha x días)	Profundidad (m)
Como lagunas primarias		
a) Aerobia	< 100	< 1.5
b) Facultativa	200 – 1000	1.3
c) Anaerobia	> 1500	> 2.5
Como lagunas secundarias		
a) Aerobia	< 200	< 2
b) Facultativa	300 – 1200	1.5 - 3
c) Anaerobia	> 1800	> 2.5
Como lagunas de maduración		
a) Aerobias	< 300 400 - 800	< 2 1.5 – 2.5
b) Facultativas		

Fuente: NTON 05 009 – 98

3.3.3 Ventajas y desventajas de las lagunas de estabilización

Tabla 3. 3: Ventajas y desventajas del uso de las lagunas de estabilización

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

Fuente: Korsak, 2007.

3.3.4 Procesos que se desarrollan en las lagunas de estabilización

En las lagunas de estabilización residen varios tipos de bacterias, hay aerobias, facultativas y anaerobias. Las bacterias descomponen la materia orgánica a elementos más sencillos, que serán asimilados por las algas.

Las algas son organismos unicelulares o multicelulares del reino protista, que poseen mecanismos fotosintéticos. La radiación solar es la fuente de energía que utilizan en la síntesis de nuevas células; en el proceso de fotosíntesis las algas convierten compuestos minerales y orgánicos en materia orgánica y oxígeno (*Suematsu; 1995*).

- *Proceso de oxidación bacteriana:*
Materia orgánica + oxígeno → Productos oxidados + Nuevas bacterias.

- *Proceso de algas, luz:*
CO₂ + Nutrientes disueltos → Nuevas algas + Oxígeno
- *Proceso global:*
Materia orgánica → Nuevas bacterias + Nuevas algas.

3.3.5 El ambiente y las algas

El crecimiento y la reproducción de las algas son afectadas por las condiciones ambientales, que se clasifican como:

- Físicas
- Químicas
- Biológicas

Factores físicos que influyen en el crecimiento y reproducción de las algas:

- Radiación solar/ Iluminación
- Temperatura

La velocidad de la fotosíntesis aumenta con la intensidad de la luz hasta un cierto punto, luego permanece constante y finalmente disminuye a intensidades muy altas de la luz. La temperatura es uno de los factores que más afecta el predominio de una especie de algas. El rango de temperatura para el crecimiento de las algas está entre 4 y 40 °C.

Factores químicos que influyen en el crecimiento y reproducción de las algas:

- pH
- Sustancias químicas presentes

El pH del agua afecta la actividad biológica. La reproducción de oxígeno en la fotosíntesis ocurre a valores del pH entre 6.5 y 10.5. La movilidad de las algas y la producción de oxígeno disminuye cuando el pH es menor de 10. El consumo de CO₂ en la degradación de la materia no es suficiente para las necesidades de las algas, estas recurren al bicarbonato del sistema tampón en el agua (HCO₃⁻ → CO₂ + OH⁻). Los

iones OH^- producidos ocasionan un aumento de pH durante las horas del día, durante la noche se acumula CO_2 , no hay fotosíntesis y el pH vuelve a valores próximos a 7. Muchos compuestos son tóxicos a las algas (Ca, Cloro, Cu, Cr). Las algas requieren de nutrientes disponibles en las lagunas para llevar a cabo sus reacciones metabólicas (Gámez; 2005).

3.3.6 Parámetros de control

Lagunas anaerobias:

- pH superior a 6.8
- Temperatura entre 30-35°C
- Tiempos de retención entre 2-5 días
- Formación de espumas

Lagunas facultativas:

- Temperatura inferior a 28°C
- Radiación solar
- Viento
- Evaporación
- Precipitación
- pH entre 7.5-8.5
- O_2 disuelto
- Nutrientes
- Estratificación
- Flujos
- Profundidad
- Seres vivos (bacterias, algas, hongos y protozoos)

Lagunas de maduración:

- Temperatura
- pH

- Salinidad
- Intensidad de la luz
- O₂ disuelto

3.4 Carga orgánica

3.4.1 Carga orgánica

Para comenzar definiremos a la carga orgánica como el contenido de compuestos de carbono en un efluente, cualquiera sea su origen. Dichos compuestos de carbono son estructuras químicas (moléculas) donde el carbono está enlazado a hidrógeno y otros elementos como azufre, oxígeno, nitrógeno, fósforo y cloro, entre otros.

No existe una estructura única y la cantidad de átomos de carbono puede variar de uno, como en el caso del metano, hasta millones, como en el ADN. Por tal motivo, la materia orgánica presentará diferentes propiedades fisicoquímicas (compuestos inertes, reactivos, lábiles) y toxicológicas (compuestos inocuos, tóxicos, de efecto indirecto, agudo, acumulativo) y, cada uno de estos compuestos o familias, responderá de modo diferente de acuerdo con los métodos de medición utilizados, produciendo además diversos efectos sobre el medio ambiente.

3.4.2 Operación y mantenimiento

La operación y de un sistema de tratamiento se refiere a todas las actividades cotidianas que realizan los operarios para que el sistema pueda funcionar. Por otra parte, el mantenimiento tiene lugar frente a la constante amenaza que implica la ocurrencia de una falla o error en el sistema. El objetivo buscado por el mantenimiento es contar con instalaciones en óptimas condiciones en todo momento.

Dado que el sistema propuesto, fue concebido para funcionar por gravedad, las labores de mantenimiento tanto preventivo, como correctivo, están dirigidas a la preservación de tuberías, pozos de visita, lagunas de estabilización y obras civiles conexas al sistema.

El tipo de mantenimiento esta en funcion del momento en el tiempo en que se realiza, asi tenemos:

3.4.2.1 Mantenimiento Correctivo

Tiene lugar luego que ocurre una falla o avería, es decir, solo se actuara cuando se presente un error en el sistema.

Dentro de las labores de mantenimiento correctivo se incluyen: reparación de tuberías y pozos de visita, reparación de obras civiles conexas al sistema de tratamiento, reconstrucción o conformación de taludes y remoción cíclica de lodos.

3.4.2.2 Mantemiento Preventivo

Tiene lugar antes de que ocurra una falla o avería, se efectúa bajo condiciones controladas sin la existencia de algún error en el sistema. Se realiza a razón de la experiencia y pericia del personal a cargo, los cuales son los encargados de determinar el momento necesario para llevar a cabo dicho procedimiento. Estas incluyen; limpieza general de tuberías y pozos de visita, limpieza de obstrucciones y limpiezas rutinarias de lagunas y predios.



CAPÍTULO IV. DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO

“Solo nosotros los humanos producimos basura que la naturaleza no puede digerir”.
Charles Moore.

CAPÍTULO IV. DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO

4.1 Descripción del área de estudio

Somoto es la cabecera municipal del departamento de Madriz ubicada entre los 13°29'00" latitud Norte y 86°35'00" longitud Oeste, situada a 216 kilómetros al norte de Managua capital de Nicaragua, siendo una de las ciudades más acogedoras en el país. El municipio tiene una extensión de 474 Km² según la división política administrativa, se divide en 28 barrios en el área urbana y 52 comunidades rurales, según datos poblacionales el 50.29% habita en el área urbana y el 49.71% se asienta en el área rural (INIDE, 2005).

La planta de tratamiento de aguas residuales se encuentra ubicada al norte de la ciudad, la entrada principal al predio está localizada contiguo a la Cooperativa de Transporte del Norte (COOTRAN). Se llega a través de un camino de todo tiempo. A continuación en la imagen 4.1 se presenta la macro y micro localización del STAR:

Imagen 4. 1: Macro y micro localización de STAR-Somoto



Fuente: Adaptado de Google Maps, 2016

4.1.1 Características hidrológicas

El tipo de clima está clasificado entre las categorías de sabana tropical de altura y se caracteriza por ser húmedo en las partes altas y montañosas y secas en las partes bajas. La temperatura oscila entre los 23° y 24° C hasta los 32° C, presentándose las más elevadas en los meses de febrero a julio y las más bajas de agosto a enero. Con precipitaciones que van desde 650-800 mm anuales en los municipios más secos hasta los 1200-1400 mm en los más lluviosos, (INETER, 2012).

En el municipio de Somoto se da origen por medio de los ríos Comalí y Tapacalí, al Río Coco o Segovia, una de las fuentes hidrográficas más extensas e importantes, es el más caudaloso y largo de Nicaragua. Este río sirve como límite departamental en la parte sur de San Juan de Río Coco que limita con Jinotega, (INTUR, 2015).

Es importante destacar que el efluente procedente del STAR existentes dirigidas al cuerpo receptor (rio Cakahulí), donde la población aledaña utiliza ese cuerpo natural de agua para dar de abreviar al ganado vacuno y caballar, además para el riego de cultivo (Chiltoma, Maíz y Aguacate), lavado de ropa, pesca, limpieza personal, entre otros.

La disminución del recurso forestal por cambio de uso de suelos en zonas de recarga y compactación por el sobrepastoreo y mal manejo de este recurso a provocado la reducción de las precipitaciones, aumento de las temperaturas, reducción de la infiltración del agua y aumento de la escorrentías superficial.

Otros fenómenos a tomar en cuenta han sido el fenómeno del niño y disminución la bosque de galería (el cual ha sido afectado por los caudales extremos y el cambio de uso para establecer hortalizas en la vega de los ríos); ha provocado un aumento en la evapotranspiración y con ello una disminución de la oferta hídrica en el territorio, (MARENA, 2010).

El uso excesivo de agroquímicos, mala ubicación de letrinas, falta de inversión para el saneamiento, ha provocado una reducción en la calidad de agua para diferentes usos.

4.1.2 Características Geofísicas

En el municipio de Somoto se registran elevaciones desde los 420 – 1410 msnm, estas elevaciones mínimas se localizan en el cauce principal de la cuenca del río Coco y la máxima en el cerro el Marimacho localizado al noroeste del municipio en la frontera con el municipio de Macuelizo en Nueva Segovia.

A partir de las elevaciones se calcula la pendiente en porcentaje, la cual es un parámetro biofísico fundamental que influye directamente en procesos naturales como la vocación de los suelos, la escorrentía, infiltración, erosión, dispersión de especies y niveles de amenazas a desastres naturales, principalmente los de origen hídrico, (INETER, 2012).

Dependiendo del tipo de suelo en términos generales, las pendientes superiores al 30%, son suelos con vocación forestal, si se realizará usos agropecuarios en estos tipos de suelos se estaría exponiendo a procesos de degradación (erosión hídrica, cárcavas y deslaves), ya que se aumentan las escorrentías superficiales y se reduce la infiltración.

4.1.3 Servicios básicos del municipio de Somoto

4.1.3.1 Agua y saneamiento

Dentro del municipio de Somoto el 38% de las viviendas no posee el servicio de agua potable, de estas el 35% de las viviendas se localiza en el área rural del municipio y el 3% en el área urbana, el 95% de las viviendas urbanas tienen agua potable. En el área rural las principales fuentes de abastecimiento para consumo humano son pozos públicos con bombas de mecate, ríos, mini acueducto por gravedad y ojos de agua, (INIDE, 2007).

El servicio de agua potable en el municipio de Somoto es brindado por ENACAL solamente en el área urbana, sin embargo en el área rural es suministrado por al

menos 53 CAPs en donde existen o están organizados dichos gremios comunitarios encargados de la gestión y administración del recurso hídrico.

Los CAPs se encargan del mantenimiento del sistema de agua, ya sea pozo con bomba de mecate, mini acueducto por gravedad o puesto público con bomba de mecate, para ello han establecido una estrategia de gestión financiera o un mecanismo de compensación del uso del sistema, estableciendo tarifas mensuales que van desde C\$ 5.00 a más de C\$ 30.00, siendo la tarifa más frecuente la de C\$ 5.00, (Pérez, 2009).

Para el abastecimiento de agua potable ENACAL cuenta con siete pozos artesianos con sistema de bombeo eléctrico, los cuales están ubicados en los siguientes puntos: 2 en la comunidad del Guayabo, 3 en la comunidad de los Copales y 2 en el sector 14 de la Ciudad de Somoto. El consumo promedio de agua potable de los hogares que posee conexión domiciliar es de 16.59 m³, el cual se considera suficiente para satisfacer la demanda de agua necesaria en las diferentes actividades humanas y domésticas, (ENACAL, 2009).

El consumo de agua en los períodos de invierno y verano son relativamente diferentes, por ejemplo en el mes de junio (invierno) el consumo registrado fue de 124,000 m³ y el consumo registrado en abril (verano), fue de 225,000 m³.

En el servicio de saneamiento un 10% de los hogares no poseen servicio higiénico (área rural 7% y área urbana 3%), a su vez, existe un 5% de los hogares que comparten el servicio con otras familias que si la poseen, presentándose bajo esta condición la colaboración comunitaria, (ENACAL, 2009).

Según ENACAL (2009), en la ciudad de Somoto el 56% de las viviendas cuenta con servicio de alcantarillado sanitario y el 55% de la ciudad cuenta con cunetas para el drenaje de aguas pluviales que permiten reducir el riesgo a inundación en los barrios de la ciudad de Somoto.

El monitoreo de la calidad de agua en el municipio de Somoto es realizado de forma mensual por el departamento de epidemiología del Centro de Salud de la ciudad de Somoto, en estos monitoreo se evalúa la presencia o ausencia de coliformes fecales, pH y cloro residual, estos análisis se realizan con mayor proporción en las fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano de la zona rural.

Es necesario destacar que durante el período (2007-2008) se presentaron altos grados de contaminación de las aguas para consumo humano en la zona rural del Municipio de Somoto, ya que el número de muestras realizadas por mes en diferentes tomas de aguas de diversos puntos no constantes, reflejan resultados alarmantes por el grado de presencia de colonias fecales que van desde 1 hasta 50 col/ml de agua. Esto indica que en las diferentes comunidades los pobladores están bebiendo agua no apta para consumo humano, según los rangos estipulados por la CAPRE (2000), afectando su salud, (Pérez, 2009).

Los altos grados de contaminación por la cantidad de “Colonias de Coliformes Fecales” presentes en las muestras de agua en la mayor parte de las comunidades del municipio de Somoto, es generado principalmente por malas prácticas de manejo y tratamiento de agua, ausencia de infraestructura de saneamiento (alcantarillas, letrinas, baños públicos, entre otros).

De igual forma, como sistemas de abastecimiento comunal en mal estado y ganadería intensiva, sumado a la falta de recursos humanos, técnicos y económicos para brindar un mayor seguimiento y establecer una estrategia operativa eficiente que permita dar respuesta a esta problemática.

4.1.3.2 Manejo de residuos sólidos

En lo relacionado al servicio de recolección y tratamiento residuos sólidos, este solo se brinda en el casco urbano de la ciudad de Somoto; según la Alcaldía Municipal de Somoto (2009), existe un total de 887 hogares y 29 instituciones abonados al sistema

de recolección de basura a los cuales se les cobra por el servicio cuotas diferenciadas, que van desde C\$ 20, 25, 30 y 80.

4.1.4 Actividad económica

La principal actividad económica del municipio de Somoto es la producción agropecuaria. El 81% de las comunidades del municipio de Somoto se dedican principalmente al cultivo de maíz (producción artesanal de rosquillas), el 77% al cultivo del frijol y el 73% al sorgo. Así mismo, se practica la ganadería en un 56% de las comunidades, sin embargo, esta actividad es en pequeña escala por el número de animales que poseen los productores (INTA, 2009).

Se practica además el cultivo de hortalizas en un 12% de las comunidades mediante pequeños micro riegos, un 6% de las comunidades se dedican al henequén, un 4% a frutales y solamente el 4% al café siendo practicada esta última actividad en las comunidades que son fronterizas con el municipio de San Lucas (INTA, 2009).

