



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**DETERMINACIÓN DE VALORES PERCÁPITA DE CARGA ORGÁNICA,
NUTRIENTES Y PATÓGENOS EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DE LA CIUDAD DE SÉBACO**

Para optar al título de ingeniero civil

Elaborado por

Br. José Antonio Blandón Pulido
Br. Yasser Onell Valenzuela Úbeda

Tutor

MSc. Henry Javier Vílchez Pérez

Managua, mayo 2019

Dedicatoria

Este trabajo investigativo está dedicado:

A Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos.

A mi madre y abuelita, por apoyarme en todo este transcurso de mi vida, por sus consejos, valores, y por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que todo por su amor infinito.

A los maestros, por guiarnos durante los cinco años que duró la carrera.

A nuestros compañeros de estudios, 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.

JOSE ANTONIO BLANDÓN PULIDO

Dedicatoria

Este trabajo investigativo está dedicado:

A Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos.

A mi madre y abuelita, por apoyarme en todo este transcurso de mi vida, por sus consejos, valores, y por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que todo por su amor infinito.

A los maestros, por guiarnos durante los cinco años que duró la carrera.

A nuestros compañeros de estudios, 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.

YASSER ONELL VALENZUELA ÚBEDA

Agradecimientos

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

A nuestros padres que se han sacrificado para poder darnos la oportunidad de prosperar, poder ser alguien en la vida, por su apoyo incondicional.

Especial agradecimiento al MSc. Henry Javier Vílchez Pérez, que con su dedicación y esfuerzo nos ha guiado en la realización de este estudio, fomentando el espíritu investigativo.

A todas las personas que contribuyeron de una u otra forma a la 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.

*JOSE ANTONIO BLANDÓN PULIDO
YASSER ONELL VALENZUELA ÚBEDA*

ÍNDICE

CAPÍTULO I. Generalidades.....	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes.....	3
1.3 Justificación	4
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 Objetivo General.....	6
1.4.2 Objetivo Específico.....	6
CAPITULO II. Marco teórico	8
2.1 Agua Residual	8
2.1.1 Generalidades	8
2.1.2 Características y composición de las aguas residuales municipales	8
2.2 Niveles del sistema de tratamiento de aguas residuales	9
2.2.1 Tratamiento preliminar:.....	9
2.2.2 Tratamiento primario	10
2.2.3 Tratamiento secundario.....	10
2.2.4 Tratamiento terciario.....	10
2.3 Lagunas de estabilización.....	11
2.3.1 Generalidades	11
2.3.2 Procesos que se desarrollan en las lagunas de estabilización.....	11
2.3.3 Bacterias fotosintéticas de azufre.....	12
2.3.4 Bacterias rojas.....	12
2.3.5 Bacterias purpuras sulfúreas.....	12
2.3.6 Color.....	13
2.4 Carga orgánica	14
2.5 Operación y mantenimiento	14
2.5.1 Mantenimiento correctivo	15
2.5.2 Mantenimiento Preventivo	15
2.6 Gases de efecto invernadero (GEI)	15
2.6.1 Manual de buenas prácticas del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), 2006	16

2.6.2	Total de materia orgánica (TOW)	17
2.6.3	Componente orgánico (S)	17
2.6.4	Fracción de la población (U_i)	17
2.6.5	Grado de utilización de vía o sistema de tratamiento (T_{ij})	17
2.6.6	Valor de emisión (EF_j)	17
2.6.7	Método del examen	17
CAPÍTULO III. Descripción del sitio de trabajo		19
3.1	Descripción del área de estudio.....	19
3.1.1	Características hidrológicas	20
3.1.2	Características geofísicas	20
3.1.3	Actividad económica.....	21
3.1.4	Descripción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR)	21
CAPÍTULO IV. Diseño metodológico		37
4.1	Tipo de investigación	37
4.2	Procedimiento.....	37
4.2.1	Caudales del STAR de Sébaco.....	38
4.2.2	Recolección y preparación de muestra	40
4.2.3	Determinación de carga orgánica.....	45
4.2.4	Determinación de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) por el método de recopilación de dato	47
4.2.5	Estimación de GEI por el método de examen del IPCC	51
CAPÍTULO V. Resultados.....		54
5.1	Variaciones de caudales mediante un periodo de 24 horas	54
5.2	Determinación del periodo de retención	59
5.2.1	Caudal de las lagunas mediante el balance hídrico	59
5.2.2	Determinación del periodo de retención (TRH)	60
5.3	Resultados de análisis fisicoquímicos del STAR	62
5.4	Determinación de nutriente (fósforo total).....	64
5.5	Determinación de coliformes fecales	65
5.6	Determinación de carga orgánica total	68
5.7	Determinación de carga orgánica superficial	70

5.8	Determinación de la eficiencia del STAR.....	70
5.9	Regulaciones ambientales.....	71
5.10	Determinación del CH ₄ por métodos del IPCC	73
5.10.1	Método de recopilación de datos.....	73
5.10.2	Determinación de CH ₄ por método del examen.....	79
5.10.3	Método de recolección de datos vs método de examen.....	82
CAPITULO VI.	Conclusiones	84
6.1	Conclusiones	84
6.2	Recomendaciones	86
CAPITULO VII.	Bibliografía.....	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Ubicación de los canales en el STAR	22
Tabla 2.- Condiciones de operación y mantenimiento	33
Tabla 3.- Cronograma de aforos del STAR.....	39
Tabla 4.- Horas y tomas de muestras de acuerdo al Decreto 33-95.....	40
Tabla 5.- Ubicación, espécimen y periodo de muestra	41
Tabla 7.- Valores máximos permisibles por el Decreto 33 – 95 y 21 – 2017	44
Tabla 8.- Capacidad máxima de producción de CH ₄ (B ₀)	50
Tabla 9.- Registro de medición de caudal día jueves 13 de julio	54
Tabla 10.- Datos históricos del caudal del STAR de Sébaco.....	58
Tabla 11.- Determinación del caudal de la laguna mediante el balance hídrico	60
Tabla 12.- Periodo de retención hidráulico (TRH).....	61
Tabla 13.- Relación entre temperatura, tiempo de retención hidráulico y eficiencia en las lagunas facultativas.....	61
Tabla 14.- Datos históricos de DBO ₅ en el afluente del STAR mg/L.....	62
Tabla 15.- Datos históricos de DBO ₅ en el efluente del STAR	63
Tabla 16.- Resultados de fósforo total vs Decreto 21-2017 en cada fase de tratamiento	64
Tabla 17.- Coliformes promedios del afluente y efluente vs el Decreto 33-95	66
Tabla 18.- Límites y periodos establecidos por el Decreto 21-2017	68
Tabla 19.- Carga orgánica total a tratar en función de DBO ₅ , y carga per cápita	68
Tabla 20.- Carga superficial máxima (CSM)	70
Tabla 21.- Carga orgánica superficial aplicada real (CSA)	70
Tabla 22.- Eficiencias en el afluente y efluente general del STAR	71
Tabla 23.- DBO ₅ del STAR en cada una de su fase de tratamiento vs Decreto 33 – 95	72
Tabla 24.- Total de materia degradable (TOW)	74
Tabla 25.- Emisiones de CH ₄ en lagunas de estabilización	77
Tabla 26.- Método de examen para producción de CH ₄	80

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.- Macro localización	19
Ilustración 2.- Micro localización.....	19
Ilustración 3.- Rejillas previas al pretratamiento del STAR.....	24
Ilustración 4.- Natas en laguna primaria y secundaria del STAR de Sébaco	30
Ilustración 5.- Color en lagunas primaria y secundaria en el STAR de Sébaco	31
Ilustración 6.- Natas en laguna terciaria del STAR de Sébaco.....	32
Ilustración 7.- Envases + embudos para la extracción de muestras.....	41
Ilustración 8.- Rotulación para recipientes.....	42
Ilustración 9.- Conservación de muestra	42

ÍNDICE DE ESQUEMAS

Esquema 1.- Tratamiento preliminar	23
Esquema 2.- Tratamiento primario	28
Esquema 3.- Efluente final del STAR	33
Esquema 4.- Puntos de recolección de muestra	43
Esquema 5 .- Árbol de decisión para estimar las emisiones de CH ₄ procedentes de las aguas residuales domésticas.....	48
Esquema 6.- Elección según el método de examen de la IPCC	51

ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1.- Variación de caudal del afluente día jueves.....	56
Gráfico 2.- Variación de caudal del efluente día jueves.....	57
Gráfico 3.- Concentraciones de DBO ₅ en el afluente del STAR.....	63
Gráfico 4.- Concentraciones de DBO ₅ en el efluente del STAR.....	64
Gráfico 5.- Fosforo total en el efluente del STAR vs Decreto 21-2017.....	65
Gráfico 6.- Coliformes fecales promedios en el afluente y efluente vs el Decreto 33-95	67
Gráfico 7.- Concentraciones de DBO ₅ en el efluente general vs Decreto 33 – 95.....	72
Gráfico 8.- Producción de metano anual.....	78
Gráfico 9.- Producción de CH ₄ por el método de examen.....	81

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.- Cálculo de afluente y efluente.....	38
Ecuación 2.- Balance hídrico.....	39
Ecuación 3.- Tiempo de retención teórico.....	40
Ecuación 4.- Cantidad de toma de muestra.....	43
Ecuación 5.- Determinación de carga orgánica.....	45
Ecuación 6.- Carga orgánica percapita.....	46
Ecuación 7.- Carga superficial máxima.....	46
Ecuación 8.- Carga orgánica superficial aplicada.....	46
Ecuación 9.- Concentración de fosforo.....	47
Ecuación 10.- Determinación de CH ₄	48
Ecuación 11.- Elección de factores de emisión.....	49
Ecuación 12.- Total de Materia degradable.....	50

Lista de Abreviaturas

STAR: Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales.

IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

ENACAL: Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados.

INAA: Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados.

GEI: Gases de Efecto Invernadero.

pH: Potencial de Hidrogeno.

DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxígeno.

DQO: Demanda Química de Oxígeno.

m: Metros

°C: Grados centígrados

MARENA: Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales

NTON: Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense

Q: Caudal

TRH: Tiempo de Retención Hidráulico

TOW: Total Organic Waste

Resumen

El sistema de tratamiento de agua residual (STAR) de la ciudad de Sébaco, se ha diseñado con el fin de poder proteger y/o minimizar los impactos negativos de las cargas contaminantes que contienen las aguas residuales, siendo este el problema principal que se tiene que tomar en cuenta, debido a que el sistema descarga las aguas al Rio Grande de Matagalpa y estas son utilizadas para distintas actividades.

El objetivo de la investigación fue determinar valores per cápita de carga orgánica, nutrientes y patógenos en el STAR de la ciudad de Sébaco. De tal manera que se explica las variaciones de los caudales realizados en un período de cuatro días consecutivos durante 24 horas, tanto en el afluente como en el efluente obteniendo un caudal promedio de 5.34 L/s, comparando estos registros con los históricos obtenidos de Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ, 2012) de 5.00 L/s y La Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios (ENACAL, 2011) 5.25 L/s, las variaciones no diferente tanto debido a que se diseñó para 9888 hab y actualmente se le brinda servicios sanitarios a 4704 hab, esto quiere decir que con el tiempo pocas personas se han conectado a la red de alcantarillado debido a la ubicación del sistema tal como fue verificado por el catastro de usuarios de ENACAL.

Se determinó el periodo de retención hidráulico (TRH) que fue de 24 días en la laguna primaria, 14 en la secundaria y 18 en la terciaria obteniendo un total de 57 días, estos períodos de retención tan largos se deben a que el sistema todavía no opera a su capacidad de diseño de 17.30 L/s. El efecto que tiene operar un sistema que opera a una capacidad del 30% con respecto al caudal máximo de diseño es que el tirante de agua presenta un retardo para llegar al nivel que garantice su traslado a la siguiente etapa del proceso, por esta razón los períodos de retención son tan prolongados.