Del total de PEA aproximadamente el 40% se dedica a actividades económicas del sector primario (producción agropecuaria), el 16% aproximadamente al sector secundario y el 44% al sector económico terciario (INTA, 2009).

Otra actividad económica es el Cañón uno de los principales atractivos turísticos del municipio. Esta antiquísima estructura natural está formada por altos paredones de roca que recorren el río Coco y últimamente ha despertado el interés de muchos inversionistas nacionales (INTUR, 2014).

Este destino turístico es visitado por más de 2,000 personas mensualmente y cada año el número de turistas que visitan el lugar sigue incrementando, en estos últimos años se han desarrollado un número significativo de hostales y restaurantes. Eso implica un mayor consumo de recursos (INTUR, 2014).

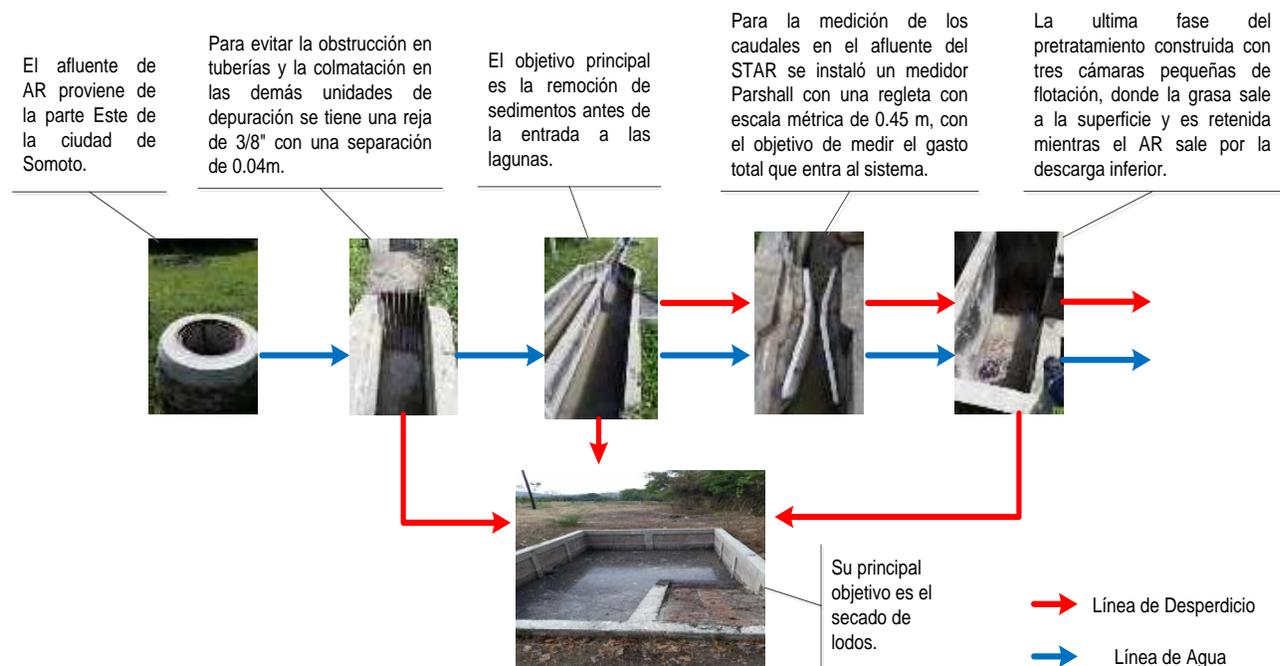
4.1.5 Descripción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

El sistema de tratamiento de la ciudad de Somoto, consta de un tratamiento preliminar, un tratamiento primario y un tratamiento secundario, cuyo fin es mejorar la calidad del agua residual proveniente del alcantarillado sanitario para ser vertida al cuerpo receptor. De esta forma se describe cada unidad de tratamiento de la STAR – Somoto de acuerdo a criterios de diseño y condiciones actuales:

4.1.5.1 Tratamiento preliminar

Esta fase es el proceso de eliminación de aquellos constituyentes de las aguas residuales, de tal forma que esta fase de tratamiento está destinada a preparar las aguas residuales para que puedan recibir un tratamiento subsiguiente sin perjudicar las siguientes unidades de depuración, sirve también para minimizar algunos efectos negativos al tratamiento, tales como: grandes variaciones de caudal y de composición y la presencia de materiales flotantes como aceites, grasas entre otros. En el esquema N° 4.1 se presentan las unidades que constituyen la fase de tratamiento preliminar.

Esquema 4. 1: Tratamiento preliminar



- **Canal de rejas**

Para la separación de sólidos gruesos se utilizan rejillas ubicadas transversalmente al flujo. Al pasar el agua el material grueso queda retenido en el enrejado.

Según criterios de diseño, para garantizar la retención de material flotante antes de la entrada al sistema de lagunas, se emplea una reja de tipo removible, que tiene una inclinación de 45 grados, formada por varilla de 3/8" con 0.03 m de separación.

El volumen de material retenido debería ser retirado de forma manual por un operario, auxiliado por un rastrillo dos veces al día y enterrado diariamente en la fosa de secado de lodos. Esta actividad no se realiza de acuerdo a lo establecido por el diseñador.

De acuerdo a su estado actual, la reja se encuentra con una inclinación de 45 grados y una separación de 0.04 m, lo cual indica que no cumple con los criterios de diseños de las guías técnicas para el diseño de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamiento de aguas residuales, además que el material del que está elaborada es una varilla de refuerzo #4, originando mala retención de sólidos en su totalidad, lo que tendrá repercusiones en la siguiente fase de tratamiento como es el tanque Imhoff.

- **Desarenador**

Fue diseñado con el propósito de remover los sedimentos antes de la entrada a los tanques Imhoff. De acuerdo a su condición actual, éste se encuentra saturado de sedimentos los cuales producen pequeñas burbujas emitiendo gases, posiblemente de metano. Esto como consecuencia a la falta de mantenimiento en los tiempos establecidos.

Debido a la falta de mantenimiento en esta fase, los desarenadores se encuentran con gran cantidad de sedimentos que deberían de evacuarse de la unidad cada 2 semanas dependiendo de la calidad de agua cruda.

El diseño del desarenador presenta dos módulos, de tal manera que cuando uno se está limpiando el otro debería trabajar con toda la carga por el tiempo que dure la

limpieza del primero, pero por la falta de accesorios en la entrada de cada módulo no se puede llevar a cabo esta operación.

El mantenimiento realizado por los operadores en esta fase de tratamiento era en un periodo de 30 días, cuando se efectuaba la limpieza se abrían válvulas de 4" las cuales dirigían los sedimentos acumulados hacia una fosa de secado, cuando estos estaban secos se extraían mediante una carreta manual para ser depositados en áreas baldías dentro del predio de la STAR, esta actividad ya no se realiza por parte de los operadores.

Los sólidos arenosos y gruesos siempre estarán contaminados con patógenos y los sólidos gruesos de la rejilla son excesivos con malos olores y malas apariencias, por lo que de acuerdo al diseñador se proyectó una fosa de secado que se encuentra saturada de sólidos gruesos y arenosos, como puede se observa en la imagen 4.2:

Imagen 4. 2: Fosa de secado del desarenador



- **Elemento de medición**

Para la medición de los caudales de entrada al sistema de tratamiento se instaló un medidor Parshall con una garganta de 3", una regleta con escala métrica (0.45 m), con el objetivo principal de medir el gasto total que entra al sistema de tratamiento.

Este funciona de forma adecuada, pero presenta mínimos detalles que se notan en sus paredes como es la acumulación de costras o lama debido a la falta de mantenimiento.

- **Trampa de grasas**

Esta es la última unidad del tratamiento preliminar, al igual que las otras unidades de tratamiento también presenta deficiencias en su estructura y su funcionamiento, consta con tres cámaras individuales con flujo descendente en cada una de ellas con el propósito de hacer posible la extracción de sólidos que se acumulan en la superficie y evitar el paso a los tanques Imhoff.

Como consecuencia se puede observar que esta unidad se encuentra afectada, por el dimensionamiento de la reja que no cumple con su propósito principal que es la retención de sólidos.

4.1.5.2 Tratamiento primario

La finalidad de esta fase de tratamiento es remover sólidos suspendidos por medio de sedimentación, flotación y precipitación. Entre las unidades existentes en este tipo de tratamiento se encuentra el tanque Imhoff.

En el esquema N° 4.2 se presentan la unidad que constituyen la fase de tratamiento primario.

Esquema 4. 2: Tratamiento primario



- **Tanque Imhoff**

Dentro de esta fase se encuentran dos tanques Imhoff en paralelos para trabajos alternos cuando se den labores de limpieza general, estos están diseñados para remover ciertos porcentajes de DBO₅, DQO y su principal objetivo como es la remoción de sólidos. El volumen en conjunto de los tanques es de 209 m³, con dimensiones de 4.21 m de largo y 4.0 m de ancho.

El estado actual de esta unidad de tratamiento se encuentra saturada de sólidos, debido a esto se da un rebose en las horas de mayor demanda por la saturación de lodos en el interior de estos. Es directamente proporcional que a mayor concentración de lodos en el interior el tirante de agua es menor.

Para evitar la erosión y la contaminación por infiltración al suelo en esta área debido al rebose que produce esta unidad, se ve necesario la construcción de un canal que se dirija a la siguiente unidad de tratamiento.

De igual forma, que en las fases del tratamiento preliminar se da el mismo comportamiento, es decir, la saturación de sedimentos que emiten burbujas en forma de gases, como gases de efecto invernadero. Además de la acumulación de lodos en el interior este presenta sólidos suspendidos de gran tamaño que debieron ser removidos en fases anteriores.

Para la limpieza se cuenta con 4 válvulas de 8", 2 válvulas para cada módulo en los extremos. La limpieza se efectuaba abriendo las 2 válvulas al mismo tiempo por cada módulo, por un periodo de 5 minutos. Se realizaba cada 2 meses y en épocas de lluviosa hasta 3 meses.

La descarga de lodos procedentes del tanque se conducían al lecho de secado donde el operador debía distribuirlos uniformemente en todo el lecho, cuando estos estaban secos se retiraban y se disponían a un botadero a cielo abierto de la ciudad o eran

utilizados como mejoramiento de terrenos agrícolas mezclándose con el suelo del lugar, estos lodos no pueden utilizarse en cultivos hidropónicos.

En la imagen 4.3 se muestra el área que se utilizaba para la disposición uniforme de los lodos provenientes del Tanque Imhoff:

Imagen 4. 3: Estación de área de secado de lodos



Existen muchas más afectaciones dentro de esta unidad de tratamiento, como consecuencia de la falta de mantenimiento preventivo se producen pequeñas imperfecciones que no afectan el funcionamiento, pero poco a poco deterioran dicha unidad como son; corrosión en válvulas y tramos de tubería de conducción hacia las lagunas, como se observa en la tabla N° 4.1:

Tabla 4. 1: Estado de tubería de conducción

Estado	Descripción
	<p>Válvulas completamente corroídas por falta de mantenimiento. Para evitar el deterioro de estas se pretende sacar la corrosión y luego aplicar un anticorrosivo.</p>
	<p>Tuberías de conducción que se dirigen a la laguna primaria corroídas en algunos tramos. Cambio de tubería en tramos afectados.</p>

Estado	Descripción
	<p>Tuberías de conducción que se dirigen a la Laguna primaria corroídas en algunos tramos. Cambio de tubería en tramos afectados.</p>

4.1.5.3 Tratamiento secundario

Esta fase de tratamiento consta de dos lagunas dispuestas en serie, diseñadas para funcionar de forma facultativa, es decir, que los rayos del sol penetran de forma difusa, su espesor es de difícil medición por lo que varía constantemente respecto a la insolación, en este estrato actúan bacterias que se conocen como facultativas, y son las que dan el nombre a este tipo de proceso.

En el esquema N° 4.3 se presentan la unidad que constituyen la fase de tratamiento secundario.

Esquema 4. 3: Tratamiento secundario



- **Laguna primaria**

Esta laguna es la fase inicial del tratamiento secundario, fue diseñada con el propósito de reducir el contenido de DBO₅ y patógenos.

Esta es de forma rectangular con taludes perimetrales de 1:3 (forma de pirámide truncada invertida) cuyas dimensiones son de 33.0 m de ancho, 62.0 m de largo y una profundidad de 1.50 m, de acuerdo a criterios de diseño se ha dejado una profundidad adicional de 0.5 m, que serán para la acumulación de lodos y arenas.

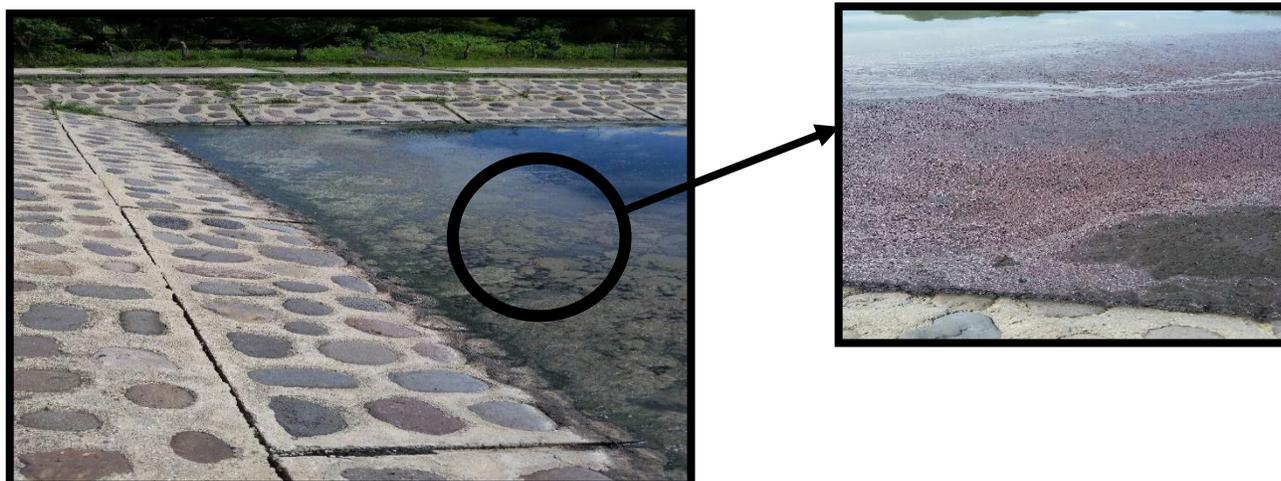
Sin embargo, dado que las concentraciones de ambos parámetros en el efluente de ésta no presenta la calidad adecuada para verter al cuerpo receptor, se hace necesario la implementación de una unidad secundaria para lograr una remoción de patógenos y DBO hasta alcanzar niveles aceptables en la calidad del efluente que lo hagan apta para descargar en el cuerpo receptor sin causar un impacto negativo en el entorno de éste.

Por deficiencia encontrada en la fase preliminar y primaria los sólidos flotantes y gruesos están causando problemas nocivos en la operación de las lagunas: Ellos ayudan a la formación de natas que producen malos olores, sirven como focos para la reproducción de insectos y producen condiciones desagradables a la vista.

Los sólidos arenosos están llenando la entrada de la laguna primaria lo que impide la mezcla del afluente con el contenido de la laguna, han erosionado el revestimiento y los taludes interiores causando problemas de corto circuitos hidráulicos, malos olores y condiciones desagradables.