Se realizó un análisis de remoción de cargas contaminantes expresadas como; carga orgánica en función de la concentración de DBO_5 que entra en el sistema, es de un valor de 182.70 Kg DBO_5 /día con una población atendida de 4704 hab, mientras que la carga orgánica con la cual fue diseñado el sistema es de 373.68 Kg DBO_5 /día con una

población de diseño de 9888 hab, se puede observar que el sistema no está recibiendo la carga orgánica con la cual fue diseñada.

Por otro lado, en el STAR de Sébaco se presenta en su afluente una concentración de patógenos expresados en coliformes fecales de 1.23×10^7 NMP/100mL, y en su efluente logran una concentración de 9.77×10^3 NMP/100 mL, esta eficiencia de remoción se debe a que su periodo de retención hidráulico es de 57 días.

Con respecto a la carga de los nutrientes en su afluente es expresada en fósforo total de 2.64 kg/día, y en su efluente de 1.04 kg/día, las altas eficiencias que se encontró, se debe a los largos periodos de retención, y los caudales que entran en el sistema.

En el caso del análisis de los límites máximos permisibles al momento de aprobación de la investigación regía el Decreto 33-95, pero con la implementación del nuevo Decreto 21 – 2017, se hizo necesario analizar los resultados con ambos.

Se realizó una simulación de los gases de efecto invernadero en función del metano (CH_4) siguiendo las pautas del manual de buenas prácticas de la IPCC (2006), en el cual se establecen dos métodos: el método de recolección de datos, el cual se estimó una producción de 2,692.65 kg CH_4 /año, y el método de examen el cual se estimó una producción de metano de 23,756.79 kg CH_4 /año, la diferencia se debe a que en el primer método se adapta a la realidad del país el cual considera datos específicos y en el segundo considera valores por defectos de la escala brindada en el manual.

Palabras claves: Caudal, carga orgánica, patógenos, nutrientes



Líder en Ciencia y Tecnología

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

“No basta tener un buen ingenio,
lo principal es aplicarlo bien”.
René Descartes.

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

1.1 Introducción

Unos de los factores indispensables para una adecuada protección de las fuentes de suministros de agua, es contar con tecnologías que provean un tratamiento efectivo y adecuado del agua residual. Para generalizar esa práctica es necesario contar con los recursos económicos y humanos necesarios, esto se traduce en implementar sistemas eficientes, poco mecanizados, de bajo costos de inversión y operación (Espigares García & Pérez López, 2003).

En este contexto, la ciudad de Sébaco genera aguas residuales domésticas y debido a que estas aguas son vertidas al Río Grande de Matagalpa, se consideró a las lagunas de estabilización como una opción de tratamiento, de tal forma que el arreglo que tiene es: pretratamiento + laguna facultativa + laguna facultativa + laguna facultativa.

A pesar de su aparente simplicidad en operación como lo señaló Thirumurthi (1991), las lagunas de estabilización requieren de mantenimiento y evaluaciones periódicas para conocer su eficiencia.

Por lo que, esta investigación tiene como propósito determinar los valores per cápita de cargas contaminantes, que aporta el sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) de la ciudad de Sébaco, a su cuerpo receptor. A su vez se realizó una evaluación a la carga contaminante en función de la materia orgánica y nutrientes.

De tal manera que se hace necesario conocer el cumplimiento con los límites máximos permisibles contemplados en los Art. 22, 23 y 25 del Decreto 33-95, y se hace referencia a la diferencia que contiene el nuevo Decreto 21 – 2017 en su Art. 26.

Otro aspecto de alcance nacional que debe de ser considerado en inversiones para la construcción de nuevas infraestructuras en los sistemas de tratamiento, son la emisión de gases invernadero (GEI), estos se originan en los sistemas lagunares por la estabilización de la materia orgánica, originando como sub productos gases de efecto invernadero que fueron modelados con el software del IPCC (2006). Estableciendo de

esta manera valores in situ para las comunicaciones nacionales ante la convención del marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático.

En estas modelaciones se consideraron dos escenarios:

1. Cuando el país dispone valores nacionales, dando como resultado una simulación adecuada a la realidad nacional, aplicando el método de recopilación de datos.
2. Aplicando valores por defecto de acuerdo a las recomendaciones del manual de buenas prácticas de la IPCC por el método del examen.

1.2 Antecedentes

Kreditanstalt für Währungsgeschäfte (2016) afirma que *“en el año 1995 el Gobierno de la República Federal de Alemania a invitación de la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillado (ENACAL), se interesa en realizar un estudio de sistemas modernos para aguas residuales en las ciudades de Matagalpa y Jinotega, dentro del año corriente se realizaron pozos de visitas sanitario en Sébaco”*.

Según ENACAL (2016), para el año 1998 se diseñó en la ciudad de Sébaco el sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR). El cual se localiza a una latitud de 86° 6' 31.4213" sur, con una longitud de 12° 51' 18.7106 " Este, y debido a que el sistema se encuentra en la parte sureste y la ciudad se desarrolla hacia el noroeste solo el 35% de la ciudad drena sus aguas residuales por gravedad, pero el otro 65% necesitaría coleccionar y bombear el agua hasta el sistema de tratamiento por lo cual estas viviendas no cuenta con este servicio.

Con respecto a las lagunas de estabilización estas se construyen a partir del año 2006 a 2007 para tratar un caudal de 17.30 L/s. Ya construidas las lagunas, tomaron en cuenta la calidad del agua residual que entrarían y observaron que las aguas contenían aceites, sólidos suspendidos, entre otros factores que afectaría el funcionamiento de las mismas, es por ello que, en el año 2008 se construye una trampa de grasa para mejorar la calidad de las aguas que se vierten en la laguna.

Es a partir del año 2008 que empieza su funcionamiento, con una configuración conformada de un tratamiento preliminar compuesto de una rejilla, desarenador, y una trampa de grasa, para luego pasar al sistema lagunar que trabaja en serie, del cual cuenta con una laguna primaria, secundaria, y terciaria, donde las tres son facultativas, para luego verter las aguas a su cuerpo receptor que es el Río Grande de Matagalpa.

1.3 Justificación

La contaminación del agua, se considerada como uno de los procesos de deterioro ambiental más importantes, ha generado incrementos en el riesgo a la salud y disminución de la calidad de vida y disponibilidad del recurso. Se han realizado esfuerzos para el control de la contaminación del agua, uno de ellos es la construcción y operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales; no obstante, en los cuerpos de agua del país, se sigue recibiendo un gran número de descargas de aguas residuales sin tratar.

El rezago en infraestructura de tratamiento de aguas residuales municipales en Nicaragua, es un asunto que no ha recibido la atención debida por parte de las autoridades competentes. Si bien en años recientes la inversión en este rubro se ha incrementado, el atraso acumulado en varias décadas se mantiene.

Por otro lado, el saneamiento, ya sea por alcantarillado o en el sitio, en la mayor parte de los casos no está asociado con la infraestructura para su tratamiento antes de su descarga al medio receptor en la Ciudad de Sébaco. No existen estimaciones actualizadas de las cargas orgánicas expresadas como DBO₅, carga de patógenos como coliformes, y nutrientes expresados como fósforo y nitrógeno. Aunado a lo anterior, otro aspecto de alcance global que debe ser considerado en las políticas de inversión, mantenimiento y construcción de nueva infraestructura es el relacionado con la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y el cambio climático, tema reconocido como una de las más serias y potenciales amenazas ambientales que enfrenta la humanidad. En efecto, el manejo, tratamiento y disposición de las aguas residuales municipales de Sébaco contribuyen a la emisión de GEI a través de los procesos de degradación de la materia orgánica contaminante y de las actividades asociadas.

De tal manera que las aguas residuales provenientes del STAR de la Ciudad de Sébaco van a continuar siendo vertidas en el Rio Grande de Matagalpa, es por esta razón que el objetivo de la investigación es determinar valores percápita de carga orgánica, nutrientes y patógenos en el STAR de la ciudad de Sébaco. Se conocerán los valores percápita de los contaminantes que están siendo vertidos al cuerpo receptor y con este procedimiento se verificarán los posibles efectos al que están expuestos los pobladores, así como

proteger el equilibrio ecológico y la conservación de la biota del cuerpo receptor por acumulación de nutrientes.

Una de las consideraciones que se toman son las regulaciones ambientales que demandan el cumplimiento de los límites máximos permisibles de concentraciones establecidas en los artículos N°22, N°23 y N°25 del Decreto 33-95 en sus límites máximos permisibles. Se tomarán en consideración los nuevos lineamientos del Decreto 21-2017, en lo que respecta al vertido de aguas residuales a cuerpo receptor.

Para dar prioridad al ambiente, se considera la estimación de GEI en el STAR de la ciudad de Sébaco, como una innovación del estudio en los sistemas lagunares de Nicaragua, con la implementación de una simulación de gases de efecto invernadero con el software de buenas prácticas ambientales de la IPCC versión 2006.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Determinar valores per cápita de carga orgánica, nutrientes y patógenos en el STAR de la ciudad de Sébaco.

1.4.2 Objetivo Específico

1. Determinar el caudal del afluente y efluente del STAR.
2. Definir el funcionamiento operacional de las lagunas basado en el periodo de retención teórico y cargas aplicadas.
3. Evaluar las eficiencias puntuales por cada fase de tratamiento y cargas contaminantes que conforman el STAR.
4. Interpretar los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio, de acuerdo a los parámetros contemplados en los Artos. N° 22, 23 Y 25 del Decreto 33-95.
5. Simular los gases de efecto invernadero en el STAR de Sébaco con el software de buenas prácticas ambientales de la IPCC versión 2006.



Lider en Ciencia y Tecnología

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

“El éxito es un 99% de fracaso”.
Soichiro Honda.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Agua Residual

2.1.1 Generalidades

Las aguas residuales se pueden definir como aquellas que, por uso del hombre, representan un peligro y deben ser desechadas, porque contienen gran cantidad de sustancias y/o microorganismos (Espigares & Pérez, 1985).

Además, las aguas residuales domésticas, proceden de las heces y orina humanas, del aseo personal y de la cocina y de la limpieza de la casa. Suelen contener gran cantidad de materia orgánica y microorganismos, así como restos de jabones, detergentes, lejía y grasas (Espigares & Pérez, 1985).

Por lo que las aguas residuales debido a la gran cantidad de sustancias (algunas de ellas tóxicas) y microorganismos que portan, pueden ser causa y vehículo de contaminación, en aquellos lugares donde son evacuadas sin un tratamiento previo (Espigares & Pérez, 1985).

Los malos olores son consecuencia de la diversidad de sustancias que portan y, sobre todo, de los productos de la descomposición de éstas, especialmente en aquellos procesos, sobre todo anaerobios, en los que se descompone materia orgánica, con desprendimiento de gases. A esto hay que añadir las causas naturales de olores y sabores: la proliferación de microorganismos, los procesos de descomposición, la presencia de vegetación acuática, mohos, hongos, etc., y la reducción de sulfatos a sulfuros, en condiciones anóxicas (Espigares & Pérez, 1985).

2.1.2 Características y composición de las aguas residuales municipales

Los contaminantes del agua en función a la calidad o las características del agua se clasifican en físicos, químicos y biológicos. Estas impurezas por el lado de las características químicas deben su origen a contaminantes orgánicos e inorgánicos (Ruiz & Raffo, 2013).

Los contaminantes orgánicos dan como resultado la disminución del oxígeno, producto de la degradación biológica de los compuestos. En el caso de los contaminantes inorgánicos, el resultado es su posible efecto tóxico (Ruiz & Raffo, 2013).

La degradación biológica de sustancias orgánicas produce ácidos grasos, carbohidratos, aminoácidos e hidrocarburos; y las sustancias inorgánicas en el caso de metales tóxicos, de material particulado como arcillas y sedimentos; y de microorganismos como bacterias y protozoos (Ruiz & Raffo, 2013).

2.2 Niveles del sistema de tratamiento de aguas residuales

2.2.1 Tratamiento preliminar:

Según el Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillado Sanitario (INAA, 2005), el tratamiento preliminar es el proceso de eliminación de aquellos constituyentes de las aguas residuales, que pudieren interferir con los procesos subsecuentes del tratamiento.

- Rejas: la Empresa Nacional de Acueductos y Alcantarillado (ENACAL, 2012), determina que las rejas tienen como objetivo la remoción de materiales gruesos, está formada por barra separadas entre uno y cinco centímetros, comúnmente 2.5 centímetros y colocada en un ángulo de 30 y 45 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 (ENACAL, 2012).

También se usan desarenadores de forma aireada, su retención es larga y su forma es similar a un tanque de lodos activados (circular).

- 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 sutor o el canal Parshall (ENACAL, 2012).

2.2.2 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 (ENACAL, 2012).

Sin embargo, también existen los sedimentadores primarios que a diferencia de la fosa séptica y los tanques Imhoff, en esta unidad 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 (ENACAL, 2012).

2.2.3 Tratamiento secundario

El ingeniero Pérez Pardo en su diseño y cálculo de tratamiento secundario mediante aireación prolongada afirma que “el tratamiento secundario o tratamiento biológico se emplea para eliminar la contaminación orgánica disuelta” (2012, p. 3).

Se realiza mediante microorganismos, que en condiciones aerobias atacan la materia orgánica presente en las aguas residuales transformándola en gases y materia celular, que posteriormente se separan por decantación (Pérez Pardo, 2012).

En esta etapa se utilizan comúnmente las lagunas de estabilización y el sistema de lodos activados (Pérez Pardo, 2012).

2.2.4 Tratamiento terciario

Este tratamiento se emplea para separar la materia residual de los efluentes de procesos de tratamiento biológico, a fin de prevenir la contaminación de los cuerpos de agua (Vaca et al., 1995).

Por otro lado, Jiménez (2005) afirma que “tiene como objetivo eliminar patógenos como el nitrógeno y fosforo, donde esta eliminación la realizan mediante métodos físico-químicos, biológicos”.

2.3 Lagunas de estabilización

2.3.1 Generalidades

Cortés et al. (2011) sugieren que las lagunas de estabilización son una opción viable para el tratamiento de aguas residuales en países en desarrollo; los costos de operación son bajos, se garantiza la remoción de la materia orgánica, demanda bioquímica de oxígeno DBO_5 y coliformes fecales, refiriéndose que todos los contaminantes que provengan de organismos vivos.

Explican, además que la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), es la cantidad de oxígeno utilizado en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica durante cinco días a 20 °C. Normalmente se expresa en términos de concentración; se usa como medida para dimensionar las lagunas de estabilización, determinar la eficacia de una planta de tratamiento de aguas residuales y el daño que un efluente puede causar al río donde se descarga.

Y que las bacterias de coliformes fecales se encuentran en el sistema digestivo de humanos y animales. Su presencia en el agua indica la posibilidad de que existan organismos dañinos que causan enfermedades.

2.3.2 Procesos que se desarrollan en las lagunas de estabilización

Saénz, señala que “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” (1994).

Por otro lado, Houghton dice que “los malos olores que se puedan presentar debido al sulfuro de hidrogeno, el sulfuro disuelto es tóxico para la vida microbiana. En particular en las lagunas facultativas inhiben el proceso fotosintético de las algas y la producción de oxígeno; así mismo, consumen oxígeno si el sulfuro es oxidado químicamente, por lo

que esto resta la eficiencia al tratamiento de la facultativa y de las algas subsecuentes” (1991).

Por lo que esta puede ser una de las causas que las algas que se presentan en las lagunas facultativas y/o maduración se inhiban, causando que la laguna cambie a color negro, aunque es más frecuente que las lagunas que poseen algas verdes cambien a un color rojo o púrpura debido a las bacterias púrpuras sulfurosas (Houghton, 1991).

A. Bacterias fotosintéticas de azufre

Carles Borrego (2002), afirma que “los microorganismos que se encuentran en las aguas residuales se destacan las bacterias fotosintéticas del azufre, que unen a su peculiar metabolismo (que no genera oxígeno), una llamativa pigmentación (roja, verde, marrón, entre otros) y una intensa actividad oxidadora de sulfhídrico (H_2S)”.

B. Bacterias rojas

González, García y Núñez, explican que “la coloración de las aguas residuales es típica, adquiriendo tonalidades que van desde el verde, verde-amarillo, café-amarillo, café, café-rojizo, rojo o violeta-púrpura y su morfología celular puede ser de bacilos, cocos o espirales, relativamente pequeños, con movilidad mediante flagelos polares o peritricos y en ocasiones con vacuolas con gas”.

Los cultivos de estas bacterias son usados como alimento para organismos pequeños tanto acuáticos como terrestres y aportan materiales de excreción que son útiles para otros organismos incluyendo bacterias heterótrofas y algas (González et al., 1999).

C. Bacterias púrpuras sulfúreas

Metabólicamente se clasifican dentro de las bacterias púrpuras (o rojas) del azufre con capacidad fotosintética. Las bacterias fotosintéticas realizan una parte muy importante de la transformación y generación de la materia orgánica de lagos y ríos (González et al., 1999).

Suelen estar presentes en los sedimentos profundos de los lagos y los estanques. Estos llevan a cabo la fotosíntesis para formar hidratos de carbono (CH_2O) para crecer como lo

hacen en las profundidades acuáticas estas bacterias poseen clorofila que aprovechan las partes del espectro visible no interceptados por los organismos fotosintéticos localizados en los niveles más elevados estas son anoxigénicas es decir no producen oxígenos (González et al., 1999).

Utilizan compuestos de azufre reducidos, como sulfuro de hidrogeno (H_2S) como elemento reductor y no el agua (González et al., 1999).

D. Color

El color del agua y la apariencia general de una laguna indica el estado general de los microorganismos en las capas superficiales de cada unidad.

Esta determinación es estimada por el operador. A continuación, se dan a conocer los casos que se pueden presentar en una laguna.

✓ Color verde intenso:

Indica que la laguna está en buenas condiciones y es característico de lagunas facultativas (es más pálido en lagunas de Maduración).

✓ Color gris oscuro:

El gris oscuro en lagunas anaeróbicas representa un color normal.

En lagunas facultativas este color es indicativo de que la laguna ha sido sobrecargada con materia orgánica.

✓ Verde Lechoso:

Con ciertas aguas residuales tibias puede ocurrir la precipitación de hidróxido de magnesio y fosfato de calcio con el consecuente aumento del pH en la laguna. Esto puede causar un mal funcionamiento de la misma.

✓ Color azul verdoso:

Una nata azul verdosa con aspecto de pintura en la superficie de la laguna es una indicación del establecimiento de una especie de algas azul-verdosas. El crecimiento de

este tipo de algas es indeseable y tiene un efecto negativo sobre la penetración de la luz solar.

✓ **Verde amarillento:**

En una laguna Facultativa el color verde intenso puede cambiar a verde amarillento cuando hay una sobrecarga en el afluente. Sobre la superficie verde pueden aparecer manchas alrededor de la entrada de la laguna.

2.4 Carga orgánica

Es medida como DBO₅, o DQO que se le aplica diariamente a la laguna que será estabilizada en el tratamiento biológico. Su valor se expresa normalmente en kg de DBO₅, por unidad de tiempo.

En cambio Metcalf y Eddy la definen “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” (1995).

2.5 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:

2.5.1 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.

2.5.2 Mantenimiento 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.

2.6 Gases de efecto invernadero (GEI)

Según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2006), los GEI son emisiones gaseosas de los sistemas de tratamiento que también pueden contribuir al cambio climático mediante la liberación de gases de efecto invernadero, metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O). También son potenciales amenazas ambientales que enfrenta la humanidad. En efecto, el manejo, tratamiento y disposición de las aguas residuales municipales contribuyen a la emisión de GEI a través de los procesos de descomposición de la materia orgánica contaminante y de las actividades asociadas.

Allen, et al., (2007) explican que el metano (CH_4) es un gas químicamente traza y radiactivamente activo que se produce a partir de una amplia variedad de procesos anaerobios.

Por otro lado, Arvizu Fernández menciona que “las emisiones de metano son derivadas de los residuos sólidos municipales, las aguas residuales municipales e industriales, puede transformarse en energía aprovechable en la planta de tratamiento (2008)”.

2.6.1 Manual de buenas prácticas del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), 2006

La IPCC (2006), es una guía que implementa la orientación metodológica para la estimación de metano, procedente de los tratamientos y eliminación de aguas residuales.

De modo que la IPCC, muestra que las emisiones dependen de la cantidad de desechos orgánicos generados y de un factor de emisión que caracteriza la proporción en la que estos desechos generan CH₄.

A continuación, se resumen tres niveles metodológicos para estimar el CH₄ a partir de esta categoría.

El método de nivel uno aplica valores por defecto para el factor de emisión y para los parámetros de la actividad. Este método se considera de buena práctica para los países con escasa disponibilidad de datos.

El método de nivel dos sigue la misma metodología que el nivel uno, pero permite la incorporación de un factor de emisión específico del país y de datos de la actividad específicos del país. Por ejemplo, un factor de emisión específico para un importante sistema de tratamiento, basado en mediciones en el terreno se podría incorporar con este método. Hay que tomar en cuenta la cantidad de lodos eliminados por incineración, en vertederos y en suelos agrícolas.

Para un país con buenos datos y registros de inventarios de CH₄, se puede aplicar una metodología específica del país, como un método de nivel tres. Un método aún más avanzado, específico del país, puede basarse en datos de cada planta en las grandes instalaciones de tratamiento de aguas residuales.

Es por ello que se cuenta con un árbol de decisiones, para poder determinar la elección del método a utilizar, de esta manera se cuenta con dos fórmulas estipuladas por la IPCC, estas pertenecen a dos de sus tres niveles los cuales son el primero y el segundo, ya que en su tercer nivel estos dependerán del país que tenga establecida una manera propia de estimar los GEI.

Dado que en Nicaragua se han realizado estudios de emisiones de GEI este cuenta con factores ya evaluados por expertos en el tema, se tiene como registro un informe elaborado por el Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente, por lo que el país cuenta con datos para poder estimar los gases, y es por esta razón que Nicaragua se ubica en el nivel dos el cual se explicó anteriormente, para comprender de forma más clara por qué Nicaragua pertenece a dicho nivel se puede observar el árbol de decisiones en el esquema uno.

2.6.2 Total de materia orgánica (TOW)

Este es un parámetro de en función de la población humana y del índice de generación de DBO₅ por persona.

2.6.3 Componente orgánico (S)

Dado que en Nicaragua no se cuenta con un componente orgánico separado como lodo, se tomó como 0 dado a la carencia de este.

2.6.4 Fracción de la población (U_i)

Es la relación de la población de la ciudad evaluada, entre la población total de un país.

2.6.5 Grado de utilización de vía o sistema de tratamiento (T_{ij})

Es la relación de la población conectada entre la población de la ciudad evaluada.

2.6.6 Valor de emisión (EF_j)

El factor de emisión para vía y sistema de tratamiento y eliminación de aguas servidas, es una función del potencial máximo de producción de CH₄ y del factor de corrección para el metano, para el sistema de tratamiento y eliminación de aguas residuales.

2.6.7 Método del examen

Este método pertenece a los países que se encuentran en el nivel uno, es decir que no cuentan con datos específicos del país por lo que se toman valores por defecto ya estipulados por el IPCC.