Actualmente, esta presenta zonas muertas en sus bordes, es decir, acumulación de material flotante (nata) que impiden la fotosíntesis en el proceso de depuración a como se observa en la imagen 4.4:

Imagen 4. 4: Natas en laguna primaria



En el caso de los sólidos arenosos no están siendo removidos por el desarenador, por lo que estos sólidos están llenando la laguna primaria, donde impiden la mezcla del afluente con el contenido de la laguna, causando malos olores, condiciones desagradables a la vista, así como erosión al revestimiento.

- **Laguna secundaria**

El propósito de este tipo de lagunas es afinar el proceso de tratamiento, garantizar las concentraciones mínimas de DBO, coliformes fecales y darle mejor apariencia al efluente final. Esta fue diseñada con el criterio de flujo disperso, por lo que no contienen paredes deflectoras.

Esta laguna cuenta con tres mamparas longitudinales para modelar el flujo de tipo pistón con el objetivo de mejorar el régimen hidráulico.

Actualmente, en su condición física presenta un deterioro en sus taludes y en su condición operacional presenta deficiencias en su funcionamiento debido a la falta de mantenimiento, así como, la acumulación de lodos que afectan los periodos de retención hidráulicos por lo que las eficiencias de remoción no son las deseadas. El agua contenida en esta laguna presenta una coloración roja que es un indicador de la

existencia de bacteria fotosintéticas del azufre, de igual forma, bacterias de sulfato-reductoras, daphnia y colorantes, lo cual significa condiciones anaeróbicas, la coloración rojiza en esta laguna se da en varias zonas, como se observa en la imagen 4.5:

Imagen 4. 5: Coloración rojiza en Laguna Secundaria



Durante la realización de este diagnóstico se observó claramente que las burbujas llevan los lodos sedimentados a la superficie, que pueden también llevar los huevos de helmintos a la siguiente laguna. Estas lagunas están colmatadas de lodos y por su profundidad sería difícil y costoso removerlos, este es un problema típico del uso de las lagunas anaeróbicas.

En esta fase de tratamiento existe presencia de tortugas las cuales obstruyen los canales de entrada y salida, así mismo, deterioran los taludes de las lagunas, como se observa en la imagen 4.6:

Imagen 4. 6: Obstrucción de tortugas en canales de conducción



Así mismo, la presencia de animales domésticos (ganado vacuno, semovientes, perros y gallinas) en el caso del ganado llega a abrevar y a pastar diario dentro del predio y en el caso de perros y gallinas llegan a abrevar y alimentarse de los huevos de tortugas. Este comportamiento se observó durante los monitoreos realizados en la STAR-Somoto, como se observa en la imagen 4.7:

Imagen 4. 7: Presencia de animales domésticos en la PTAR



4.1.5.3.1 Efectos de vientos y temperaturas en el diseño de las lagunas facultativas

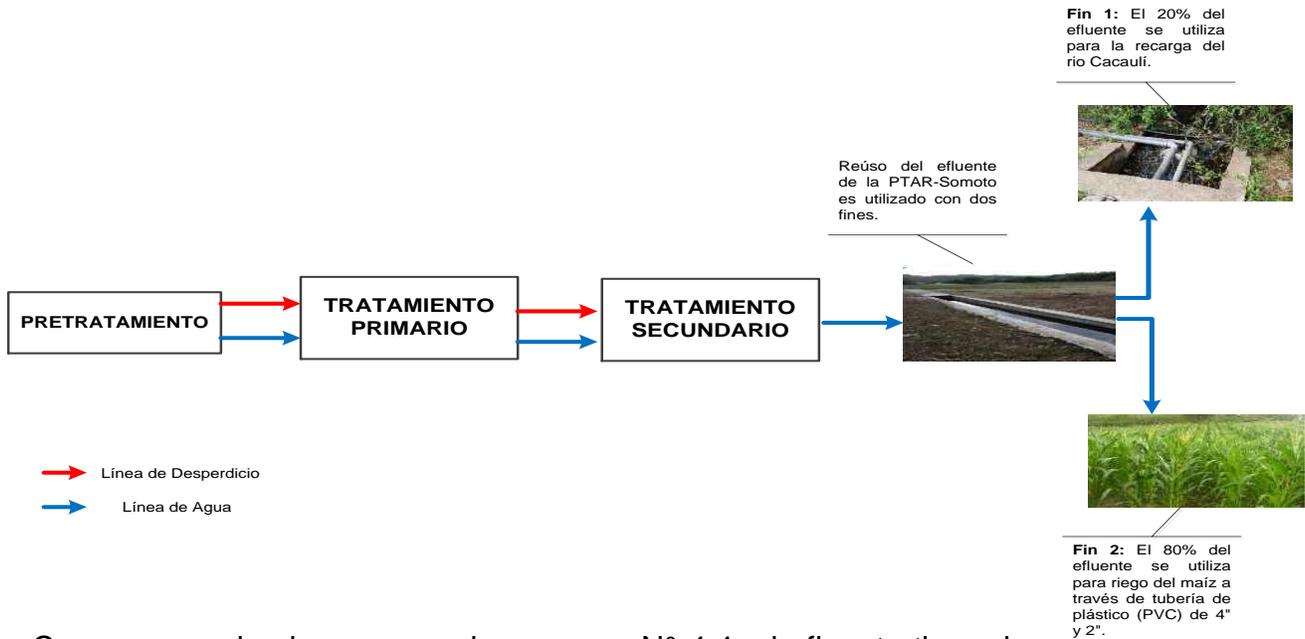
No se incluye el estudio del efecto reaeración por el viento en las lagunas porque, como discutió Oswald hace 40 años en (1963) la ganancia de oxígeno es solamente una fracción de la ganancia por fotosíntesis. Por ejemplo, el oxígeno disuelto dentro de una laguna tendría que tener un déficit de 10 mg/L—una condición en que la laguna tendría muy malos olores para obtener una ganancia de 18 kg O₂/ha-día por reaeración, un factor insignificativo relacionado las ganancias por fotosíntesis (Oswald, 1963).

4.1.5.4 Efluente general PTAR – Somoto

La conducción de las aguas tratadas se realiza por medio de una línea de tubería de plástico, cuyo diámetro es de 14" que inicia en la cámara receptora de la descarga de la laguna secundaria. El extremo final de la tubería es un cabezal de descarga sobre la depresión localizada al sur de la laguna secundaria, el cual conduce al cuerpo receptor (río Cacaúlí), donde se vierten actualmente las aguas no tratadas procedentes del sistema viejo de lagunas.

En el esquema N° 4.4 se presentan la etapa de conducción y vertido de las aguas tratadas.

Esquema 4. 4. Efluente Final



Como se puede observar en el esquema N° 4.4, el efluente tiene dos usos, uno es la descarga directa al río Cakahulí y la segunda para reúso de riego agrícola en cultivos de maíz para el uso de este efluente no se cuenta con ningún estudio con el que se tenga la certeza sobre la calidad de dicho efluente y el cumplimiento con las normativas como son el Decreto 33-95 en su capítulo VIII establece el cumplimiento con el Arto. 57 así mismo con las disposiciones de la Norma para la clasificación de los recursos hídricos (NTON 05 007- 98) que establece que los efluentes de los STAR, son tipo 2 y deberán cumplir con los parámetros establecidos en la categoría A y B.

4.1.5.5 Condiciones físicas de operación, mantenimiento y sostenibilidad del STAR – Somoto

Tabla 4. 2: Condiciones de operaciones y mantenimiento por cada fase de tratamiento

Unidad	Condición física	Monitoreo de rutina	Mantenimiento	Personal	Planificación para la remoción de lodos	Sostenibilidad
Pozos de visita	Estado actual deficiente, sin tapaderas y fisuras	-	No satisfactorio, ausencia de tapas	2 operadores	-	Apoyo técnico y económico por parte de la municipalidad, ONG y comunidad educativa
Rejas	Oxidación en barras y placa de drenaje	-	No satisfactorio, limpieza solo una vez al día	2 operadores	-	Apoyo técnico y económico por parte de la municipalidad, ONG y comunidad educativa
Desarenador	Saturado de sólidos arenosos, no posee compuertas para el mantenimiento individual de cada unidad. Colmatado debido a la falta de mantenimiento	-	No satisfactorio, presencia de sólidos, ausencia de compuertas para drenar las cámaras individuales	2 operadores	-	Apoyo técnico y económico por parte de la municipalidad, ONG y comunidad educativa
Trampa de grasas	Daños estructurales a nivel de fisuras en sus paredes y saturado de sólidos en suspensión	-	No satisfactorio Limpieza una vez al día	2 operadores	-	
Tanque Imhoff	Saturado de sólidos en el interior producto de esto se produce el rebose. Su	S.S.T DBO ₅ DQO	No satisfactorio Saturación de lodos en el interior y presencia de	2 operadores		Apoyo técnico y económico por parte de la municipalidad, ONG y comunidad

Unidad	Condición física	Monitoreo de rutina	Mantenimiento	Personal	Planificación para la remoción de lodos	Sostenibilidad
Tanque Imhoff	Su estructura afectado por fisuras. Desprende en sus acabados		residuos solidos No raspan las paredes en la parte interior			Educativa
Tuberías de conducción	Deterioradas por la corrosión a falta de mantenimiento preventivo		No satisfactorio Falta de mantenimiento preventivo	2 operadores	-	Apoyo técnico y económico por parte de la municipalidad, ONG y comunidad educativa
Laguna primaria	Afectada por fisuras y desgastes en los taludes	S.S S.S.T DBO ₅ DQO	Satisfactorio	2 operadores	-	Apoyo técnico y económico por parte de la municipalidad, ONG y comunidad educativa
Laguna secundaria	Desgastes en taludes y fisuras en su estructura	S.S S.S.T DBO ₅ DQO	Satisfactorio	2 operadores	-	Apoyo técnico y económico por parte de la municipalidad, ONG y comunidad educativa
Canal de salida	Perdidas por infiltración y agrietamientos	S.S S.S.T DBO ₅ DQO	Satisfactorio	2 operadores	-	Apoyo técnico y económico por parte de la municipalidad, ONG y comunidad educativa

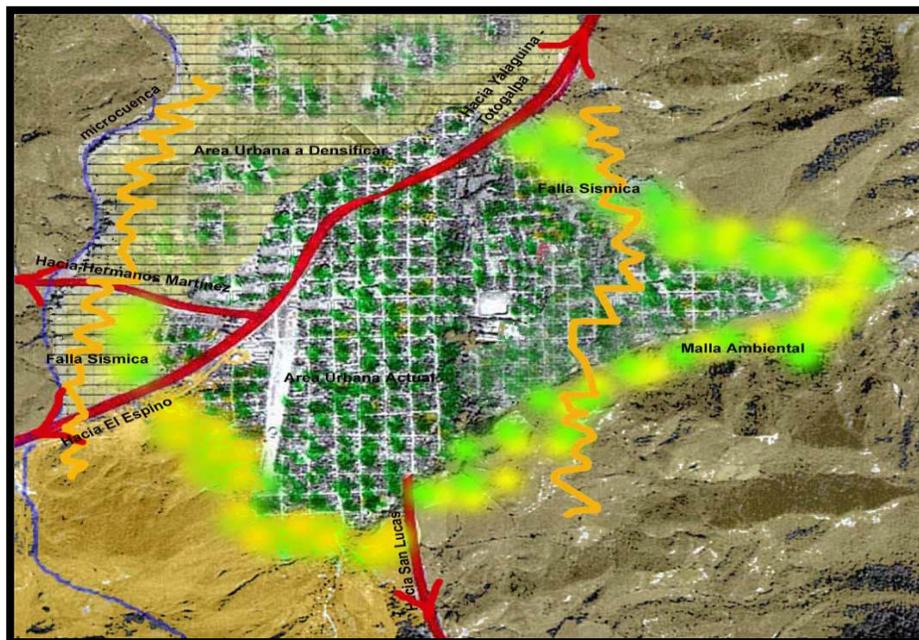
4.1.6 Criterios para la ubicación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales

La Ubicación de los Sistemas de tratamiento de Aguas Residuales debe cumplir con todos los criterios establecidos en el Acápite 6 de la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense para regular los STAR y sus reúsos (NTON 05-027 05):

1. La ubicación de los STAR debe tomar en cuenta los planes de desarrollo urbano de la Municipalidad o localidad.

De acuerdo al plan de ordenamiento territorial de la ciudad de Somoto se contempla como una zona de crecimiento urbano el área donde se encuentra ubicado el STAR por lo que se presentarían conflictos entre los pobladores y el STAR en los sectores aledaños, este fenómeno se puede observar en la imagen 3.8:

Imagen 4. 8: Análisis de amenaza y crecimiento poblacional de la ciudad de Somoto



Fuente: SINAPRED (2003).

2. El terreno donde se construya un STAR no debe ser un área inundable. No se permite la construcción en pantanales, humedales (swampoo), marisma y similares.

El STAR se encuentra ubicado en un área con pendientes mínimas que evitan el estancamiento o acumulación de líquidos (charcas) dentro del predio,

comprende de un suelo permeable que permite la infiltración de agua para que este se mantenga escurrido en poco tiempo.

3. El área del terreno donde se ubique o se instale un STAR debe tener una pendiente menor de 5%.

De acuerdo a la NTON 05-027 05, esta cumple ya que se encuentra ubicada en una zona plana que permite el buen drenaje de las aguas pluviales.

4. La instalación o construcción de los STAR deben estar ubicados a sotavento de cualquier actividad donde haya permanencia de personas por más de 8 horas, de tal manera que el aire circule de las actividades hacia el sitio de la ubicación del STAR y no lo contrario.

Las instalaciones de este sistema se encuentran ubicados a sotavento por lo que afecta a la población aledaña.

5. La distancia de separación entre la instalación o construcción de cualquier STAR, y viviendas, fuente de abastecimiento y nivel freático se establece en la tabla 4.3:

Tabla 4. 3: Ubicación de los sistemas de tratamientos de aguas residuales

Unidades de tratamiento	Pozos individuales de agua para consumo domestico	Lindero de propiedad	Viviendas o zonas pobladas	Nivel freático
Tanque Imhoff	Mayor de 15 metros	Mayor de 10 metros	Mayor de 100 metros	Mayor de 100 metros
Lagunas	Mayor de 100 metros	Mayor de 20 metros	Mayor de 1000 metros	Mayor de 1000 metros

Fuente: NTON 05-027 05.

La ubicación del STAR se encuentra en un área plana, de acuerdo a su construcción cumple con la normativa, su instalación está aislada con respecto a las viviendas aledañas. A través del aumento poblacional de la ciudad en sectores aledaños al STAR se van a ver afectados, de tal forma, que no cumplirían con la normativa.

6. En el caso de nuevas actividades o proyectos que requieran instalarse cerca del área de influencia de un STAR en operación deben de regirse por los criterios establecidos en la presente normativa y los criterios técnicos que las autoridades competentes dictaminen.

En el plan de ordenamiento territorial no se tomó en cuenta la ubicación del sistema con respecto al crecimiento urbanístico, por lo tanto se crearan conflictos entre los pobladores aledaños y el STAR.

7. La distancia mínima entre los STAR y campos de pozos de abastecimiento de agua potable debe ser en un radio de 1000 metros medidos desde el pozo más cercano.

Dentro de las fuentes de abastecimiento de agua para el consumo humano, el STAR se encuentra a un radio mayor de 1000 metros en donde la mayoría de la población afectada se encuentra en las zonas rurales. El efluente final la PTAR es utilizado en un 80% para el riego de maíz de las parcelas aledañas y el 20% dirigida al cuerpo receptor (rio Cacaúlí).

8. Todo STAR que se ubique en áreas protegidas debe solicitar la autorización o permiso ambiental al MARENA según corresponda. En el caso de áreas protegidas con planes de manejo, el sitio de ubicación de los STAR deberá regirse según la zonificación y su normativa correspondiente.

El STAR cumple con la normativa en este inciso, no existe área protegida cerca del funcionamiento del sistema.

9. La distancia mínima entre un STAR y esteros (estuarios), mar debe ser de 100 m de la línea máxima de crecida, en caso contrario el MARENA o INAA según su competencia establecerá su autorización en dependencia del tipo de sistema.

La ubicación del STAR se encuentra en la zona central de Nicaragua, retirada de las zonas costeras del pacífico y mar caribe. Con respecto a la normativa en este inciso el STAR cumple.

10. Cuando la descarga o disposición final del efluente de un STAR se requiera en Aguas superficiales, debe ser autorizada por el MARENA según el tipo de corriente, uso del recurso y actividades que se realicen en el punto de descarga. En el caso de los ríos y quebradas se debe tomar en cuenta el uso y las actividades que se realicen aguas abajo.

La disposición final del efluente del sistema en este caso el río Cakahulí, es utilizado aguas abajo para abreviar el ganado, pesca, riego y actividades como es el uso de lavandería; no tiene cumplimiento con la normativa por lo que el MARENA no lo autoriza.

11. La distancia entre un STAR y un aeropuerto, aeródromo o una terminal aérea, debe ser establecida por el Ministerio de Transporte e Infraestructura.

La ciudad de Somoto no cuenta con una terminal aérea, en este caso el STAR con respecto a la normativa cumple.

12. La instalación de un STAR con respecto a la profundidad del manto freático debe ser como mínimo de 2 metros a partir del fondo del STAR y cumplir con las especificaciones diferentes:

- a. Para suelos limosos y limo – arenoso se debe proceder a impermeabilizar y compactar el área al 95% próctor standard.
- b. En aquellos casos en que la profundidad del nivel freático sea menor de 2

metros MARENA e INAA, según su competencia autorizará la viabilidad del sistema.

13. En aquellos casos en que la profundidad del nivel freático sea menor de 2 metros MARENA e INAA, según su competencia autorizará la viabilidad del sistema.

En el inciso 13 y 14 del Acápite 6 de la NTON 05-027 05, no existe un estudio realizado para la valoración y profundidad del manto freático en la zona, por lo tanto, se desconoce el estado actual del acuífero de Somoto.



CAPÍTULO V. DISEÑO METODOLÓGICO

“El agua y la tierra, los dos fluidos esenciales de los que depende la vida, se han convertido en latas globales de basura”. **Jacques-Yves Cousteau.**

CAPITULO V. DISEÑO METODOLÓGICO

5.1 Tipo de investigación

De acuerdo a los objetivos planteados la presente investigación es de tipo aplicada debido a que pretende brindar una alternativa de solución (técnica y económicamente factible) al problema ambiental de la ciudad de Somoto.

La investigación tiene un enfoque cualitativo (descripción de la zona de estudio, características de la población, entre otros). Según el alcance, el estudio es de corte transversal debido a que se refiere a un momento específico. Según el carácter de la medida de enfoque del estudio es mixto, se analizaron variables cuantitativas y cualitativas.

5.2 Procedimiento

5.2.1 I Etapa

Se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva que permitió tener una perspectiva completa acerca de las variables y los objetivos considerados en la investigación. Tuvo como objetivo conocer el estado del arte referente al tema, sus antecedentes, definiciones, entre otros.

También permitió explicar la importancia del problema de estudio y sus aportes a la sociedad. Se realizó observación in situ, para identificar todos los procesos unitarios que conforman la STAR de la ciudad de Somoto. Haciendo énfasis en la carga orgánica y en el reúso del efluente.

Las herramientas de recolección de datos se detallan a continuación:

Esta etapa se realizó con el fin de conocer a fondo el problema y las posibles formas de enfrentarlo, desde la perspectiva de la remoción de la carga orgánica abarcando los siguientes aspectos:

- Reconocimiento del campo de trabajo.
- Ubicación de los puntos de muestreos y de medición del caudal.

- Capacitación de las técnicas de análisis de laboratorio para aguas residuales.
- Preparación de materiales, reactivos y maleta de campo.
- Diagnóstico operacional y funcional del STAR.

5.2.2 II Etapa

Una vez finalizada la etapa anterior, con el conocimiento del problema planteado y con un plan de trabajo definido, se desarrollaron las siguientes actividades:

5.2.2.1 Medición de caudales:

Para la realización de los aforos e afluentes y efluentes se tomaron en consideración los siguientes aspectos:

- Para la medición del caudal en el afluente del sistema se contó con una Canaleta Parshall graduada con 45 cm (0.45 metros). El monitoreo en este afluente se realizó cada hora registrándose el tirante de agua. Esto con el objetivo de poder determinar el caudal por hora en el afluente, utilizando la ecuación propuesta por Marais & Van Haandel (1980):

$$Q = 2.2 * W * H^{3/2} \quad (\text{Ecuación 5. 1})$$

Donde:

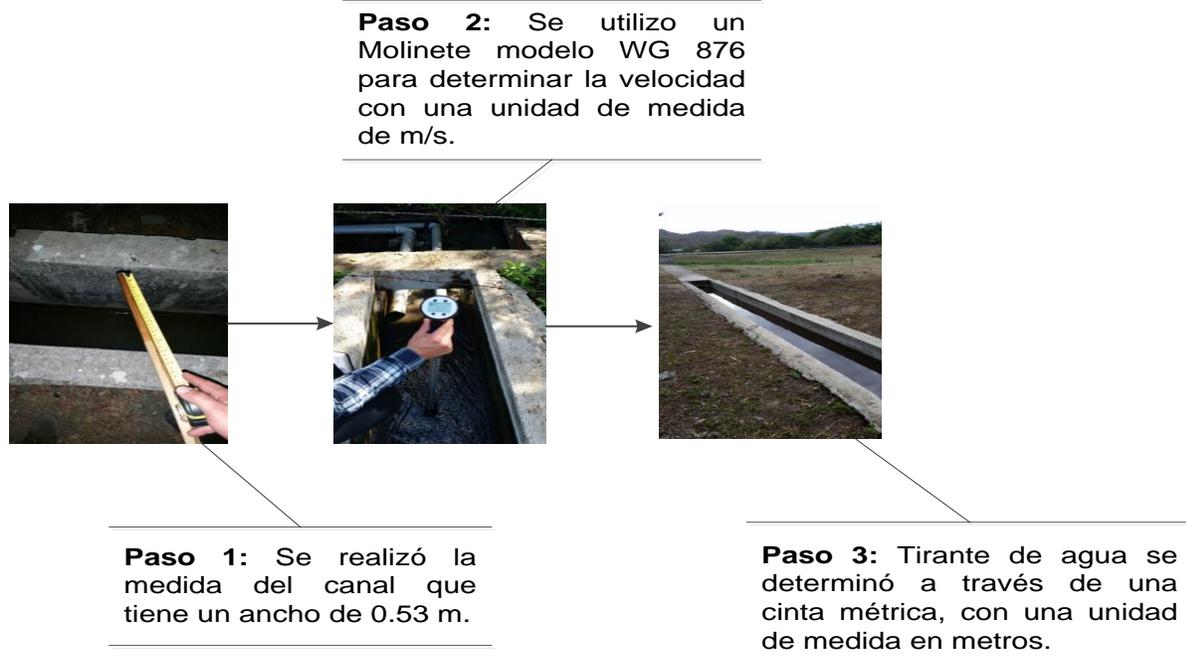
Q= Caudal (m³/s)

W: Ancho de la garganta (m)

H: Carga o altura de la lámina de agua (m)

- En el efluente del sistema de tratamiento, el procedimiento fue diferente ya que no hay una canaleta de medición, así como en el afluente; por lo que se utilizó otro método como se detalla en el esquema 5.1:

Esquema 5. 1: Procedimiento de aforo en efluente



Con estas variables y haciendo uso de la ecuación de continuidad obtenemos el caudal:

$$Q = V * A \text{ (m}^3\text{/seg) (Ecuación 5. 2, Continuidad)}$$

Donde:

Q: Caudal en m³/s

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).

Para el cumplimiento del objetivo planteado, de determinar la variación de caudal en el afluente y el efluente de la STAR.

Para lograr dicho objetivo se utilizó el siguiente procedimiento:

Se realizaron 9 aforos de 24 horas y uno de 12 horas (condiciones climáticas) durante un período comprendido del 14 de marzo al 20 de mayo del 2016. El cronograma establecido para la medición de caudal es los siguientes:

Tabla 5. 1: Cronograma de aforo del STAR

Número de aforo	Días	Fecha	Hora de Inicio y de salida	Duración o periodo	Observación
Aforo N°1	Lunes-Martes	14 Marzo-15 Marzo 2016	08:00a.m-08:00a.m	24 horas	-
Aforo N°2	Miércoles-Jueves	16 Marzo-17 marzo 2016	05:00a.m-05:00a.m	24 horas	-
Aforo N°3	Viernes-Sábado	18 Marzo-19 Marzo 2016	05:00a.m-05:00a.m	24 horas	-
Aforo N°4	Jueves-Viernes	21 Abril-22 Abril 2016	06:00a.m-05:00a.m	24 horas	-
Aforo N°5	Martes	26 Abril 2016	06:00a.m-05:00p.m	12 horas	Por condiciones climáticas y protección del equipo
Aforo N°6	Jueves-Viernes	28 Abril-29 Abril 2016	06:00a.m-05:00a.m	24 horas	-
Aforo N°7	Jueves-Viernes	5 Mayo-06 Mayo 2016	06:00a.m-05:00a.m	24 horas	

Número de aforo	Días	Fecha	Hora de Inicio y de salida	Duración o periodo	Observación
Aforo N°8	Martes- Miércoles	10 Mayo- 11 Mayo 2016	06:00a.m- 05:00a.m	24 horas	-
Aforo N°9	Martes- Miércoles	17 Mayo- 18 Mayo 2016	06:00a.m- 05:00a.m	24 horas	-
Aforo N°10	Jueves- Viernes	19 Mayo- 20 Mayo 2016	06:00a.m- 05:00a.m	24 horas	-

5.2.2.1.1 Ficha de campo

La ficha de campo permitió registrar la información recolectada en el momento de la lectura de los caudales, como se observa en la tabla 5.2:

Tabla 5. 2: Aforos de los caudales

Hora	Afluente		Efluente		
	(Canaleta Parshall)				
	H	Caudal	Tirante	Velocidad	Caudal
	(m)	(m ³ /s)	(m)	(m/s)	(m ³ /s)
06:00:00 a.m.					
12:00:00 p.m.					
05:00:00 a.m.					

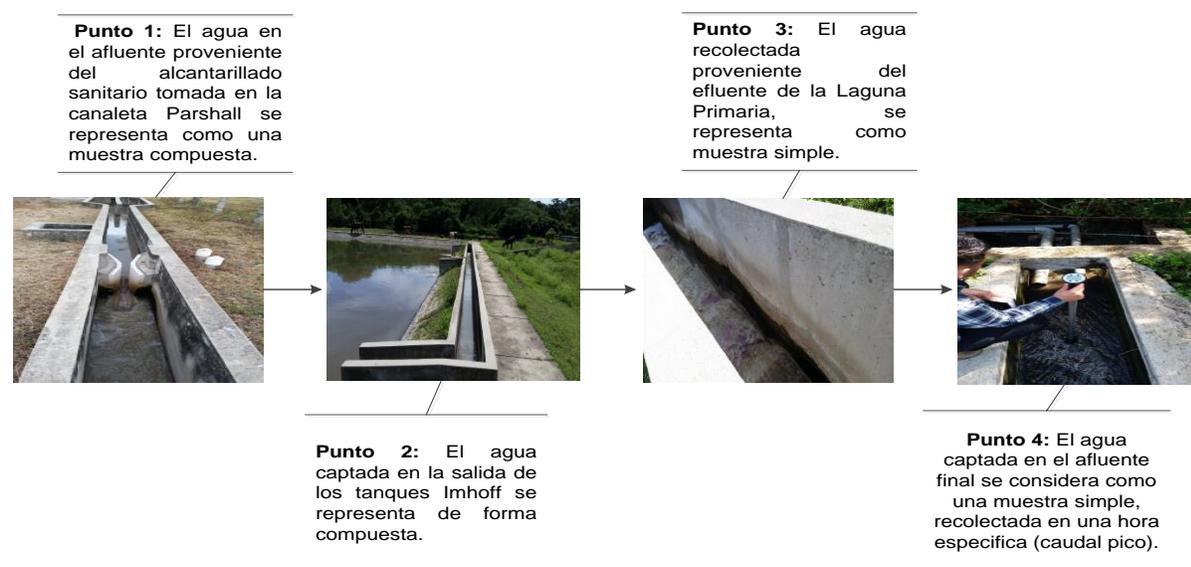
5.2.2.2 Recolección y preparación de muestra:

Para el diseño de las muestras fisicoquímicas se consideró lo siguiente, de acuerdo al Decreto 33-95 en su Arto. 16 *“Los valores de los parámetros de las descargas residuales domesticas a redes de alcantarillado sanitario y cuerpos receptores, se obtienen del análisis de muestras compuestas que resulten de la mezcla de las*

muestras simples, tomadas estas en volúmenes proporcionales al caudal medido en el sitio y en el momento del muestreo.

Los muestreos se efectuaron durante siete días; comprendidos entre el 21 de abril hasta el 20 de mayo del 2016. La toma de muestra se realizó en puntos seleccionados como los más representativos (Entrada general, salida de la laguna primaria y salida general de la STAR) durante un período consecutivo de veinticuatro horas a intervalos de una hora cada toma de muestra, a como se observa en el esquema 5.2:

Esquema 5. 2: Ubicación de puntos de recolección de muestras STAR



El tipo de muestra recolectada es compuesta y en forma manual en el caso de la entrada general del STAR y salida de los tanques Imhoff y simple en la salida de la laguna primaria y en el efluente general, como se observa en la tabla 5.3:

Tabla 5. 3: Ubicación, espécimen y periodo de muestras

Tipo de muestra	Localización	Días	Frecuencia (C/día)	Nro. Total de Muestras
Compuesta	Entrada General PTAR	7 días	24 horas	14 muestras
	Salida del Tanque Imhoff			
Simple	Salida Laguna Primaria	7 días	1 hora	14 Muestras
	Salida General PTAR			

Definido los puntos de muestreo conocidos, se procedió a la recolección de muestras. Éstas se recolectaron en recipientes de polietileno con capacidad de 1 galón para las muestras compuestas y con capacidad de 1 litro para las muestras puntuales.

Para evitar la contaminación de las muestras, fue necesario realizar una esterilización de los recipientes de muestreo con agua des ionizada.

Los recipientes se llenaron con la muestra de agua residual provenientes de cada una de las etapas antes descritas, para posteriormente ser rotulados con la fecha y hora del muestreo, preservándose en un termo con hielo, como se observa en la imagen 5.1:

Imagen 5. 1: Recolección y preparación de muestras



Se utilizó una ficha de laboratorio que permitió registrar los datos obtenidos de los análisis realizados en el laboratorio para su debido procesamiento.

5.2.2.2.1 Toma de Muestras en campo

El objetivo principal de este documento es la eficiencia de remoción de carga orgánica en función de DBO_5 y DQO que tiene dicha STAR; para esto fue necesario hacer estudios de laboratorio los cuales se realizaron en el laboratorio central de aguas residuales de ENACAL Managua.

Para lograr dicho objetivo se hicieron 7 muestreos de 24 horas, en los cuales se recolectaron muestras compuestas y puntuales.

Otro de los parámetros que se realizaron en campo son los sólidos sedimentables los cuales se realizaron con un cono Imhoff, estos parámetros se realizaban a cada hora llevando la misma secuencia de las muestras compuestas ya que se tomaban en la entrada general del STAR y en la salida de los tanques Imhoff.