Líder en Ciencia y Tecnología

CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO

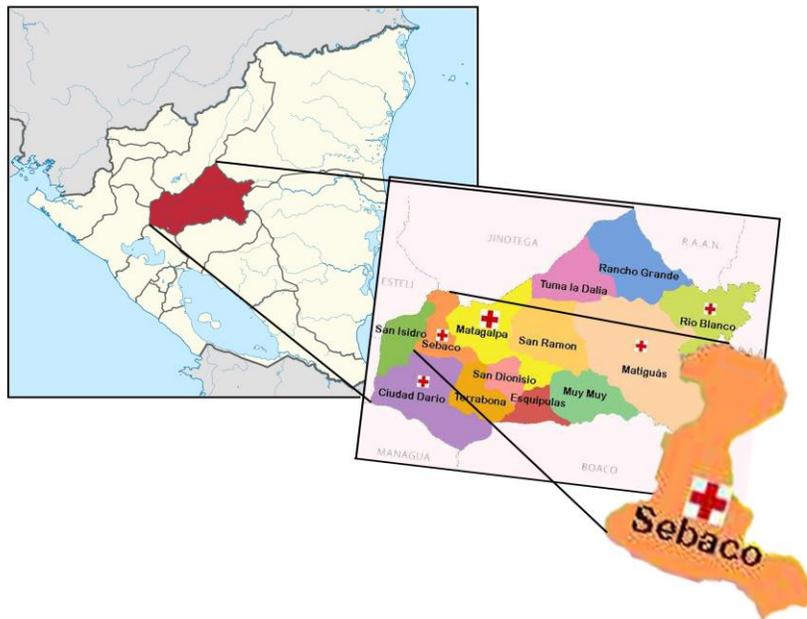
“Cada cosa tiene su belleza,
pero no todos pueden verla”.
Confucio.

CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE TRABAJO

3.1 Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en el municipio de Sébaco, departamento de Matagalpa, Nicaragua. De las cuales consta de sus coordenadas geográficas 12° 51' 4" Norte, 86° 5' 58" Oeste, con una altitud de 471 msnm (ENACAL, 2012).

Ilustración 1.- Macro localización



Fuente: Adaptada de Google Maps

Ilustración 2.- Micro localización



Fuente: Adaptada de Google Maps

3.1.1 Características hidrológicas

El clima de Sébaco se clasifica como de sabana tropical debido a que su temperatura anual, oscila entre los 21° y 30°C, en algunos casos puede llegar hasta 41°C. La precipitación pluvial varía de un mínimo de 800 mm, en el centro del municipio a un máximo de 2000 mm en zonas montañosa esto ocurre durante los meses de mayo a octubre y su estación seca empieza de noviembre a abril.

3.1.2 Características geofísicas

Sébaco limita con municipios de la Trinidad y Jinotega al norte, al sur con Terrabona y Ciudad Darío, al este con el municipio de Matagalpa, y al oeste con San Isidro y situada a 105 km al noreste de Managua.

Es atravesado de norte a sur por la Vía Panamericana. La zona sur de la ciudad es serpenteada por el Río Grande de Matagalpa. Sébaco, es la ciudad más grande del valle agrícola del mismo nombre. Posee tierras fértiles, que algunos llegan a decir son las más productivas de este país centroamericano. Extensos cultivos de hortalizas y arroz se extienden hasta donde alcanza la vista.

El perímetro de captación superficial del valle de Sébaco es de 652.79 km² aproximadamente. El valle en sí, es una extensa planicie formada de materiales aluviales con una extensión aproximada 263.33 km².

Topográficamente se distinguen elevaciones de hasta 1,339 m (Cerro La Punta en el extremo noroeste de la cuenca). La zona montañosa tiene su pie de monte a una altura de 480 msnm, dando paso a un área escarpada, que representa las fronteras del valle. Las menores elevaciones, de 430 msnm se localizan cerca del embalse La Virgen, al suroeste.

Los flancos este y oeste tienen pendientes de hasta 80%; al contrario de los límites norte y sur, que presentan un relieve más moderado, de lomas suaves, con pendientes de 30%. El Valle posee dos extensos cauces al oeste, y el Grande de Matagalpa, al este.

3.1.3 Actividad económica

En la ciudad de Sébaco se identificaron 7386 edificaciones. De estas, 5,376 (72.8%) se utilizan exclusivamente como viviendas; 1,084 (14.7%) son edificaciones utilizadas como viviendas con actividad económica; 594 (8.0%) se destinan para establecimientos económicos ubicados en un local independiente en mercados, centros comerciales, bancos, instituciones financieras, supermercados u otras ubicaciones; y 332 (4.5%) se utilizan para otros usos como bodegas, garajes, cementerios y edificios en construcción o en ruinas (Banco Central de Nicaragua, 2017).

Entre las principales actividades económicas con un mayor número de empleados están en el sector agrícola con un total de 1024 trabajadores abarcando un 75% en comercio en general (INIDE, 2008).

La actividad económica fundamentada de Sébaco es la agricultura, existiendo actualmente cuatro cooperativas, dedicadas a producir granos básicos entre ellos maíz, frijoles, arroz y sorgo. El área de siembra se distribuye de la siguiente manera: maíz con 1200 mz, frijoles 1600 mz, arroz 3500 m, sorgo 300 y hortalizas con 160 mz, todo totaliza 6700 manzanas cultivadas (INIDE, 2008).

En general el municipio se caracteriza por el cultivo de hortalizas de diferentes variedades entre las que se pueden citar está el tomate, cebolla, repollo, lechuga, chile verde, zanahoria, remolacha, entre otros (INIDE, 2008).

3.1.4 Descripción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR)

El STAR de la ciudad de Sébaco, consta de un tratamiento preliminar, un tratamiento primario, un tratamiento secundario y un tratamiento terciario, con el fin de mejorar la calidad de agua que se vierte en cuerpo receptor el cual es el Río Grande de Matagalpa.

El sistema se compone de dos tipos de canales, por lo que la tabla uno reporta la ubicación de los tipos de canales que posee el sistema.

Tabla 1.- Ubicación de los canales en el STAR

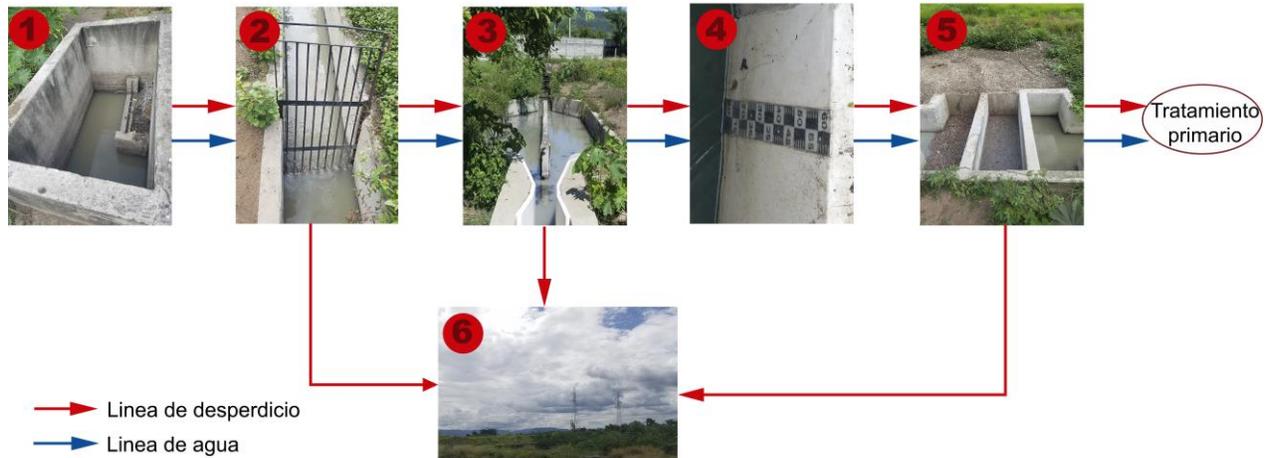
Unidad de tratamiento	Tipo de canal		Medidas canal A		Medidas canal B	
	Canal A	Canal B	Largo	Ancho	Largo	Ancho
Canal de rejas - desarenador	X	-	0.98 m	0.84 m	0.98 m	0.64 m
Canal de desarenador-canaleta Parshall	X	-				
Canal de la canaleta Parshall - Trampa de grasa	X	-				
Canal de trampa de grasa - laguna primaria	-	X				
Canal de laguna primaria - laguna secundaria	-	X				
Canal de laguna secundaria - laguna terciaria	-	X				
Canal de laguna terciaria - efluente	-	X				

Cabe mencionar que los canales del tipo A y tipo B se encuentran en una pendiente de 0.2% desde el afluente general de las aguas residuales hasta la laguna primaria. Para comprensión de lo explicado ver anexos A.

3.1.4.1 Tratamiento preliminar

Esta etapa tiene como objetivo remover todos los desechos sólidos de las aguas, provenientes del alcantarillado de la ciudad, con el fin de preparar las aguas para el siguiente tratamiento sin que estos desechos perjudiquen las unidades de depuración, sirve también para minimizar algunos efectos negativos al tratamiento, tales como: grandes variaciones de caudal, de composición y la presencia de materiales flotantes como aceites, grasas, entre otros (ver esquema uno).

Esquema 1.- Tratamiento preliminar



Donde:

1. Afluente
2. Rejas
3. Desarenador
4. Canaleta Parshall
5. Trampa de grasa
6. Depósito de desperdicio

a) Canal de rejas

El objetivo de esta unidad es de eliminar los sólidos de gran tamaño como bolsas, trozos de maderas, trapos entre otras cosas, para que estos desechos no puedan perjudicar las otras unidades; además estas pueden ser de limpieza manual o mecánica (INAA, 2012).

En cuanto al STAR de la ciudad de Sébaco, cuenta con dos unidades de rejillas de limpieza manual, se encuentra empotrada al canal, cuenta con una separación entre cada barra de cinco centímetros, con una inclinación de 45° , la cual cumple en la inclinación dado que es permisible, pero según INAA (2003) no cumple con lo estipulado

en la Guía Técnica De Diseño Para Alcantarillado Sanitario y Sistema De Tratamiento De Aguas Residuales, debido a que la separación entre estas tiene que permanecer en un rango de cinco a 15 mm.

Además, la forma y el material que presentan las rejillas no son adecuadas para ser utilizadas, debido a que según la guía técnica esta tiene que ser de barra o varillas, y en Sébaco se encuentra con tiras de hierros con un ancho de un centímetro cada una, por lo cual estas no podrán retener sólidos de gran tamaño (bolsas, papeles, entre otros) debido a la forma que estas poseen.

Es por ello que ENACAL (2016) en las entradas de los canales, y en la tubería que une el pozo de visita con el sistema, construyeron una plataforma de acero perforada, con separación de $\frac{1}{2}$ pulgada, para que estas eviten el paso de los desechos sólidos a las demás unidades de tratamiento; para comprender de lo que se documenta esto se puede apreciar en la ilustración tres.

Cabe recalcar, que en el sistema no entra una cantidad de agua considerable, por lo que la limpieza de estas rejas no se realiza periódicamente y se realiza semanalmente.

Ilustración 3.- Rejillas previas al pretratamiento del STAR



b) Desarenador

La función de los desarenadores en el tratamiento de aguas residuales es remover arena, grava u otro material sólido pesado que tenga velocidad de asentamiento o peso específico bastante mayor que el de los sólidos orgánicos putrescibles de las aguas residuales, estos se colocan generalmente antes de todas las unidades de tratamiento del STAR.

Con respecto a Sébaco, se encuentra un desarenador de flujo horizontal, posee dos cámaras, las cuales están separada por un muro, para dar paso a las aguas residuales mientras una esté en mantenimiento. Se encuentra ubicado antes de la canaleta Parshall y después del sistema de rejillas, este posee una forma trapezoidal en sus cámaras y cuenta con las siguientes medidas, y para comprender mejor su construcción ver anexo A:

- **Especificaciones generales del desarenador:**

- Ancho: 2.92 m
- Largo: 6.5 m
- Profundidad: 1.18 m

- **Especificaciones del muro:**

- Ancho: 0.12 m
- Largo: 6.5 m
- Profundidad: 1.18 m

Según la guía de diseño la relación largo - ancho tiene que permanecer en intervalos de 2.5:1 – 5:1, el desarenador que tiene construido el STAR excede las medidas con respecto a lo que la guía plantea, debido a esto puede que el desarenador no retenga el tiempo suficiente las aguas residuales.