La metodología implementada para realizar los sólidos sedimentables fue con los conos Imhoff que están graduados desde 0.5ml hasta 1000ml. Se tomaba una cantidad de 1000ml y se depositaba en el cono, se dejaba sedimentar por 45 minutos y luego se removía con una varilla las paredes del cono y se dejaba sedimentar por otros 15 minutos para que así se decantaran los sólidos que quedaban en las paredes del cono. Al lapso de una hora se hacía la lectura de la cantidad de sólidos que se sedimentaban, a como se muestra en la imagen 5.2:

Imagen 5. 2: Sedimentador de solidos (Cono Imhoff)



5.3 Parámetros físicos-químicos evaluados

Los parámetros determinados in situ fueron sólidos sedimentables, pH, conductividad eléctrica y temperatura. El restante de los parámetros se determinó en el laboratorio central ENACAL.

Una vez seleccionado el diseño de las muestras así como los parámetros de intervención que se pueden apreciar en la tabla 5.4:

Tabla 5. 4: Parámetros fisicoquímicos evaluados

Variable		Lugar de Medición	Ubicación en PTAR	Método SM/EPA
Físico Químicos	Temperatura	In Situ	Entrada General PTAR	Termométrico
	pH	In Situ		SM 4500-H B
	Conductividad	In situ	Salida Tanque Imhoff	SM 2510 B
	Sólidos Sedimentables	In situ		Cono Imhoff
	DBO5	Laboratorio	Salida Laguna Primaria	SM 5210 B
	DQO	Laboratorio		SM 5220 D
	Sólidos Suspendidos Totales	Laboratorio	Salida General PTAR	SM 2540 D

5.4 Procedimientos y Técnicas de Medición de Variables

5.4.1 Parámetros In situ

5.4.1.1 Temperatura

Se determinó conjuntamente con la conductividad, haciendo uso de un conductivímetro SM 2510 B que cuenta con un electrodo sensible a la temperatura. Una vez que se introduce el electrodo en la muestra, éste reporta su temperatura cuando alcanza el equilibrio térmico. Los resultados se expresan en °C.

5.4.1.2 Conductividad

Se determinó mediante electrometría, haciendo uso de un conductivímetro SM 2510 B, éste posee un electrodo que al introducirse en la muestra expresa su conductividad en microsiemens cm^{-1} ($\mu\text{S cm}^{-1}$).

5.4.1.3 Potencial de Hidrogeno (pH)

Se determinó el pH de las muestras mediante electrometría, haciendo uso de un pH-Metro SM 4500-H B con electrodo selectivo de iones H^+ , la concentración se obtiene en valores comprendidos entre 1 y 10.

5.4.2 Parámetros en Laboratorio

5.4.2.1 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Se realizó utilizando el método del dicromato, donde se oxida la muestra químicamente a través de la acción del dicromato de potasio a una temperatura de 150°C , durante dos horas. Se utiliza sulfato de plata como catalizador y sulfato de mercurio para evitar las posibles interferencias de cloruro. Posteriormente se lleva a cabo la determinación por espectrofotometría. Este método permite estimar la medida de oxígeno necesario para oxidar químicamente la materia orgánica contenida en el agua. Puesto que por medios químicos la oxidación de esta materia es más completa. Para obtener los valores de este ensayo se utilizó la técnica de espectrofotometría de absorción dando una lectura directa en mg/L de oxígeno.

5.4.2.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Se realiza a través de la incubación de la muestra a 20 °C por cinco días en la oscuridad, el valor de la DBO₅ se determina comparando el valor de oxígeno disuelto de una muestra tomada inmediatamente con el valor de la muestra incubada descrita anteriormente. La diferencia de los dos valores de oxígeno disuelto representa la cantidad de oxígeno requerido para la descomposición de material orgánico en la muestra.

5.4.2.3 Sólidos Suspendidos Totales

Los sólidos suspendidos totales son los materiales retenidos por un filtro estándar de fibra de vidrio y secado entre 103-105 °C. La preparación a través del papel de filtro es colocar el filtro en el embudo de filtración, aplicar vacío y enjuagar con tres porciones de 20 mL de agua destilada. Se debe continuar la succión hasta eliminar totalmente el agua y secar en estufa a temperaturas de 103-105°C por 1 hora en un soporte de porcelana.

5.5 Verificación de dimensiones del STAR- Somoto

Se procedió a tomar en cuenta las consideraciones expuestas por mediciones efectuadas días antes al inicio del muestreo en cada una de las fases del STAR; la medición del tirante de las lagunas no se realizó por motivo económico y tiempo, por lo cual se considero el valor de 1.65 m valor obtenido por ENACAL-Somoto días antes a esta evaluación.

5.6 Determinación del tiempo de retención

El período de retención para cada laguna del sistema se obtuvo en forma teórica, siendo el valor presentado una relación entre el volumen calculado entre el balance hídrico y el caudal afluente promedio, como se muestra en la ecuación (Arthur, 1983; Mara *et al.*, 1992):

$$TRH = \frac{V_{lag} (m^3)}{Q_{medio} (m^3/día)} \quad \text{(Ecuación 5. 3)}$$

Se realizara un análisis entre la relación de las variables teóricas como son: temperatura, tiempo de retención hidráulica y eficiencias, tomando como referencia las investigaciones de Yáñez, 1992; Mara, *et al.*, 1992.

5.7 Determinación de la carga orgánica

5.7.1 Determinación de carga orgánica total

Para la determinación de la carga orgánica total a tratar se obtiene mediante la ecuación:

$$\text{COT} = \text{concentración} \times \text{caudal} \times 0.0864 \quad \text{(Ecuación 5. 4)}$$

Donde:

Concentración: Valores de DBO₅ en el efluente de diferentes unidades de tratamiento, como son: tanque Imhoff, laguna primaria y laguna secundaria, expresada en mg/L.

Caudal: caudal promedio expresado en L/s

0.0864= conversión de mg/s a Kg/ día para el cálculo de la COT.

$$1 \frac{mg}{s} \times \frac{86400 s}{1 día} \times \frac{1 kg}{1000000 mg} = \frac{86400}{1000000} = 0.0864 \frac{kg}{día}$$

Una vez obtenidos los valores de concentraciones con respecto a DBO, DQO y caudal promedio en el efluente del tratamiento primario y secundario, se procede al cálculo del aporte de carga orgánica que es liberada al río Cacaúlí. Se consideró un valor promedio de evaporación anual de 2000mm para el municipio de Somoto, obtenido del registro histórico de INETER (2002).

5.7.2 Determinación de carga superficial máxima

Para la determinación de la carga superficial orgánica se aplicaran modelos basados en la cinética del proceso, es necesario conocer la carga superficial máxima que se puede aplicar a lagunas facultativas, y así evitar que se vuelvan anaerobias, se describe a continuación los tres modelos que se analizaron en esta investigación para determinar carga orgánica, a continuación se describen:

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

El CEPIS, a través de los estudios conducidos por Yáñez, propone que esa carga superficial máxima (C_{sm}) se puede estimar a partir de:

$$C_{sm} = 357.4 * 1.085^{T-20} \quad \text{(Ecuación 5. 5)}$$

Donde:

T: la temperatura de la laguna, en °C, en el mes más frío.

En diferentes lugares, en diferentes estudios, se ha encontrado que la temperatura del agua en la laguna es de entre 3 hasta 6 °C mayor que la temperatura ambiente.

▪ Carga orgánica superficial aplicada real

Se adquiere mediante los valores de concentración obtenidos a través de los parámetros de DBO, DQO, caudal promedio y el área de real de las lagunas. De tal forma, se expresa en la ecuación 5.6:

$$C_{sa} = \frac{\text{Concentración x Caudal}}{\text{Área Laguna}} \quad \text{(Ecuación 5. 6)}$$

▪ Remoción esperada de materia orgánica

Se calcula mediante la ecuación Yáñez – CEPIS (1980):

$$C_{sm} = 7,67 + 0,8063 * C_{Sa} \quad \text{(Ecuación 5. 7)}$$

Donde:

C_{Sa} = Carga orgánica superficial a aplicar.

5.7.2.2 Método de McGarry & Pescod

McGarry & Pescod (1970) proponen que la carga superficial máxima se determine así:

$$C_{sm} = 10,35 + 0,725 * C_{Sa} \quad \text{(Ecuación 5. 8)}$$

5.7.2.3 Método de Mara & Silva

Según Mara & Silva (1969) la carga orgánica máxima permisible, expresada en (kg DBO5/Ha/día) aplicada a una laguna facultativa a la temperatura del aire media mensual mínima del mes mas frio se determina con la siguiente ecuación:

$$C_{sm} = 2 + 0,79 * C_{Sa} \quad \text{(Ecuación 5. 9)}$$

5.7.2.4 Método por correlación de Kawai

Se interpreta mediante la ecuación empleada en 1981 para el cálculo de este modelo estadístico:

$$C_{sm} = 0,2243 + 0,8332 * C_{Sa} \quad \text{(Ecuación 5. 10)}$$

5.7.2.5 Método de la Carga Orgánica Superficial por Radiación Solar

El método más apropiado para el diseño de lagunas facultativas es el de la carga orgánica superficial, lo que depende sobre la cantidad de oxígeno producido por las algas en la laguna por la siguiente ecuación balanceada de fotosíntesis (Rittmann y McCarty, 2001):

Radiación Solar



La energía del sol requerida para producir un kilogramo de celdas de algas es de 24,000 kilo Joules (kJ) (Rittmann y McCarty, 2001). De la energía solar que radia la superficie de una laguna facultativa, solamente un porcentaje es utilizado por las algas como resultado de su eficiencia de conversión; la eficiencia de conversión varia entre las especies de algas y el rango ha sido reportado de 2 a 7% (Arceivala, et al., 1970).

Se puede combinar la ecuación de fotosíntesis con la conversión de energía a celdas de algas y la eficiencia de conversión de energía solar por las algas para dar la siguiente ecuación de carga superficial máxima:

$$C_{sm} = \frac{\left(\text{Radiación Solar, } \frac{\text{kJ}}{\text{ha}} - \text{ día} \right) * (\text{Eficiencia de Conversión}) * (1.55 \text{ kg O}_2 / \text{kg algas})}{24,000 \text{ kJ/kg algas producidas}}$$

(Ecuación 5. 11)

Donde:

C_{Sm} = carga máxima superficial orgánica, kg O₂/ha-día.

Utilizando una eficiencia de 3% de la conversión de energía solar por las algas, lo que da un factor de seguridad (Rittmann y McCarty, 2001), la Ecuación 4.8 reduce a la siguiente:

$$C_{Sm} = (1.937E - 06) \times (RS)$$

Donde:

RS = la radiación solar mínima diaria del año expresada como el promedio del mes, kJ/ha-día.

5.8 Determinación de concentración de DBO₅ en el afluente

$$L_0 = \frac{\text{Carga total organica}}{\text{caudal de diseño}} = \frac{\text{mg DBO}_5}{\text{lt.}} \quad \text{(Ecuación 5. 12)}$$

5.9 Determinación de las eficiencias en el STAR

Para la determinación de la eficiencia en remoción de materia orgánica en el tanque Imhoff, se utilizara la ecuación recomendada por Gámez (2009):

$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{\text{Afluente} - \text{Efluente}}{\text{Afluente}} * 100 \quad \text{(Ecuación 5. 13)}$$

A través de la ecuación 5.13, se obtiene la eficiencia en el afluente y efluente del tratamiento secundario por cada laguna, donde se obtienen valores representativos en función de DBO₅ y DQO.

5.10 Regulaciones ambientales

Se realizaron los análisis para verificar el cumplimiento del efluente con los parámetros de calidad de vertido provenientes de los sistemas de tratamientos de acuerdo al Arto. 23 y el Arto. 57 establecido en el Decreto 33-95.

A continuación se presentan los rangos y límites máximos permisibles que debe de cumplir el efluente para una población menor de 75,000 habitantes, solo se incluyen los parámetros que fueron previamente establecidos en la investigación:

Tabla 5. 5: Límites máximos permisibles para poblaciones menores a 75000 habitantes

Parametros	Rangos y limites maximos permisibles promedio diario
PH	6-9
Sólidos Suspendidos Totales (mg/1)	100
Sólidos Sedimentos (m/1)	1.0
DBO(mg/1)	110
DQO(mg/1)	220

Fuente: Decreto 33 – 95



CAPÍTULO VI. RESULTADOS

“Salva el agua y ella te salvará a ti”.
s.f.

CAPÍTULO VI. RESULTADOS

6.1 Aporte, distribución y variación de caudales

En la tabla 6.1, se muestran los resultados del aforo de caudales efectuados durante 24 horas obteniéndose caudales máximos, medios y mínimos que ingresan como afluente y egresan como efluente del STAR para cada día durante 10 días no consecutivos.

Tabla 6. 1: Registro de medición de caudales

Hora	Afluente (Canaleta Parshall)		Efluente (Agua Tratada)			A. Canal (m)
	H (cm)	Caudal (L/s)	Tirante (m)	Velocidad (m/s)	Caudal (L/s)	
6:00:00	13	7,50	0,03	0,4	6,36	0,53
7:00:00	17	11,36	0,03	0,3	4,77	
8:00:00	16	10,35	0,03	0,4	6,36	
9:00:00	14	8,41	0,03	0,3	4,77	
10:00:00	14	8,41	0,03	0,3	4,77	
11:00:00	15	9,36	0,03	0,4	6,36	
12:00:00	15	9,36	0,03	0,4	6,36	
13:00:00	14,5	8,88	0,03	0,3	4,77	
14:00:00	14	8,41	0,03	0,4	6,36	
15:00:00	14	8,41	0,03	0,4	6,36	
16:00:00	14	8,41	0,03	0,4	6,36	
17:00:00	13	7,50	0,03	0,3	4,77	
18:00:00	13	7,50	0,03	0,4	6,36	
19:00:00	12	6,62	0,03	0,4	6,36	
20:00:00	11	5,79	0,03	0,3	4,77	
21:00:00	11	5,79	0,03	0,4	6,36	
22:00:00	10	4,99	0,03	0,4	6,36	
23:00:00	8	3,53	0,03	0,4	6,36	
0:00:00	6	2,26	0,03	0,4	6,36	
1:00:00	4	1,21	0,03	0,3	4,77	
2:00:00	3	0,77	0,03	0,3	4,77	
3:00:00	4	1,21	0,03	0,3	4,77	
4:00:00	7	2,87	0,03	0,3	4,77	
5:00:00	9	4,24	0,03	0,4	6,36	
	Caudal afluente	551,33 m³/ día		Caudal efluente	492,26 m³/día	

Dentro de la tabla 6.1 se ejemplifica los resultados obtenidos al final de cada jornada (24 horas), por lo que se presenta como referencia del primer día de aforo los valores de los caudales máximos, medios y mínimos en el afluente y efluente.