Cabe mencionar, que cuando el operador efectúa la limpieza en esta unidad la realiza en un periodo de 15 días, para su limpieza el operario con un rastrillo raspa el fondo para remover los lodos del canal, pero debido a que no se cuenta con las compuertas para poder retener la circulación de las aguas en un canal, esta operación no se lleva a cabo, y solo remueve los sólidos que se mantienen en la superficie.

c) Medición de caudal

La medición de caudales, en cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas o industriales es de gran importancia para controlar de una manera eficaz las aguas que entran al sistema, además son unidades de bajo costo, en relación con el costo total de la obra y suministran datos importantes para la operación de los sistemas de tratamiento.

En el STAR de Sébaco, para medir el caudal en el afluente y efluente cuenta con un medidor Parshall, se instaló debido a que presenta bajas pérdidas de cargas; posee un sistema de auto limpieza, es decir, que debido a su garganta difícilmente se encontrara con obstáculos que puedan provocar formación de depósitos.

Se debe agregar que la canaleta que se encuentra en el STAR, está construida de fibra de vidrio para aumentar su precisión en las lecturas y evitar el desgaste que puedan ocasionar las aguas residuales; además posee una garganta de 0.219 m en su afluente y en el efluente una garganta de 0.130 m, con regletas métricas de 0.60 m, y actualmente llega a medir caudales máximos en el afluente de ocho a 11 L/s ($0.008 \text{ m}^3/\text{s}$ a $0.011 \text{ m}^3/\text{s}$) y en el efluente de tres a cuatro L/s ($0.003 \text{ m}^3/\text{s}$ a $0.004 \text{ m}^3/\text{s}$).

Por otro lado, la guía reporta que, para una garganta de 0.229 m, se espera leer como máximo $0.251 \text{ m}^3/\text{s}$, en Sébaco se observa notablemente que no puede alcanzar ni la mitad de la cantidad reportada, debido a que en el sistema no se encuentra conectada toda la población que se esperaba ser atendida.

Con respecto a su funcionamiento la canaleta presenta como único inconveniente el estado de la regleta ya que esta se encuentra muy deteriorada debido a la fricción que causa las aguas residuales, dificultando la lectura de los mismos.

Otra observación a tomar en cuenta es que el operario no realiza limpieza, además las lecturas que realizan las hacen una vez por mes.

d) Trampa de grasa

Son tanques pequeños de flotación donde la grasa sale a la superficie y es retenida mientras el agua sale por una descarga inferior. No lleva partes mecánicas y el diseño es similar al de un tanque séptico.

En Sébaco se incluyen en el STAR, debido a que existen conectados establecimientos como: centro de salud, restaurantes, hoteles, entre otro, en donde se pueda apreciar una producción de grasa, además esta unidad se encuentra antes de que las aguas residuales entren a su tratamiento primario, para poder evitar obstrucciones y los malos olores.

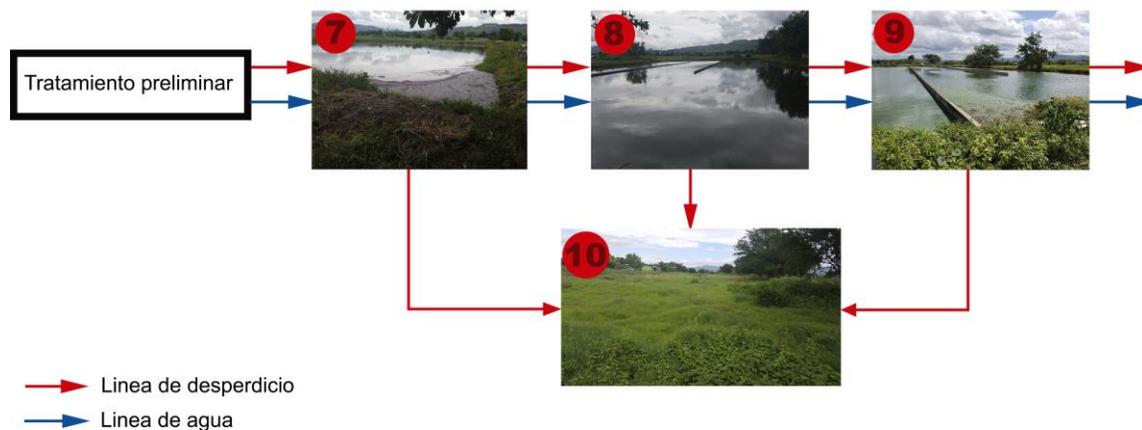
La unidad cuenta con tres cámaras individuales con flujo descendente, en cada una de ellas, se les dio este diseño para poder extraer fácilmente los sólidos que se acumulen en su superficie, cuenta con un largo total de 2.28 m, y ancho de 1.74 m, las cámaras se encuentran dividida por un muro con espesor de 0.12 m, y una profundidad de 1.90 m, se encuentra saturada de sólidos de gran tamaño, y su limpieza se realiza mensualmente.

3.1.4.2 Tratamiento primario

El STAR de Sébaco posee un solo módulo de lagunas de estabilización, esta cuenta como tratamiento primario, está compuesto por tres lagunas dispuestas en serie, las tres son de tipo facultativa diseñada con el propósito de reducir la carga orgánica contaminante contando con la última laguna con pantallas deflectoras para lograr una mayor remoción de organismo patógenos, la limpieza de las lagunas se realiza cada cinco o 10 año.

Sébaco cuenta con la peculiaridad de poseer en el sistema tres lagunas del tipo facultativo como se mencionó anteriormente, esto se debe a que en el sistema según Wagner en el documento de ENACAL (2016) “la carga volumétrica que se encuentra es menor a $20 \text{ grDBO}_5/\text{m}^3\text{-d}$, es tan pequeña que no se puede desarrollar condiciones anaeróbicas, por tal razón se consideraron en el modelo las lagunas facultativas”.

Esquema 2.- Tratamiento primario



Donde:

7. Laguna primaria
8. Laguna secundaria
9. Laguna terciaria
10. Depósito de desperdicio

a) Laguna primaria

Esta es la fase inicial del tratamiento primario, diseñada con el propósito de reducir el contenido de DBO_5 y patógenos.

La laguna es de tipo facultativo, su forma es rectangular con un largo de 115 m, ancho de 59.2 m, y una profundidad de 1.5 m, posee taludes de piedra bolón con mezcla de suelo y cemento de 2:1 (forma rectangular con un espesor de 20 cm) , en la base de los

taludes está conformada de material selecto de 60 cm, la base de las lagunas está fabricada de arcilla compacta con un CBR de 95% con un espesor de 60 cm, encima de la arcilla posee suelo concreto con un espesor de 10cm con una relación de 1:10, cabe recalcar que las tres lagunas poseen estos diseños a excepción de sus medidas.

De acuerdo a criterios de diseño las lagunas deben de localizarse aguas abajo de la cuenca hidrográfica, y fuera de la influencia de cauces sujetos a inundaciones y avenidas, según la guía las lagunas facultativas deben de situarse a 500 m como mínimo.

Con respecto a lo antes mencionado el STAR de Sébaco, se encuentra situado a 600 m del rio Grande de Matagalpa, cumpliendo con lo establecido por la guía, además esta se localizaba fuera del casco urbano de la ciudad, pero debido al crecimiento poblacional que se ha dado durante los años se han ido asentando en los alrededores del sistema, por lo que es evidente que con el tiempo llegaran a enfermarse debido a los olores u otros factores que puedan perjudicar su salud, cabe mencionar que estos habitantes se encuentran conectados a las redes de alcantarillado sanitario de la ciudad.

Si bien es cierto, que en el sistema las lagunas no presentan malos olores; según Núñez Cardona (2003): *“se puede observar una pigmentación en las natas por las bacterias fotosintéticas del azufre, esto se da porque son un grupo de microorganismos y dado al resultado de su fotosíntesis estas no producen oxígeno por lo cual se les conocen como bacterias anoxigénicas, y dado que depende de la cantidad de microorganismo, la calidad de luz y concentración de oxígeno este último inhibe la síntesis de sus pigmentos”* generando diferentes colores en las natas.

Estas pigmentaciones se pueden dar por tres razones las cuales son:

- Dado que las condiciones fisicoquímicas del sistema son favorables, las bacterias crecen masivamente.
- Estas pueden formar capas de natas en toda la laguna o bien formando capas que se pueden observar a simple vista debido a sus bacterio clorofilas y caratones dándoles tonalidades rosas, verdes, rojas y purpuras (ver ilustración cuatro).

- Estas transforman los organismos metabólicos de otros microorganismos en su propia biomasa.

Ilustración 4.- Natas en laguna primaria y secundaria del STAR de Sébaco



b) Laguna secundaria

El propósito de este tipo de lagunas es reducir la cantidad de coliforme fecal, reducir la cantidad de las concentraciones contaminantes (DBO_5 y nutrientes), coliformes fecales y darles una apariencia mejor a las aguas residuales.

Esta laguna es de menor área que la anterior con un largo de 100 m, ancho de 51.45 m, y una profundidad de 1.2 m.

Actualmente, en sus bordes presenta un deterioro en sus taludes, además se observa el crecimiento de plantas; por lo que su condición operacional es un poco deficiente, con respecto a la acumulación de lodos, las lagunas recibieron mantenimiento en el año 2015, por lo que su retención hidráulica no presenta eficiencias de remoción.

Con respecto a la coloración de las aguas residuales en las lagunas tanto en la primaria como en la secundaria está siempre se observa de un color rojo, como se mencionó anteriormente este proceso se da debido a las bacterio clorofilas que estos son unos pigmentos fotosintéticos que se encuentran en varias bacterias fotótrofas y están

relacionadas con las clorofilas, que son los pigmentos primarios en plantas, algas y cianobacterias, esto quiere decir que las bacterias que contienen bacterio clorofilas realizan la fotosíntesis, pero estas no producen oxígeno.

Cabe mencionar que también se puede dar por la baja carga orgánica que esta laguna posee.

Ilustración 5.- Color en lagunas primaria y secundaria en el STAR de Sébaco



c) Laguna terciaria

Esta es la fase final del sistema la cual tiene como objetivo eliminar las bacterias patógenas. Tiene como objetivo la eliminación de nutrientes, clarificación del efluente y de verter un efluente bien oxigenado.

Esta laguna cuenta con un ancho un poco mayor al de la secundaria con un largo de 111.15, ancho de 57.4, y una profundidad de 1.2 m, esta laguna presenta dos paredes deflectora con una separación entre las dos de 17.58 m.

Con respecto a las paredes deflectoras de la laguna secundaria como en la terciaria se construyeron con el objetivo de mantener un flujo de tipo pistón, no tanto como una forma de degradación de coliforme sino con el fin de evitar cortocircuito en el sistema.

Como se mencionó anteriormente, estos cortocircuitos pueden a varias razones en las que podrían ser:

- a) Deficiente diseño de las entradas y salidas, morfología poco adecuada de las lagunas, o vientos dominantes que provocan corrientes que no se tuvieron en cuenta en el proyecto.
- b) Desarrollo de estratificación.
- c) Presencia de plantas acuáticas en el interior de las lagunas.
- d) Acumulación de fangos en el fondo, en especial en lagunas facultativas primarias

Para evitar esto ENACAL construyó pantallas deflectoras las cuales están fabricadas por columnas de concreto, y losetas prefabricadas con un espesor de 0.13 m, con una viga corona de 0.13 m de largo y 0.10 m de ancho, sus pedestales son de 0.40 m de ancho y 0.60 m de largo, la pared está colocada sobre una viga de concreto de 0.20 por 0.20 m, y su largo total es de 14.13 m.

Las aguas que retienen la laguna son de color verde intenso indicando que la laguna está en buenas condiciones, las natas que se forman en los extremos de la laguna, se podrían explicar por un crecimiento de una especie de algas azul-verdosas, este tipo de algas son indeseable y tiene un efecto negativo sobre la penetración de la luz creando zonas anóxicas.

Ilustración 6.- Natas en laguna terciaria del STAR de Sébaco

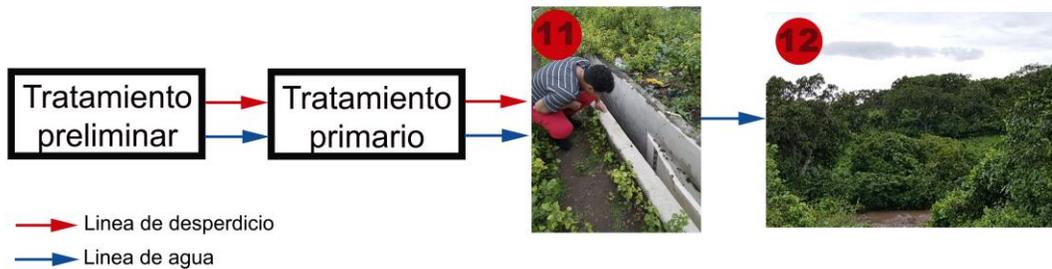


3.1.4.3 Efluente general de STAR de Sébaco

Para verter las aguas residuales, este se realiza mediante una línea de tubería de PVC, cuyo diámetro es de 10 pulgadas, colocada en una pendiente de 3.44%, el cual inicial al

final del canal del efluente de la laguna terciaria, para luego ser descargadas al cuerpo receptor (Río Grande de Matagalpa). En el esquema cuatro se reporta la etapa de conducción de las aguas residuales.

Esquema 3.- Efluente final del STAR



11: Medidor Parshall del efluente general del sistema

12: Cuerpo receptor

3.1.4.4 Condiciones de operación y mantenimiento por cada fase de tratamiento en el STAR – Sébaco

Tabla 2.- Condiciones de operación y mantenimiento

Unidad	Condición física	Monitoreo de rutina	Mantenimiento	Personal	Remoción de lodos	Sostenibilidad
Rejas	Presenta oxidación en la placa de drenaje, no presenta un buen diseño debido a que no posee barras.	Semanalmente	No apropiado, realizan limpieza semanalmente.	1 operador	-	Apoyo económico de la República federal de Alemania, ENACAL y comunidad.

Unidad	Condición física	Monitoreo de rutina	Mantenimiento	Personal	Remoción de lodos	Sostenibilidad
Desarenador	No se encuentra saturado de sólidos arenosos, no posee compuertas para dar mantenimiento a sus canales, presenta grietas en sus paredes.	15 días	No apropiado, debido a la ausencia de accesorios para realizar un mantenimiento adecuado.	1 operador	-	Apoyo económico de la República federal de Alemania, ENACAL y comunidad.
Canaleta Parshall	El estado de la regla métrica se encuentra deteriorada debido al roce de las aguas residuales	Una vez cada mes	Lectura	1 operador	-	Apoyo económico de la República federal de Alemania, ENACAL y comunidad.
Trampa de grasa	Presenta agrietamientos en sus paredes, además se encuentra saturado de sólidos en suspensión.	Semanalmente	No apropiado, debido a que su limpieza no se realiza en el transcurso del día.	1 operador	-	Apoyo económico dado por ENACAL, y comunidad.

Unidad	Condición física	Monitoreo de rutina	Mantenimiento	Personal	Remoción de lodos	Sostenibilidad
Canales	Presentan agrietamiento en sus paredes.	-	-	-	-	Apoyo económico de la República federal de Alemania, ENACAL y comunidad.
Laguna primaria	Afectada por crecimiento de plantas y fisuras en sus taludes	Cada 5 o 10 años	Apropiado	1 operador	-	Apoyo económico de la República federal de Alemania, ENACAL y comunidad.
Laguna secundaria	Afectada por crecimiento de plantas y fisuras en sus taludes	Cada 5 o 10 años	Apropiado	1 operador	-	Apoyo económico de la República federal de Alemania, ENACAL y comunidad.
Laguna Terciaria	Afectada por crecimiento de plantas y fisuras en sus taludes.	Cada 5 o 10 años	Apropiado	1 operador	-	Apoyo económico de la República federal de Alemania, ENACAL y comunidad.



Lider en Ciencia y Tecnología

CAPÍTULO IV. DISEÑO METODOLÓGICO

“El agua, aire y limpieza son los principales productos de mi vida”.
Napoleón Bonaparte.

CAPÍTULO IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 Tipo de investigación

La investigación tiene un enfoque descriptivo y cualitativo (descripción de la zona de estudio, características del STAR, cumplimiento con normativas ambientales, entre otros).

Según el alcance, el estudio que se realizó es de corte transversal debido a que se refiere a un momento específico de la evaluación de las concentraciones del STAR. Según el carácter de la medida de enfoque del estudio es mixto, se analizaron variables cuantitativas y cualitativas.

4.2 Procedimiento

Se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva que permitió tener una perspectiva completa acerca de las variables y los objetivos considerados en la investigación. Tendrá 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 una observación in situ, para identificar todos los procesos unitarios que conforman el STAR de la ciudad de Sébaco. Haciendo énfasis en la carga orgánica, nutrientes y patógenos.

a. Herramientas de recolección de datos:

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 las cargas abarcando los siguientes aspectos:

- Reconocimiento del campo de trabajo.
- Ubicación de los puntos de muestreos y creación de formatos para procesar datos.
- Capacitación de las técnicas de análisis de laboratorio para aguas residuales.

4.2.1 Caudales del STAR de Sébaco

Al culminar lo anterior, con el conocimiento del problema planteado y con un plan de trabajo definido, se desarrollaron las siguientes actividades:

4.2.1.1 Aforo de caudales

Para los aforos en afluentes y efluentes se tomaron en consideración los siguientes aspectos:

- a) Para determinar los caudales en el sistema se cuenta con una Canaleta Parshall graduada con 60 cm (0.60 metros). El monitoreo en este afluente se realizó cada hora registrando el tirante de agua. Esto con el objetivo de poder determinar el gasto por hora en el afluente y efluente, utilizando la ecuación uno, propuesta por Marais & Van Haandel (1980):

Ecuación 1.- Cálculo de afluente y efluente

$$Q = 2.2 * W * H^{3/2}$$

Donde:

$$Q = \text{Caudal (m}^3/\text{s)}$$

W: Ancho de la garganta (m)

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

Para poder obtener las mediciones del afluente y efluente se realizaron cinco aforos de 24 horas, en el cual se inició el día 12 de julio del año 2017, finalizando el día 16 de julio del año 2017. Por lo cual el cronograma de aforo queda establecido en la tabla tres.

Tabla 3.- Cronograma de aforos del STAR

Numero de aforos	Días	Fecha	Hora de inicio y salida	Observación
Aforo N°1	Miércoles - Jueves	12 julio 2017 - 13 julio 2017	6:00 am - 5:00 am	Debido a los lodos que se acumulan en la tubería que une la salida de la laguna secundaria con el canal, se provocan estancamiento, por lo que los datos pueden salir alterados al momento de los aforos.
Aforo N°2	Jueves - Viernes	13 julio 2017 - 14 julio 2017	6:00 am - 5:00 am	
Aforo N°3	Viernes - Sábado	14 julio 2017 - 15 julio 2017	6:00 am - 5:00 am	
Aforo N°4	Sábado - Domingo	15 julio 2017 - 16 julio 2017	6:00 am - 5:00 am	
Aforo N°5	Domingo - Lunes	16 julio 2017 - 17 julio 2017	6:00 am - 5:00 am	

4.2.1.2 Determinación del tiempo de retención

El período de retención para cada laguna del sistema se obtuvo de forma teórica, siendo el valor presentado en una relación entre el volumen y el caudal medio con la ecuación de Arthur (1984) se determinó el periodo de retención, además se realizó un balance hídrico para corregir el caudal haciendo uso la ecuación de Martinez et al., (2011) por lo que se reporta la ecuacion dos, para luego aplicar la ecuacion tres.

Ecuación 2.- Balance hídrico

$$Q_e = Q_i - 0.001Ae$$

Donde:

A = área (m²)

Q_e = caudal en el efluente de la laguna (m³/día)

e = evaporación en (mm/día) (obtenido de INETER 2017, en la estación meteorológica de San Isidro)

Q_i = caudal medio del afluente (m³/día)

Ecuación 3.- Tiempo de retención teórico

$$TRH = \frac{V \text{ lag (m}^3\text{)}}{Q \text{ medio (m}^3\text{/día)}}$$

Donde:

V lag: es el volumen de la laguna representado en m³

Q medio: es el caudal representado en m³/día

Se realizó un análisis entre la relación de las variables teóricas como son: tiempo de retención hidráulica y eficiencias.

4.2.2 Recolección y preparación de muestra

Para el diseño de las muestras fisicoquímicas se tomó en cuenta lo que establece el Decreto 33-95 arto. 17 explica que *“Los valores de los parámetros de las descargas residuales industriales a redes de alcantarillado sanitario y cuerpos receptores, se obtendrán del análisis de muestras compuestas que resulten de la mezcla de las muestras simples, tomadas éstas en volúmenes proporcionales al caudal, medido en el sitio y en el momento del muestreo”* de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 4.- Horas y tomas de muestras de acuerdo al Decreto 33-95

Horas por día que opera el proceso generados de la descarga	Numero de muestras	Intervalo entre tomas de muestras	
		Mínimo (horas)	Máximo (horas)
Hasta 8 horas	8	0.5	1
Más de 8 horas y hasta 12 horas	12	0.5	1
Más de 12 horas y hasta 18 horas	18	0.5	1
Más de 18 horas y hasta 24 horas	24	0.5	1

Fuente: INAA, 2002

Por lo que dichos muestreos se efectuaron durante cuatro días de la semana, iniciando el día jueves (13/07/17), para culminar domingo (16/06/17) como inicio de semana, y día de mayor consumo marcado por ENACAL.

El tipo de muestreo es compuesto y de forma manual, para entradas y salidas de cada unidad de tratamiento durante un periodo de 24 horas.

Tabla 5.- Ubicación, espécimen y periodo de muestra

Tipo de muestra	Localización	Días	Frecuencia (C/día)	Nº total de muestras
Compuesta	Afluyente general STAR	4	24 horas	4 muestras
Compuesta	Efluente laguna primaria STAR	4	24 horas	4 muestras
Compuesta	Efluente laguna secundaria STAR	4	24 horas	4 muestras
Compuesta	Efluente general	4	24 horas	4 muestras

Una vez que se definen los puntos de muestreo en el STAR y los días que se trabajara, se procede a recolectar las muestras. En los cuales se utilizaron recipientes de polietileno con capacidad de un galón para cada muestra.

Para evitar la contaminación de las muestras se utilizó cuatro envases graduados + embudos, para cada punto de aforo tal y como se muestra en la ilustración siete:

Ilustración 7.- Envases + embudos para la extracción de muestras



Hay que mencionar, además que para poder extraer las muestras de los puntos antes establecidos se utilizó la ecuación cuatro la cual se muestra en el acápite 4.2.2.1, y para evitar mezclar las muestras en cada punto se rotularon de acuerdo a la ilustración ocho:

Ilustración 8.- Rotulación para recipientes

Muestras de Sébaco	
Fecha	Jueves 13 de julio del 2017
Hora	6:00 am - 6:00 am
Fuente	Afluente del STAR S.C.P
N° de muestra	1
Tipo de muestreo	Muestra compuesta
Muestra tomada por	Jose Blandón, Yasser Valenzuela

Una vez realizados lo anterior, se procede a buscar un termo que puede preservar las muestras para su entrega al laboratorio, debido a que se debe permanecer a una temperatura de cuatro grados centígrados, para esto se utilizó un termo de polietileno con hielo, como se muestra en la ilustración nueve:

Ilustración 9.- Conservación de muestra



4.2.2.1 Toma de muestras en campo

La cantidad de muestra compuestas tomadas por hora se determinó mediante la siguiente operación matemática proporcionada por la ITOXDEF (2016):

Ecuación 4.- Cantidad de toma de muestra

$$V_i = Q_i * V / Q_p * n$$

Donde:

V_i = volumen de alícuota de muestra

Q_i = caudal a la hora de la muestra

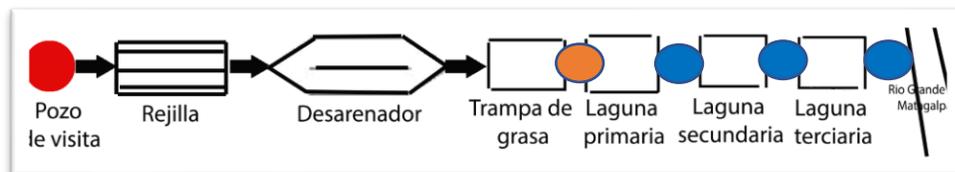
V = volumen total del recipiente

Q_p = caudal promedio

N = número de muestras integrales tomadas a las diferentes horas.