A través de los aforos se procede a la interpretación de los histogramas de los caudales máximos, medios y mínimos, para conocer el comportamiento del afluente general del sistema, así mismo, la variación que existe en el efluente general del STAR:

Gráfico 6. 1: Caudales máximos, medios y mínimos en el afluente

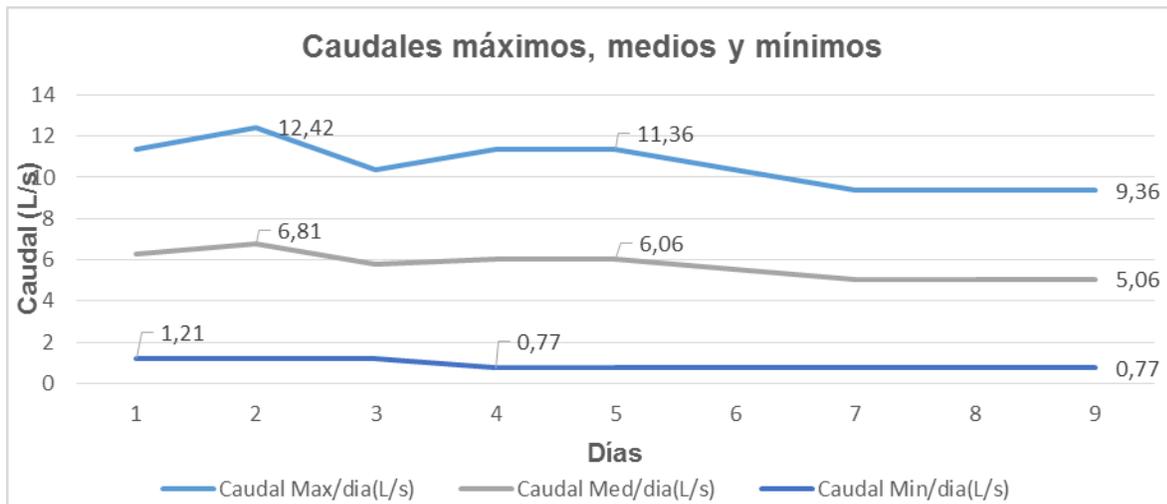
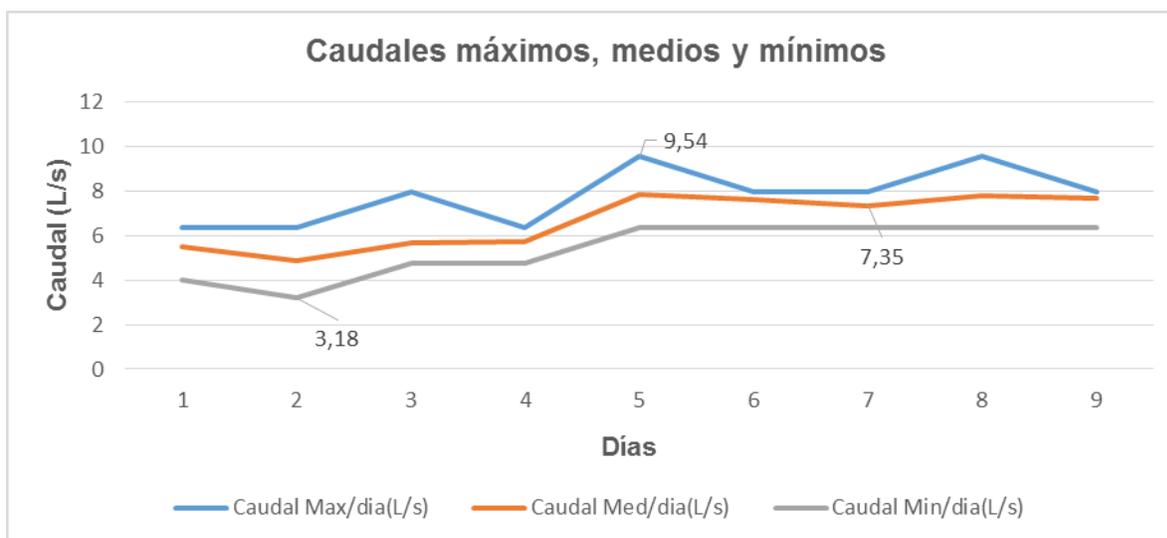


Gráfico 6. 2: Variación de promedio en el efluente general del STAR



De acuerdo a la interpretación de los gráficos 6.1 y 6.2, se visualiza los caudales en el afluente procedente del alcantarillado sanitario, conociendo las horas de mayor y menor demanda; en el caso de las horas de mayor demanda se registró un periodo de intervalos 07:00 a.m. –09:00 a.m, sin embargo de acuerdo al seguimiento de la variable caudal el pico se registra a las 08:00 a.m, esto debido a que la población inicia sus labores domésticas y cotidianas (bañarse, uso de servicio higiénico, lavado de traste, ropa, entre otros).

En el caso de las horas de menor demanda se comprende en un periodo entre (00:00 a.m. – 05:00 a.m.), donde la actividad domestica particular se reduce al máximo. Por lo contrario, en el efluente se registraban variaciones mínimas de caudal, con respecto al afluente debido a que el sistema lagunar presenta la particularidad de la evaporación y posiblemente la infiltración.

El incremento del volumen en el afluente no se encuentra relacionado con las horas de mayor demanda de AP, es decir el tiempo recorrido de las aguas a través de las redes de alcantarillado sanitario depende de la distancia que existe desde los usuarios hasta el STAR, por lo tanto los tiempos picos de consumo no coinciden. El caudal percapita varía entre 5.38 ± 7.77 (L/s) con un promedio de 6.67, los aportes de caudal son mucho más altos que los asumidos por diseñadores que proyectaron el STAR considerando un caudal promedio de diseño de 5.83 L/s.

La razón del aumento del caudal son las siguientes:

- Crecimiento de las conexiones ilegales al alcantarillado sanitario.
- Infiltraciones al alcantarillado sanitario.
- Desperdicios de agua por parte de la población.
- Conexiones de la industria de rosquillas artesanales.

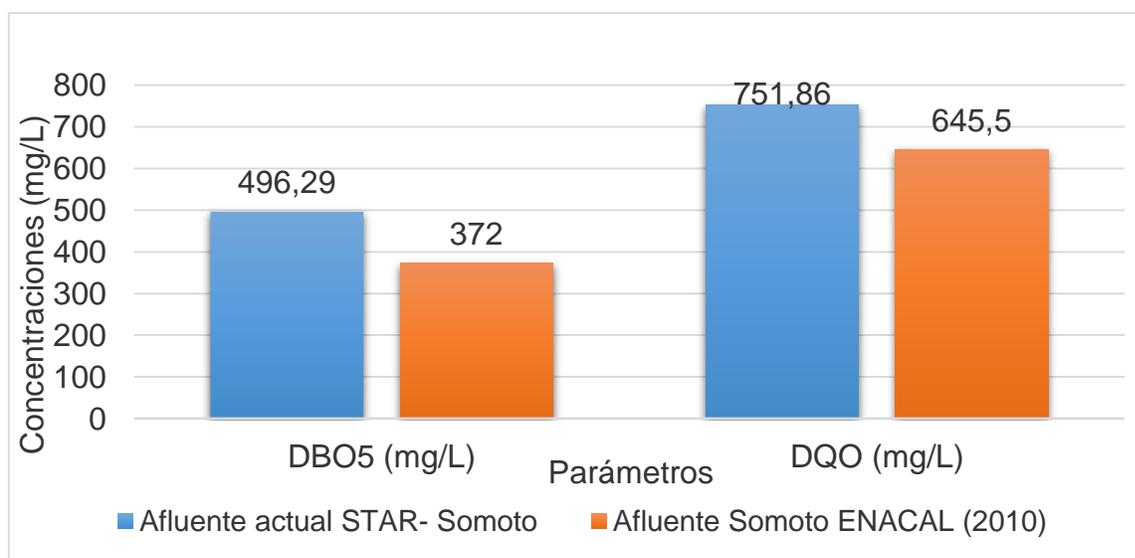
Los resultados adquiridos a través de los monitoreos en la medición de caudales dan a conocer como consecuencia la variación que existe en cada hora como toma de muestra en el afluente y efluente, (Ver Anexo N° 1).

6.2 Resultados de análisis físicos – químicos del STAR

A continuación en la tabla 6.2 se presentan los promedios de los análisis físicos – químicos obtenidos en el laboratorio central de ENACAL en Managua, a partir de los muestreos compuestos y simples realizados al STAR en 7 monitoreos comprendidos desde el 22 de abril del 2016 hasta el 20 de mayo 2016. (Ver Anexo N°4).

Las concentraciones encontradas en el afluente son coincidentes con las reportadas por ENACAL (2010), ver gráfico 6.3.

Gráfico 6. 3: Concentraciones de DBO₅ y DQO en afluentes de STAR



Como se observa en el gráfico 6.3 las concentraciones de DBO₅ y DQO en el afluente monitoreadas por ENACAL (2010) y el actual, se observa el aumento en las concentraciones esto producto del aumento del número de personas conectadas a la red de alcantarillado sanitario.

Por otra parte, se debe de tomar en cuenta el factor ambiental y su influencia en las concentraciones para el caso del monitoreo actual realizado en época de verano y por esta razón las concentraciones aumentan con respecto a las monitoreadas por ENACAL (2010) tomadas en invierno.

Los resultados promedios analizados en campo y laboratorio se resumen a continuación en la tabla 6.2:

Tabla 6. 2: Resultados promedios del monitoreo de muestras

Promedio de monitoreos				
Fecha	21 Abril del 2016 -- 20 de Mayo del 2016			
Parámetros	Entrada General STAR	Salida Tanque Imhoff	Salida Laguna Primaria	Salida General STAR
pH	8,23	8,17	7,89	8,06
Temperatura (°C)	27,52	27,16	21,96	19,38
Conductividad µs/cm	1334,03	1361,01	1316,00	1305,43
Sólidos sedimentables mg/L	8,69	0,51	0	0
Sólidos suspendidos totales mg/L	460,86	287,86	418,14	252,71
DBO ₅ mg/L	496,29	362,14	186,43	106,29
DQO mg/L	751,86	530,36	418,29	355,36

Los análisis de resultados adquiridos en el campo como (pH, Temperatura, Conductividad eléctrica y Sólidos sedimentables se muestran en los anexos, (Ver Anexo N°2).

El valor promedio de la relación de **DQO/DBO₅** o índice de biodegradabilidad de las aguas residuales municipales de Somoto en el afluente, no sometidas a tratamientos fue de **0.66**, coincidiendo con los estudios realizados por Crites & Tchobanoglous (2000), después de la sedimentación en el tanque Imhoff la relación se modifica a **0.60**, valor que está en los rangos de 0.4 a 0.70 de la investigación antes citada. De igual forma, el valor promedio en el efluente general fue de **0.30**, valor estimado entre el rango de 0.1 a 0.3.

Se interpretan que cuando se encuentra una relación de 0.3 el vertimiento contiene altas cargas orgánicas y compuestos tóxicos, como se observa en el gráfico 6.3:

Gráfico 6. 4: Índice de biodegradabilidad para afluente



Como se puede apreciar en el gráfico 6.4 la relación DBO_5/DQO es superior a 0.5, de estos resultados se analizan que el vertido es de naturaleza urbana y muy biodegradable.

6.3 Determinación del periodo de retención

En primer término, es importante recalcar que el período de retención es fundamental en la reducción de carga orgánica y patógenos; el valor teórico obtenido corresponde a cuatro días (4 días) en el caso de la laguna primaria, en la laguna secundaria se obtuvo un valor de nueve días (9 días), tiempo que se encuentra dentro del rango recomendado en la literatura especializada (de siete a diez días) para lagunas facultativas.

La eficiencia de las lagunas facultativas es relacionada a la temperatura y el tiempo de retención hidráulica, como se ve en la tabla 6.3:

Tabla 6. 3: Relación entre Temperatura, Tiempo de Retención Hidráulica y Eficiencia en Lagunas facultativas

Temperatura, °C	TRH, días	Remoción de DBO, %
10-15	4-5	30-40
15-20	2-3	40-50
20-25	1-2	50-60
25-30	1-2	60-80

Fuente: Yáñez (1992).

En la tabla 6.3, se presenta la relación que existe entre T°, TRH, % DBO₅ para el caso de la investigación se obtiene una temperatura promedio de 24 °C, un tiempo de retención teórico de 4 días en la laguna primaria y una remoción del 48 % por lo que se establece la relación obtenida en remoción de DBO₅ con el rango establecido por Yáñez (1992).

El mismo análisis se realizó para el caso de la laguna secundaria donde obtuvo un valor de temperatura promedio de 21°C, un tiempo de retención teórico de 9 días y una remoción de DBO₅ del 43%, la analogía aplicada para este caso es que no se alcanzan las remociones esperadas por la mala operación y funcionamiento de la laguna primaria que afecta directamente a la secundaria.

De acuerdo a interpretaciones en el capítulo III, acápite 3.1.6.3 en el caso de las lagunas primaria y secundaria la colmatación afectan los periodos de retención hidráulicos por lo que las eficiencias de remoción no son las esperadas. Los resultados de los periodos de retención se muestran en los anexos, (Ver Anexo N°5).

El tiempo de retención hidráulico teórico para el sistema es menor como resultado del incremento de los caudales por lo que no se cumple con las recomendaciones de la OMS/OPS de 10 días mínimos para remover huevos de helmintos en lagunas facultativas (Mara & Cairncross, 1989).

6.4 Determinación de la carga orgánica

Los resultados obtenidos a través de los monitoreos se demuestran por cada fase de tratamiento con respecto a la carga orgánica y concentraciones de DBO₅ en los anexos, (Ver Anexo N°6).

6.5 Determinación de la carga orgánica total

Tabla 6. 4: Carga orgánica total a tratar en función de DBO₅

Carga orgánica total en efluente por cada unidad de tratamiento con respecto a DBO			
Unidad de tratamiento	Concentración (mg/L)	Caudal Promedio (L/s)	Carga orgánica total
Tanque Imhoff	362,14	6,67	209 Kg. DBO5/día
Laguna primaria	186,43	6,4032	103 Kg. DBO5/día
Laguna secundaria	106,29	6,147072	56 Kg. DBO5/día
COT			368 Kg. DBO5/día

Tabla 6. 5: Carga orgánica total a tratar en función de DQO

Carga orgánica total en efluente por cada unidad de tratamiento con respecto a DQO			
Unidad de tratamiento	Concentración (mg/L)	Caudal Promedio (L/s)	Carga orgánica total
Tanque Imhoff	530,36	6,67	306 Kg/día
Laguna primaria	418,29	6,4032	231 Kg/día
Laguna secundaria	355,36	6,147072	189 Kg/día
COT			726 Kg/día

6.6 Determinación de carga máxima superficial

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

En estos modelos estadísticos, para lagunas facultativas primarias, se predice la carga superficial removida conociendo la carga superficial aplicada. La discrepancia en los

resultados varía entre los 15 y 25 Kg DBO₅/Ha-día removidos, siendo la del CEPIS la que predice mayores eficiencias en la remoción de la DBO₅, hasta del 85%.

Tabla 6. 6: Carga superficial máxima

Carga orgánica superficial máxima (Csm)	
Método de (CEPIS), Yánez (1992)	T° mes más frío
Carga máxima superficial laguna primaria	21 °C
388 kg. DBO ₅ / Ha-día	

- **Carga orgánica superficial máxima aplicada real**

Tabla 6. 7: Carga orgánica a aplicar

Carga orgánica superficial aplicada real (Csa)
525,11 kg. DBO ₅ / Ha-día

- **Remoción esperada de materia orgánica**

Tabla 6. 8: Remoción esperada de materia orgánica

Remoción esperadas de materia orgánica
Yánez – CEPIS
431 kg. DBO ₅ / Ha-día

6.6.2 Método de McGarry & Pescod

Tabla 6. 9: Método de McGarry & Pescod

Método de McGarry & Pescod
Carga maxima superficial laguna primaria
391,1 kg. DBO ₅ / Ha-día

6.6.3 Método por correlación de Kawai

Tabla 6. 10: Método por correlación de Kawai

Método por correlación de Kawai
438 kg. DBO5/ Ha-día

6.6.4 Método de Mara & Silva

Tabla 6. 11: Correlación Mara & Silva

Método por correlación de Mara & Silva
417 kg. DBO5/ Ha-día

De acuerdo a los valores obtenidos en cada uno de los métodos estadísticos antes descritos, para la determinación de carga máxima superficial, se encuentran ligeras diferencias por lo que de acuerdo a Gámez (2010), se debe hacer un promedio de las correlaciones.