Esta ecuación indicara la toma de muestras necesaria que se extraerán de los puntos de muestreo (ver esquema cuatro), para los estudios de laboratorio de DBO_5 , fósforo total y coliformes totales y fecales.

Esquema 4.- Puntos de recolección de muestra



- Referencias de punto de recolección de muestra en el efluente de cada laguna.
- : Referencia de punto de recolección de muestra en el afluente del STAR

4.2.2.2 Análisis del Decreto 33 – 95, Decreto 21 – 2017

Se realizó una comparación de los datos obtenidos de los laboratorios con lo que el regula el Decreto 33 – 95 reporta en sus artículos N°22, N°23 y N°25.

Donde el artículo N°22 del Decreto 33-95 menciona que “Los límites máximos permisibles de coliformes fecales medidos como número más probable no deberá

exceder de 1000 por cada 100 en el 80%; de una serie de muestras consecutivas y en ningún caso superior a 5000 por cada 100 mL”.

Con respecto al artículo 25 según el Decreto 33 - 95, los parámetros de los nutrientes (fosforo total), serán fijados por el Ministerio del Ambiente y Los Recursos Naturales (MARENA) de acuerdo a las características del cuerpo receptor para las descargas de las aguas a cuerpos receptores.

Además, cuando la presente investigación se empezó se utilizó el Decreto 33 – 95 y después se derogó al Decreto 21 – 2017, como se muestra en la tabla siete no existe mucha diferencia con sus rangos máximos permisibles y lo único que cambia es con respecto a los nutrientes que este nuevo decreto ya establece un rango definido sin la necesidad de que MARENA intervenga, y este no establece los límites de descarga de agua residual por número de pobladores.

Tabla 6.- Valores máximos permisibles por el Decreto 33 – 95 y 21 – 2017

Parámetros	Rangos y valores máximos permisibles del decreto 33 - 95	Rangos y valores máximos permisibles del decreto 21 - 2017
DBO ₅ (mg/l)	110	100
Fosforo total (mg/l)	-	10
Coliforme fecal (NMP)	1x10 ³	Se aplica un principio de gradualidad

4.2.2.3 Demanda bioquímica de oxígeno

Para determinar la cantidad de DBO₅, que se encuentra en el STAR de Sébaco, los laboratoristas incuban la muestra a 20 °C por cinco días, este valor se delimita 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 materia orgánica en la muestra.

4.2.2.4 Fósforo total

El método propuesto para determinar fosfatos se basa en la formación de un hetero poliacido con el reactivo vanado-molibdico (de color amarillo y soluble en agua) cuya absorción de luz se mide a 420 nm.

4.2.2.5 Coliformes totales y fecales

Este proceso de identificación de Coliformes, se realizó mediante la técnica de tubos de fermentación o números más probables (NMP) publicado por la American Public Health Association (1980), el cual usa como medios de cultivos caldo Lauril Sulfato y Caldo Bilis Verde Brillante, indicado para la cuantificación de Coliformes totales (CT) y fecales (CF).

4.2.3 Determinación de carga orgánica

a. Carga orgánica total

Para la determinación de la carga orgánica total a tratar, se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación 5.- Determinación de carga orgánica total

$COT = \text{concentración} \times \text{caudal} \times 0.0864$

Donde:

Concentración: Valores de DBO_5 en el efluente de diferentes unidades de tratamiento, como son: laguna primaria, laguna secundaria y laguna terciaria, expresada en mg/L.

Caudal: caudal promedio expresado en L/s

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

Una vez obtenidos los valores de concentraciones con respecto a DBO_5 y caudal promedio en el efluente del tratamiento primario y secundario, se procede al cálculo del aporte de carga orgánica que es liberada al Rio Grande de Matagalpa.

b. Carga orgánica per cápita

Para poder realizar la carga orgánica per cápita se debe de conocer la carga orgánica total y cuántos habitantes están conectados al sistema, una vez obtenidos esos datos se debe de aplicar la ecuación seis.

Ecuación 6.- Carga orgánica per cápita

$$\text{Carga per cápita} = \frac{\text{carga organica total}}{\text{población}}$$

c. Determinación de carga orgánica superficial

- **Método de Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), Mc Garry & Pecod (1970)**

Este método propone determinar la carga superficial máxima (Csm) mediante la ecuación siete:

Ecuación 7.- Carga superficial máxima

$$Csm = 60.26 (1.0993)^{T_a}$$

Donde:

Ta: es la temperatura en °C, en el mes más frío del aire.

d. Determinación de carga orgánica superficial aplicada real

Esta se calcula mediante los valores de concentración obtenidos a través de DBO₅, caudal promedio y el área real de la laguna, de tal forma, se expresa en la ecuación ocho:

Ecuación 8.- Carga orgánica superficial aplicada

$$Csa = \frac{\text{Concentración} \times \text{Caudal}}{\text{Área laguna}}$$

e. Remoción esperada de materia orgánica

Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$CSR = 7.67 + 0.8063 * Csa$$

Donde:

Csa= carga orgánica superficial a aplicar.

f. Determinación de nutrientes en función de Fosforo

Para la determinación de la carga nutriente se hará en función del fosforo mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 9.- Concentración de fosforo

$$CN_{\text{Fosforo}} = \text{concentración} \times \text{caudal} \times 0.0864$$

Donde:

Concentración = valores de concentración de Fosforo en el efluente de las diferentes unidades de tratamiento, como son: laguna primaria, laguna secundaria y laguna terciaria, expresada en mg/L.

Caudal = caudal promedio expresado en L/s

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

Una vez obtenidos los valores de concentraciones con respecto a fosforo y caudal promedio en el efluente del tratamiento primario y secundario, se procediera a calcular del aporte de carga de nutrientes que es liberada al Rio Grande de Matagalpa.

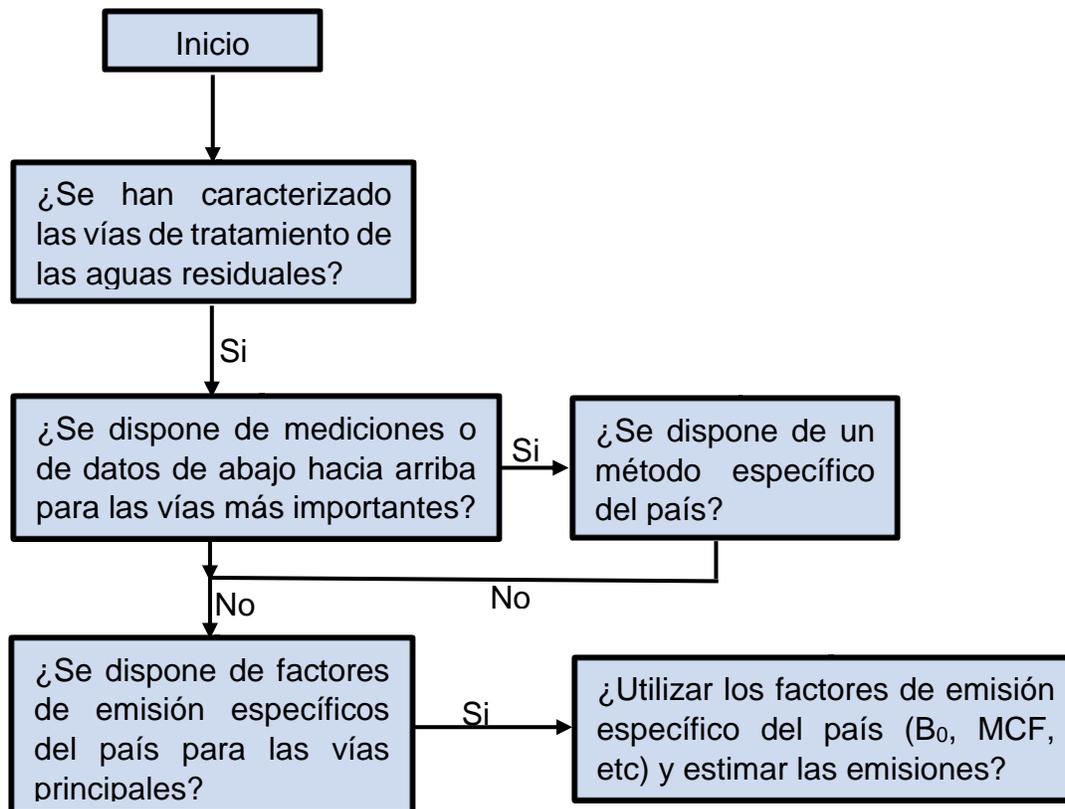
Para la obtención de las cargas contaminantes expresadas en función de carga orgánica y nutrientes se averiguará en la filial de ENACAL, la cantidad de conexiones existentes al alcantarillado.

4.2.4 Determinación de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) por el método de recopilación de dato

Antes de poder calcular las emisiones de GEI (CH₄), en el STAR de Sébaco se debe de conocer en qué nivel se encuentra Nicaragua, esto se explica en el *capítulo II, acápite*

2.6.2, además mediante el árbol de decisiones que se encuentra en el esquema cinco se observa de forma más clara el nivel al que pertenece el país, se incluirá también la fórmula del nivel uno llamada método del examen.

Esquema 5 .- Árbol de decisión para estimar las emisiones de CH₄ procedentes de las aguas residuales domésticas



Recuadro 2: Nivel 2

Fuente: IPCC (2006)

Una vez que se determina el nivel en que se encuentra el país, se utilizó la ecuación del método de recopilación de datos, estipulada por el software de buenas prácticas (IPCC, 2006) para conocer las emisiones de CH₄ en el sistema se utiliza la ecuación 10.

Ecuación 10.- Determinación de CH₄

$$\text{Emisiones de CH}_4 = \left[\sum_{i,j} (U_i * T_{i,j} * EF_j) \right] (TOW-S) - R$$

Donde:

- Emisiones de CH₄ = emisiones de CH₄ durante el año del inventario, kg de CH₄/año.
- TOW = total de materia orgánica en las aguas residuales del año del inventario, kg de BOD/año
- S = componente orgánico separado como lodo durante el año del inventario, kg de BOD/año
- U_i = fracción de la población del grupo de ingresos i en el año de inventario, véase tabla seis.
- T_{i,j} = grado de utilización de vía o sistema de tratamiento y/o eliminación j, para cada fracción de grupo de ingresos i en el año del inventario.
- i = grupo de ingresos: rural, urbano de altos ingresos y urbano de bajos ingresos.
- j = cada vía o sistema de tratamiento/eliminación
- EF_j = factor de emisión, kg de CH₄/kg de BOD

4.2.4.1 Elección de los factores de emisión

Para encontrar los factores de emisión de CH₄, se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 11.- Elección de factores de emisión

$$EF_j = B_o * MCF_j$$

Donde:

EF_j = factor de emisión, kg de CH₄/kg de BOD

j = cada vía o sistema de tratamiento y/o eliminación

B_o = capacidad máxima de producción de CH₄, kg de CH₄/kg de COD

MCFj = factor corrector para el metano (fracción)

Cabe mencionar que según el PIENSA, el factor corrector del CH₄ es de 0.22, basado a juicio de expertos y estudios, se utiliza este factor ya que es un dato previamente calculado para las lagunas de estabilización de Nicaragua.

Además, para poder mantener coherencia con los datos de la actividad, se reporta en la siguiente tabla los valores por defecto para el potencial máximo de producción de CH₄ para las aguas residuales domésticas, ya que se utilizará en base a lo recomendado por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático o como sus siglas en inglés IPCC.