En el caso de la carga orgánica para la laguna primaria calculada por los métodos de correlaciones antes expuestos, presenta un valor promedio de 280 kg. DBO5/ Ha-día, durante el cálculo de la correlación por el método de Kawai es de 438 kg. DBO5/ Ha-día que es la remoción de carga orgánica más alta y la menor remoción la dio la correlación McGarry & Pescod 391,1 kg. DBO5/ Ha-día en el caso de la laguna primaria.

A fin de explicar la tarea de verificar la remoción de carga orgánica como base a las lagunas primarias por Armando Cubillos (2001), afirma que para la obtención de las remociones de materia orgánica se deberán de obtener a través de una eficiencia promedio de las correlaciones de: Yáñez – CEPIS, McGarry & Pescod, Kawai, Mara & Silva por ser las correlaciones más estudiadas para países del trópico seco. La eficiencia remocional es del 80% de la DBO₅ soluble en el caso de la laguna primaria.

A través de la correlación Yánez – CEPIS se determinó la carga máxima superficial para la laguna secundaria, a continuación la tabla 6.12:

Tabla 6. 12: Carga máxima superficial en laguna secundaria

Carga organica superficial máxima (Csm)	
Método de (CEPIS), Yánez (1992)	T° mes mas frío
Carga maxima superficial laguna secundaria	21 °C
388 kg. DBO5/ Ha-día	

Tabla 6. 13: Carga orgánica aplicada real

Carga orgánica superficial aplicada real (Csa)
299,38 kg. DBO5/ Ha-día

Tabla 6. 14: Remoción materia orgánica

Remoción esperadas de materia orgánica
Yánez - CEPIS
249 kg. DBO5/ Ha-día

Tabla 6. 15: Correlación McGarry & Pescod

Método de McGarry & Pescod
Carga maxima superficial laguna secundaria
227,4 kg. DBO5/ Ha-día

Tabla 6. 16: Correlación de Kawai

Método por correlación de Kawai
250 kg. DBO5/ Ha-día

Tabla 6. 17: Correlación Mara & Silva

Método por correlación de Mara & Silva
239 kg. DBO5/ Ha-día

Tabla 6. 18: Remoción esperada a través de las correlaciones

Promedio de remociones
241 kg. DBO ₅ / Ha-día

Tabla 6. 19: Eficiencia de remoción de carga orgánica

Eficiencia de remoción de carga orgánica
81 %

En los resultados calculados en el efluente de la laguna secundaria obtuvimos una eficiencia de remoción de DBO₅ del 81%, dicho valor obtenido no es lo suficientemente eficiente en comparación con los rangos máximos permisibles del Decreto 33-95 para el vertido de este. La relación entre la remoción eficiente en efluentes dentro del país y en países centroamericanos tiene el mismo comportamiento con respecto a las normativas.

6.6.5 Método de la Carga Orgánica Superficial por Radiación Solar

La radiación solar puede tener un efecto directo e indirecto sobre el decaimiento bacteriano. El efecto indirecto es que las algas crecen más rápidamente mientras mayor sea la intensidad de la luz, por sí solo, el aumento del número de algas es importante para el decaimiento bacteriano.

El efecto directo es la formación de sustancias tóxicas de oxígeno causadas por la luz, se ha demostrado que las sustancias húmicas, comunes en el desagüe y en las lagunas de estabilización, absorben luz solar, pasan esta energía al oxígeno y originan formas tóxicas de oxígeno que dañan y destruyen a las bacterias en las lagunas.

Tabla 6. 20: Método de radiación solar

Carga Orgánica Superficial por el Método de Radiación Solar		
Insolación Solar en Una Superficie Horizontal, Promedio de 10 Años Somoto, Nicaragua Latitud 13.29 ° N; Longitud 86,35 ° W.		
Mes	KW - hrs/ m² – día	KJ/ ha – día
Enero	5,42	1,9512E+08
Febrero	6,24	2,2464E+08
Marzo	7,11	2,5596E+08
Abril	7,11	2,5596E+08
Mayo	5,98	2,1528E+08
Junio	4,63	1,6668E+08
Julio	4,59	1,6524E+08
Agosto	4,63	1,6668E+08
Septiembre	5,05	1,8180E+08
Octubre	5,05	1,8180E+08
Noviembre	4,58	1,6488E+08
Diciembre	4,84	1,7424E+08

Fuente: NASA (<https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi>)

Los datos del sitio de NASA de insolación solar en una superficie horizontal en kW hrs/ m²-día, lo que se cambia a unidades de kJ/ha-día por el factor de conversión de 1 kW-hrs/m²-día es igual a= **3,60E+07**.

Tabla 6. 21: Insolación Solar y Carga Superficial Máxima

Insolación Solar y Carga Superficial Máxima, CSM			
Somoto, Nicaragua Latitud 13,29 ° N; Longitud 86,35 ° W.			
Mes	KJ/ ha – dia	Eficiencias de Algas	Csm (Kg O²/ ha - dia)
Enero	1,9512E+08	0,03	377,95
Febrero	2,2464E+08	0,03	435,13
Marzo	2,5596E+08	0,03	495,79
Abril	2,5596E+08	0,03	495,79
Mayo	2,1528E+08	0,03	417,00
Junio	1,6668E+08	0,03	322,86
Julio	1,6524E+08	0,03	320,07
Agosto	1,6668E+08	0,03	322,86
Septiembre	1,8180E+08	0,03	352,15
Octubre	1,8180E+08	0,03	352,15
Noviembre	1,6488E+08	0,03	319,37
Diciembre	1,7424E+08	0,03	337,50
Carga máxima superficial promedio			379,05

6.7 Determinación de concentración de DBO₅ en el afluente

Tabla 6. 22: Carga orgánica aplicada en afluente

Carga orgánica aplicada		
Unidad de tratamiento	C. Orgánica aplicada	Concentración de DBO₅ aplicada
Tanque Imhoff	246 Kg. DBO ₅ /día	496 mg DBO ₅ /lt
Laguna Primaria	180 Kg. DBO ₅ /día	362 mg DBO ₅ /lt
Laguna Secundaria	71 Kg. DBO ₅ /día	144 mg DBO ₅ /lt

Los resultados obtenidos por cada fase de tratamiento en el desarrollo de los monitoreos se presentan en los anexos, (Ver Anexo N°7).

6.8 Determinación de las eficiencias en el STAR

Tabla 6. 23: Eficiencias en el afluente y efluente general del STAR

Eficiencia general en el STAR-Somoto en función de la DBO₅ Y DQO			
Parámetro	Afluente	Efluente	Eficiencia de DBO₅ y DQO
DBO ₅ mg/L	496 mg/L	106 mg/L	79 %
DQO mg/L	752 mg/L	355 mg/L	53 %

De acuerdo a los análisis de resultados alcanzados en los monitoreos, evaluando la eficiencia de remoción de carga orgánica en el afluente y efluente se conoce que la DBO₅ se deriva en dos mecanismos; DBO₅ particulada removiéndose por efectos de la sedimentación y DBO₅ soluble que se reduce mediante oxidación bacteriana, por ello esta reducción depende del tiempo de retención y la temperatura.

De igual forma, se obtuvo un valor promedio de DBO₅ en el afluente de 496 mg/L con una temperatura promedio de 27.52°C y en efluente un valor promedio de 106 mg/L con una temperatura promedio de 19.38°C, adquiriendo un valor de remoción eficiencia de DBO₅ del 79%. Dentro de los períodos de retención teóricos el sistema cuenta con un tiempo de 13.25 días.

También, conocimos el resultado de DBO₅ soluble en el efluente con un valor de 17 kg DBO₅ sol/día.

A través de los resultados adquiridos en el cálculo de la carga superficial aplicada real (ecuación 5.6) en el tratamiento secundario, se obtiene una eficiencia puntual en el efluente de cada una de las lagunas. Como se observa en la tabla 6.24:

Tabla 6. 24: Eficiencias en el efluente de cada laguna por carga superficial aplicada real en función de DBO₅.

Eficiencias del STAR por carga superficial aplicada real (Csmreal) en DBO₅			
Laguna primaria		Laguna secundaria	
Afluente	1020 Kg/Ha-día	Afluente	203 Kg/Ha-día
Efluente	525 Kg/Ha-día	Efluente	115 Kg/Ha-día
Eficiencia	49 %	Eficiencia	43 %

Tabla 6. 25: Eficiencias en el efluente de cada laguna por carga superficial máxima real en función de DQO.

Eficiencias del STAR por carga superficial máxima real (Csmreal) en DQO			
Laguna primaria		Laguna secundaria	
Afluente	1494 Kg/Ha-día	Afluente	454 Kg/Ha-día
Efluente	1178 Kg/Ha-día	Efluente	386 Kg/Ha-día
Eficiencia	21 %	Eficiencia	15 %

Los resultados de las eficiencias por cada unidad de tratamiento se describen en el anexo N°7.

De acuerdo a la elaboración del manual de operación y mantenimiento en dicha investigación con el objetivo de mejorar la calidad en el funcionamiento del STAR-Somoto, se muestra en el capítulo VIII.

6.9 Regulaciones ambientales

Tabla 6. 26: Resultados DBO₅ vs Decreto 33-95 en cada fase de tratamiento

Decreto 33-95 vs DBO₅ STAR							
Parámetros	Días de monitoreo						
	1	2	3	4	5	6	7
DBO Tanques Imhoff (mg/L)	241	293	218	417	613	357	396
Laguna primaria DBO ₅ (mg/L)	114	142	133	160	152	169	137
DBO ₅ en el efluente general (mg/L)	100	148	116	92	101	100	87
Decreto 33-95 (mg/L)	110	110	110	110	110	110	110

De acuerdo a los análisis de resultados de DBO₅ obtenidos por cada fase de tratamiento antes contemplados en la tabla 5.16, podemos observar a continuación en el grafico 6.5 el comportamiento de acuerdo al Decreto 33-95, lo que nos indica el cumplimiento en la mayoría de los días monitoreados, en el caso del segundo día de monitoreo este parámetro con respecto a la normativa no cumple, producto de la limpieza o purgación del desarenador en la fase tratamiento preliminar que se da a través de la agitación de los sólidos sedimentados liberando el material orgánico atrapado por la arena, donde se obtuvo un incremento de carga orgánica con un valor de 148 mg/L.

Gráfico 6. 5: Concentraciones de DBO₅ en el efluente general vs Decreto 33-95

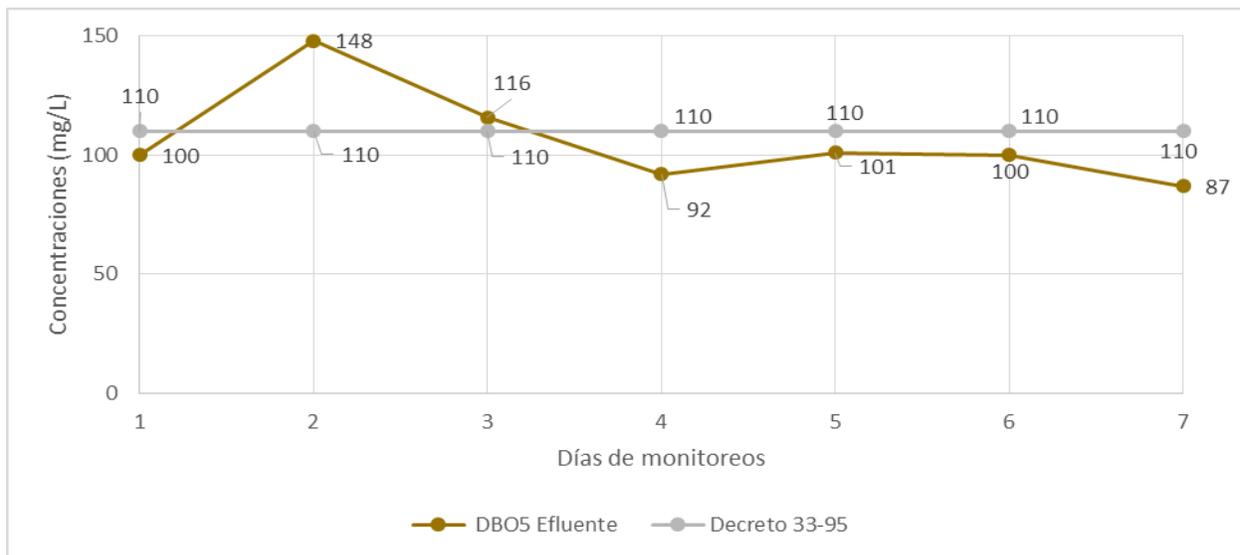
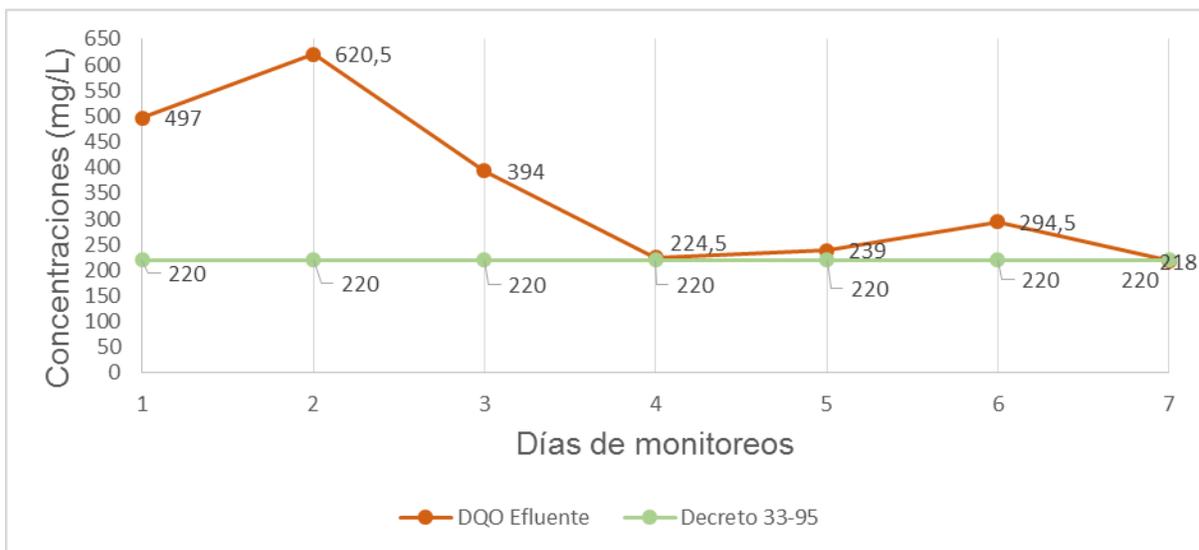


Tabla 6. 27: Resultados DQO vs Decreto 33-95 en cada fase de tratamiento

Decreto 33- 95 vs DQO STAR							
Parámetros	Días monitoreados						
	1	2	3	4	5	6	7
DQO Tanques Imhoff (mg/L)	255,5	624	549	526	594	608	556
DQO SLP (mg/L)	445	464	416	361	414,5	467	360,5
DQO Efluente (mg/L)	497	620,5	394	224,5	239	294,5	218
Decreto 33-95 (mg/L)	220	220	220	220	220	220	220

De igual forma, en el análisis de la DQO por cada fase de tratamiento comprendido en siete monitoreos no consecutivos en temporada seca, se evaluó el comportamiento de este parámetro con respecto a la normativa, donde existe un incumplimiento en la mayoría de los días monitoreados. Dentro de estos resultados se produjo un incremento de carga orgánica en el segundo día con un valor de 620.5 mg/L en el efluente general, producto de la limpieza o purgación en la fase de tratamiento preliminar antes descrita, a continuación en el grafico 5.6 podemos observar la variación de DQO en los siete monitoreos:

Gráfico 6. 6: Concentraciones de DQO por cada en el efluente general vs Decreto 33-95



Por lo contrario, los resultados promedios de algunos parámetros como: potencial de hidrogeno (pH) y sólidos sedimentables (SS) evaluados en el efluente e interpretados a través del decreto 33-95 se presentan dentro de los rangos permitidos por este, como se observa en la tabla 6.28:

Tabla 6. 28: Resultados promedios analizados en el efluente vs Decreto 33-95

Análisis de resultados del efluente general vs Decreto 33-95			
Parámetros	Efluente	Decreto 33-95 (Pob. Menor a 75000)	Observación
pH	8,05	6-9	Cumple
Sólidos sedimentables	0 mg/L	1 mg/L	Cumple
Sólidos suspendidos totales	253 mg/L	100 mg/L	No cumple
DBO ₅	106 mg/L	110 mg/L	Cumple
DQO	355 mg/L	220 mg/L	No cumple

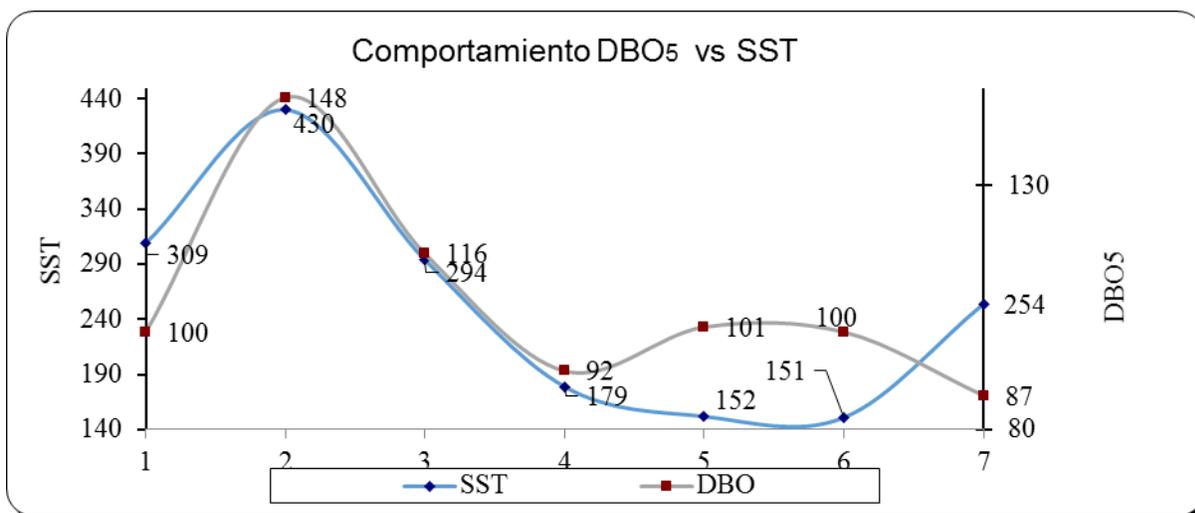
En el caso de los sólidos suspendidos totales (SST) existe un incremento con respecto a la normativa, donde se obtuvo un valor promedio de **253 mg/L**, que no son sedimentados rápidamente por tamaño, aproximadamente menos de (0.01 mm), los cuales son transportados gracias a la acción de arrastre y soporte del movimiento del agua.

A continuación en la tabla 6.29 se demuestran los valores obtenidos en la DBO₅ y SST adquiridos en el efluente basado en los siete monitoreos no consecutivos antes descritos, así mismo, la representación en la gráfica 6.7 del comportamiento de ambos parámetros por estar directamente vinculados:

Tabla 6. 29: DBO₅ vs SST en el efluente general del STAR

Salida General STAR							
Parámetros	Días monitoreados						
	1	2	3	4	5	6	7
DBO ₅	100	148	116	92	101	100	87
SST	309	430	294	179	152	151	254

Gráfico 6. 7: Comportamiento de DBO₅ vs SST en el efluente

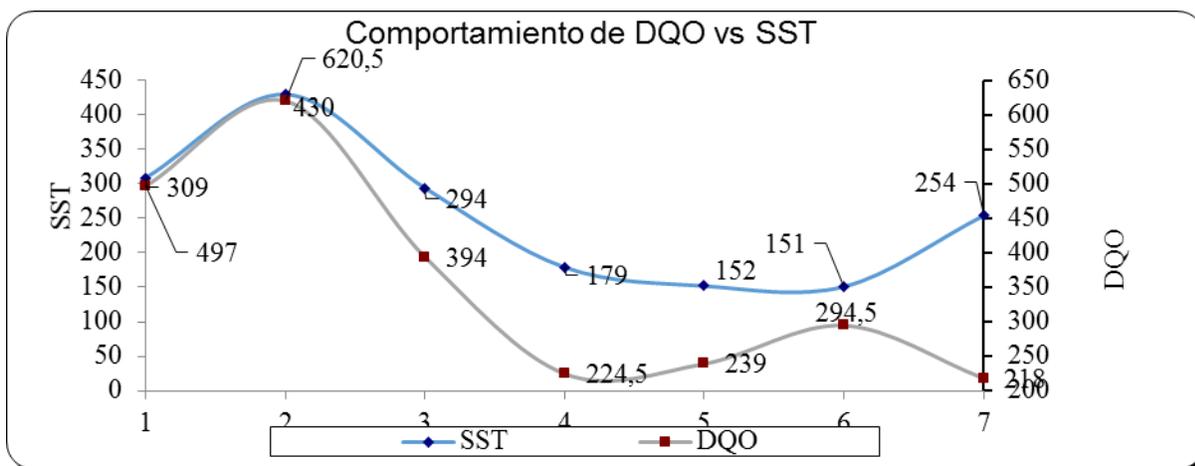


De igual forma, el comportamiento que se obtuvo a través de la DQO y SST en el efluente general del STAR, a continuación se reflejan los resultados en la tabla 6.28 y su representación en la gráfica 6.8:

Tabla 6. 30: DQO vs SST en el efluente del STAR

Salida general STAR Somoto							
Parámetros	Días de monitoreo						
	1	2	3	4	5	6	7
DQO	497	620,5	394	224,5	239	294,5	218
SST	309	430	294	179	152	151	254

Gráfico 6. 8: Comportamiento de DQO vs SST en el efluente



Considerando el análisis de la información que se presenta, se observa que en el segundo muestreo es el que alcanza mayores concentraciones de materia orgánica este hecho tiene su explicación en el purgado del desarenador por lo que se da un aumento en la materia orgánica, además que con este comportamiento se observó que la biodegradabilidad aumenta por causa de los incrementos en el sustrato.



CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

“Desperdicia hoy. Vive en desierto mañana”. *Robinson Villanueva.*

CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Como resultado de la evaluación en el STAR- Somoto, se determinó la variación de caudal en el afluente y efluente general del sistema, comprendido en 9 aforos no consecutivos de 24 horas y uno de 12 horas realizados desde 14 de marzo al 20 de mayo del 2016, registrando fluctuaciones de caudales para afluente general de 0.92 ± 10.58 L/s, un caudal medio promedio de 5.75 L/s; así como para el efluente se registraron valores de caudal promedios de 7.77 L/s, 6.66 L/s y 5.39 L/s, de este análisis se deduce que el caudal máximo de diseño del sistema era 5.83 L/s, y los registrado exceden este rango, lo que provoca que exista una sobre carga hidráulica en el sistema en algunos periodos del día.

En el caso de la determinación del funcionamiento operacional de las lagunas basadas en el periodo de retención teórico y cargas aplicadas, se obtuvieron los tiempos de retención; en los tanques Imhoff de 0.42 días (10 horas), en la laguna primaria de 3.61 días y en la laguna secundaria de 9.22 días, a través de estos cálculos concluimos que el STAR cuenta con un tiempo de retención total de 13.25 días.

El propósito principal del período de retención hidráulica es la remoción de los patógenos; también el de mejorar la calidad del efluente en términos de DBO por lo que también contribuye a la remoción de patógenos a través del largo período de retención hidráulica típico que de acuerdo a los resultados es corto, dando como resultados una disminución en la sedimentación de huevos de helmintos, y la baja mortalidad de bacteria causado por el tiempo de retención hidráulica. El tiempo de retención hidráulica nominal, para el sistema de Somoto, es menor como resultado del incremento de los caudales, no cumple con lo recomendado por Mara & Cairncross, 1989 y OMS de 10 días mínimas por laguna para remover huevos de helmintos en lagunas facultativas.

Las diferencias encontradas en los tiempos de retención hidráulica y carga orgánica superficial con respecto a las consideradas por el diseñador radican

fundamentalmente en las acciones de operación y mantenimiento ofrecidas por el ente encargado. La mala administración de la cobertura de servicio, las condiciones de colección y transporte del sistema de alcantarillado sanitario, y el deficiente servicio de agua potable redundaron en bajos caudales entrando al sistemas, en algunas horas durante los aforos.

También, la mala administración para controlar la cobertura, y el mal monitoreo y control de catastro y tipo de usuarios, redundo en altos caudales entrando al sistema en las horas de mayor demanda al servicio de agua potable. No se puede dejar por alto la falta de monitoreo del sistema, especialmente lo referente a caudales, cargas, y acumulación de lodos.

Por lo contrario, el funcionamiento del sistema se ve afectado por la deficiente operación en cada una de sus fases de tratamiento, en donde el tratamiento preliminar (rejas, desarenador y trampa de grasa) que evita la presencia de materiales flotantes, se encuentran totalmente saturado de solidos afectando a las unidades posteriores como el tanque Imhoff que se encuentra acumulado de lodos en el interior, este presenta solidos suspendidos de gran tamaño que debieron ser removidos en el pretratamiento, los cuales perjudican al tren de lagunas facultativas en serie (laguna primaria y secundaria), las cuales se encuentran con problemas nocivos que afectan su operación como es la acumulación de natas que producen olores desagradables que ayudan a la reproducción de insectos que intervienen en el proceso fotosintético de los microorganismos.

El exceso de materia orgánica en el efluente general del sistema afecta al rio Cacaulli, teniendo como efecto el agotamiento del oxígeno disuelto que está dado por la metabolización de la materia orgánica externa, por acción de las bacterias, reduciendo el nivel de oxigeno con la consecuente pérdida de la vida que se desarrolla naturalmente en el cuerpo receptor.

Para el caso de las cargas aplicadas se calcularon a través del promedio de las correlación de: Yáñez-CEPIS (1992); McGarry & Pescod (1970); Kawai y Mara & Silva (1969) para lagunas primarias con valor de 419 kg. DBO₅/ Ha-día, en el caso de las lagunas secundarias se calcularon mediante la correlación Yáñez-CEPIS (1992) obteniendo la carga orgánica promedio en el efluente de 241,16 Kg DBO₅/Ha-día.

De acuerdo a la estimación de las eficiencias puntuales por cada fase de tratamiento y cargas contaminantes que conforman el STAR, se obtuvo una eficiencia significativa en la remoción de algunos parámetros contemplados en el Arto 23 del Decreto 33-95 (pH, Ssed, SST, DBO₅, DQO), en el caso de los SST y DQO no tienen cumplimiento con la normativa, producto del mal funcionamiento del sistema.

Así mismo como parte de la evaluación se elaboró un manual de operación y mantenimiento el cual incluye todas las actividades a realizarse en el STAR, enfocadas a operación, mantenimiento y mejoras. También es importante mencionar que en el manual se abordan aspectos relacionados a la seguridad de la planta y salud de los operarios, técnicas de prevención de accidentes y el uso adecuado de materiales, herramientas y equipos.

7.2 Recomendaciones

Para que el STAR de Somoto tenga sostenibilidad a largo plazo, se deberán de tomar en cuenta lo siguiente:

- Capacitar operadores, ingenieros municipales y responsables en el monitoreo, aspecto que hoy en día representa una seria responsabilidad. Se hace hincapié en el seguimiento de: catastro de conexiones, medición de caudales, cargas, y medición de la acumulación de lodos.
- Desarrollar planes de limpieza de lodos que incluyan financiamiento del trabajo. Si esto está bien planeado, la municipalidad puede hacer la obra en vez de contratar una empresa privada.
- Desarrollar planes de la expansión del sistema de tratamiento de forma que pueda balancear su eficiencia conforme al aumento de la población y sus conexiones al alcantarillado.
- Desarrollar planes de tarifas que puedan cubrir los costos de la operación de la instalación, incluyendo la remoción y disposición final de lodos cada 5 a 10 años.
- Realizar monitoreos en donde se abarque los coliformes totales, coliformes fecales y huevos de helmintos por las altas concentraciones de materia orgánica en el sistema.



Lider en Ciencia y Tecnología

CAPÍTULO VII. BIBLIOGRAFIA

“El agua sucia no se puede lavar”. *Proverbio africano.*

CAPÍTULO VIII. BIBLIOGRAFÍA

8.1 Bibliografía

- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (1992). *Método de carga superficial para diseño de lagunas de estabilización*. Lima, Perú: OPS.
- Empresa Nicaraguense de Acueductos y Alcantarillados. (2006). *Servicio de Agua y Saneamiento en el municipio de Somoto*. Managua: Propio.
- AENOR. (1997). *Calidad del agua*. Madrid, España: Recopilación de normas UNE. AENOR N.A.
- Alcantarillados, E. N. (2005). *Servicio de Agua y Saneamiento en el municipio de Somoto, Madriz*. Managua: Nicaragua.
- Gámez, S. (2005). *Aguas residuales. Características, tratamiento y calidad de efluentes: lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales domésticas. (CIEMA-UNI)*. Managua, Nicaragua.
- Guido., B. F. (Septiembre, 2003). *Evaluación Operacional de las Lagunas de Estabilización Primarias del Barrio el Cocal, de la ciudad de León*. León, Nicaragua.
- Instituto Nicaraguense de Acueductos y Alcantarillados. (1995). *Disposiciones para el control contaminación provenientes de descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias*. Managua, Nicaragua.
- Korsak, L. (2007). *Curso de tratamiento de aguas residuales*. Managua, Nicaragua: Centro Nacional de Producción más limpia.
- M, M. M. (1970). *Modelo de diseño de lagunas de estabilización*. Lima, Perú: OPS.
- M., K. (1969). *Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Lagunas de Estabilización*. México, D.F.: D.R. © Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Montoya, R. A. (2008). *Evaluación del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR) de la ciudad de Estelí*. Estelí, Nicaragua.
- Naturales, M. A. (2006). *Norma Técnica Obligatoria Nicaraguense para regular los Sistemas de Tratamientos de Aguas Residuales y su Reuso*. Managua, Nicaragua: NTON 05 027-05.
- Oakley, S. M. (Junio, 2005). *Manual de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento, Monitoreo y Sostenibilidad*. California, USA: USAID.

Organización Panamericana de la Salud/PS/Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2002). *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales*. Lima, Perú.

RESTREPO, G. C. (2008). *Evaluación y Monitoreo del Sistema de Lagunas de Estabilización del Municipio de Santa Fé de Antioquía, Colombia*. Medellín, Colombia: Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. MAestría en Ingeniería Sanitaria.

Sanitarios, E. N. (2005). *Servicios Básicos del municipio de Somoto, Madriz*. Managua.

Silva, M. &. (1969). *CONSTANTES CINÉTICAS EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN*. Lima, Perú: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México.

Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres (SINAPRED) CONVENIO AIF / 3487NI. (Agosto, 2003). *Plan de estructura de respuesta municipal con enfoque de gestión de riesgo, municipio de Somoto, departamento de Madriz*. Somoto, Madriz.