Tabla 7.- Capacidad máxima de producción de CH₄ (B₀)

0,6 kg De CH ₄ /kg De BOD
0,25 kg De CH ₄ /kg De BOD
Fuente: Basado en dictamen de expertos realizado por los autores principales y en DOOM et al., (1997)

4.2.4.2 Elección de los datos de la actividad

Para esta categoría se utiliza la cantidad total de materia orgánica degradable en las aguas residuales o por sus siglas en inglés TOW. Este parámetro es una función de la población humana y del índice de generación de DBO₅ por persona. Se expresa en términos de requisito bioquímico de oxígeno (Kg De DBO₅/año) la ecuación es la siguiente:

Ecuación 12.- Total de materia degradable

$$TOW = P * BOD * 0.001 * I * 3.65$$

Donde:

TOW = total de materia orgánica en las aguas residuales, kg de BOD/año.

P = población conectada en el año del inventario.

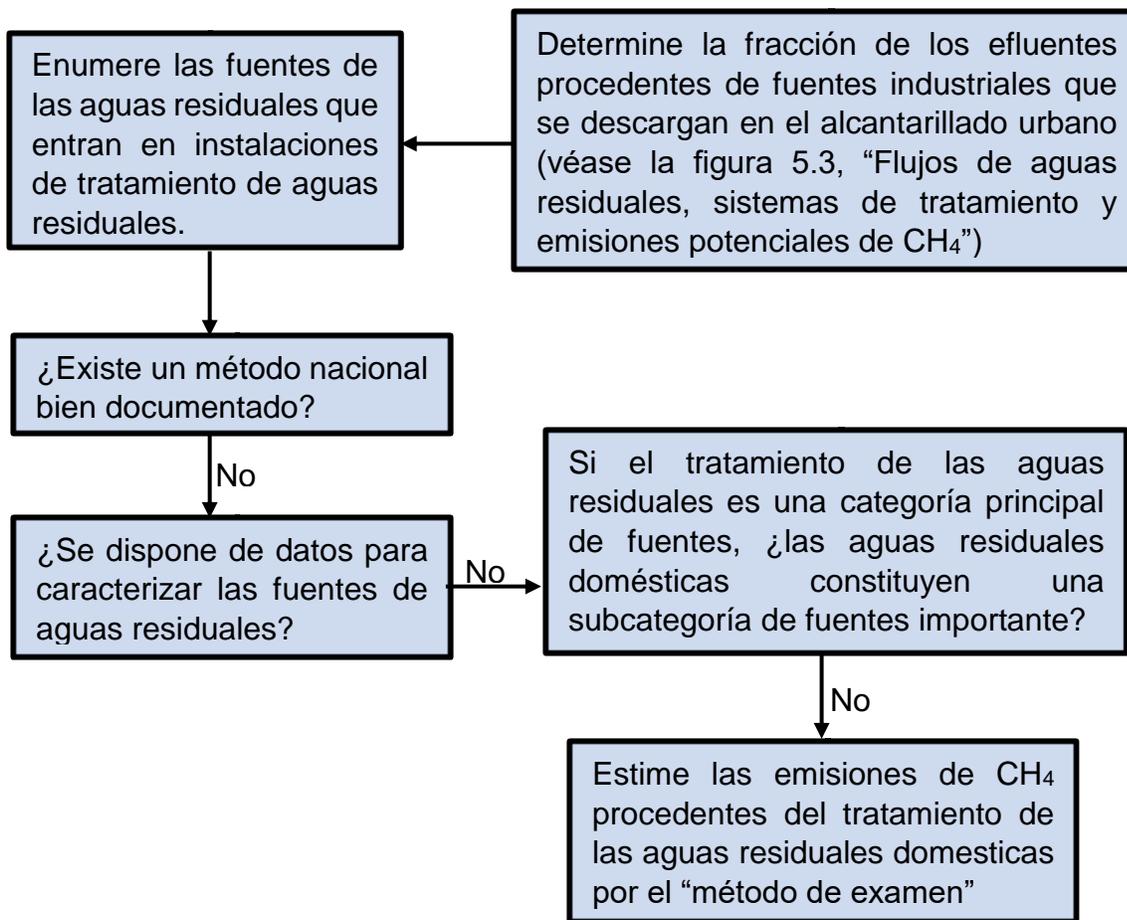
BOD = Carga orgánica en función de DBO₅, g/persona/día, software de buenas prácticas ambientales (IPCC 2006).

I = factor de corrección para BOD industrial adicional eliminado en las cloacas (si es recolectado el valor por defecto es 1,25, si no es recolectado el valor por defecto es 1,00.)

4.2.5 Estimación de GEI por el método de examen del IPCC

Antes de aplicar la fórmula se debe de conocer, la situación en la que se encuentra el sistema, es decir, si se cuenta con lo requerido para poder aplicar la fórmula de este método, para ello se cuenta con el siguiente esquema.

Esquema 6.- Elección según el método de examen de la IPCC



Fuente: IPCC (2006)

Recuadro 1

Se determino las emisiones de GEI mediante la siguiente ecuación.

$$WM=P*D*SBF*FE*FTA*365*10^{-12}$$

Donde:

WM = emisión anual de CH₄ procedente de aguas residuales domésticas, por país (Tg)

P = población nacional o urbana de algunos países en desarrollo (número de personas)

D = carga orgánica en la demanda bioquímica de oxígeno por persona (g de DBO₅/persona/día), valor general por defecto = 60 g de DBO/persona/día

SBF = fracción de la DBO que se sedimenta rápidamente, valor por defecto = 0,5

FE = factor de emisión (gr de CH₄/g de DBO₅), valor por defecto = 0,6

FTA = fracción de la DBO presente en los lodos que se degrada anaeróbicamente, valor por defecto = 0,8

Nota: para la carga orgánica con respecto al DBO₅ se utiliza los datos del país, si no se cuenta utilizar el recomendado por la IPCC.



Líder en Ciencia y Tecnología

CAPÍTULO V. RESULTADOS

“Olvidamos que el ciclo de la vida
y el ciclo del agua son uno mismo”.
Jacques Cousteau.

CAPÍTULO V. RESULTADOS

5.1 Variaciones de caudales mediante un periodo de 24 horas

La medición de los caudales en el sistema, se realizan con el fin de poder conocer el gasto diario que la población realiza, con el propósito de tener un control de las aguas que entran en el sistema y de esta manera evitar el mal funcionamiento en las unidades de tratamiento.

Con respecto al gasto que se ejerce en la ciudad de Sébaco, este se reporta en la tabla nueve donde se muestran los resultados del día jueves que se obtuvieron de los aforos efectuados durante cinco días consecutivos en un período de 24 horas.

En el grafico se reflejan los caudales mínimos, medios y máximos, los cuales ingresan al STAR como afluente y efluente durante cinco días consecutivos.

Tabla 8.- Registro de medición de caudal día jueves 13 de julio

Hora	Afluente		Efluente	
	(Canaleta Parshall)		(Canaleta Parshall)	
	H	Caudal	H	Caudal
	(cm)	(L/s)	(cm)	(L/s)
06:00 a. m.	4	3.90 L/s	4	2.30 L/s
07:00 a. m.	5	5.50 L/s	5	3.20 L/s
08:00 a. m.	6	7.20 L/s	5	3.20 L/s
09:00 a. m.	6	7.20 L/s	5	3.20 L/s
10:00 a. m.	6	7.20 L/s	5	3.20 L/s
11:00 a. m.	6	7.20 L/s	5	3.20 L/s
12:00 p. m.	6	7.20 L/s	6	4.30 L/s
01:00 p. m.	4	3.90 L/s	6	4.30 L/s
02:00 p. m.	3	2.60 L/s	6	4.30 L/s
03:00 p. m.	4	3.90 L/s	6	4.30 L/s
04:00 p. m.	4	3.90 L/s	7	5.30 L/s
05:00 p. m.	4	3.90 L/s	7	5.30 L/s
06:00 p. m.	5	5.50 L/s	6	4.30 L/s
07:00 p. m.	5	5.50 L/s	5	3.20 L/s
08:00 p. m.	5	5.50 L/s	5	3.20 L/s
09:00 p. m.	4	3.90 L/s	5	3.20 L/s
10:00 p. m.	4	3.90 L/s	4	2.30 L/s

Hora	Afluente		Efluente	
	(Canaleta Parshall)		(Canaleta Parshall)	
	H	Caudal	H	Caudal
	(cm)	(L/s)	(cm)	(L/s)
11:00 p. m.	4	3.90 L/s	4	2.30 L/s
12:00 a. m.	3	2.60 L/s	4	2.30 L/s
01:00 a. m.	3	2.60 L/s	3	1.50 L/s
02:00 a. m.	3	2.60 L/s	3	1.50 L/s
03:00 a. m.	3	2.60 L/s	3	1.50 L/s
04:00 a. m.	2	1.40 L/s	2	0.90 L/s
05:00 a. m.	2	1.40 L/s	3	1.50 L/s
	Caudal afluente	378.00 m3/día	Caudal efluente	265.68 m3/día
	Promedio	4.38 L/s	Promedio	3.08 L/s

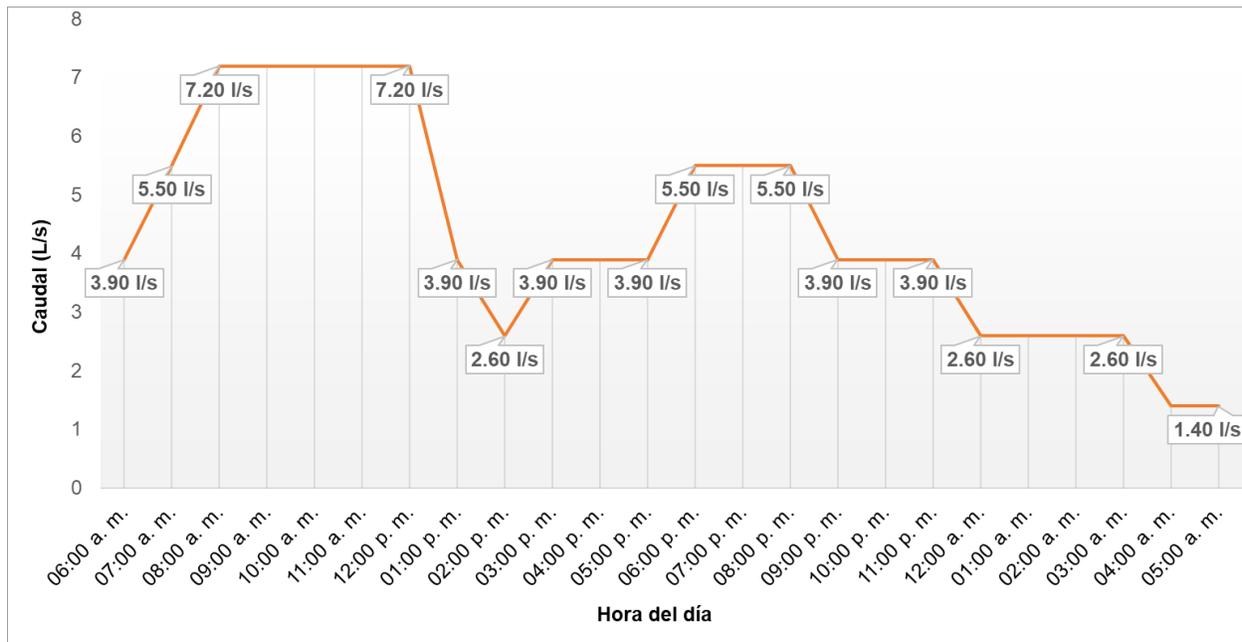
Donde:

- : Es el caudal máximo registrado en el día.
- : Caudal medio.
- : Caudal mínimo.

Una vez calculado los caudales de los cuatro días aforados, se procedió a realizar los histogramas para poder contemplar de una forma más clara el comportamiento de estos, alcanzando los caudales máximos, medios y mínimos obtenido del afluente y efluente, para observar las variaciones que existen en el STAR.

Además, se consideró iniciar la investigación el día miércoles y finalizar el día domingo debido a que la ciudad aumentan sus actividades durante esos días, y se reporta un incremento mayos en los gastos de las aguas.

Gráfico 1.- Caudal del afluente día jueves



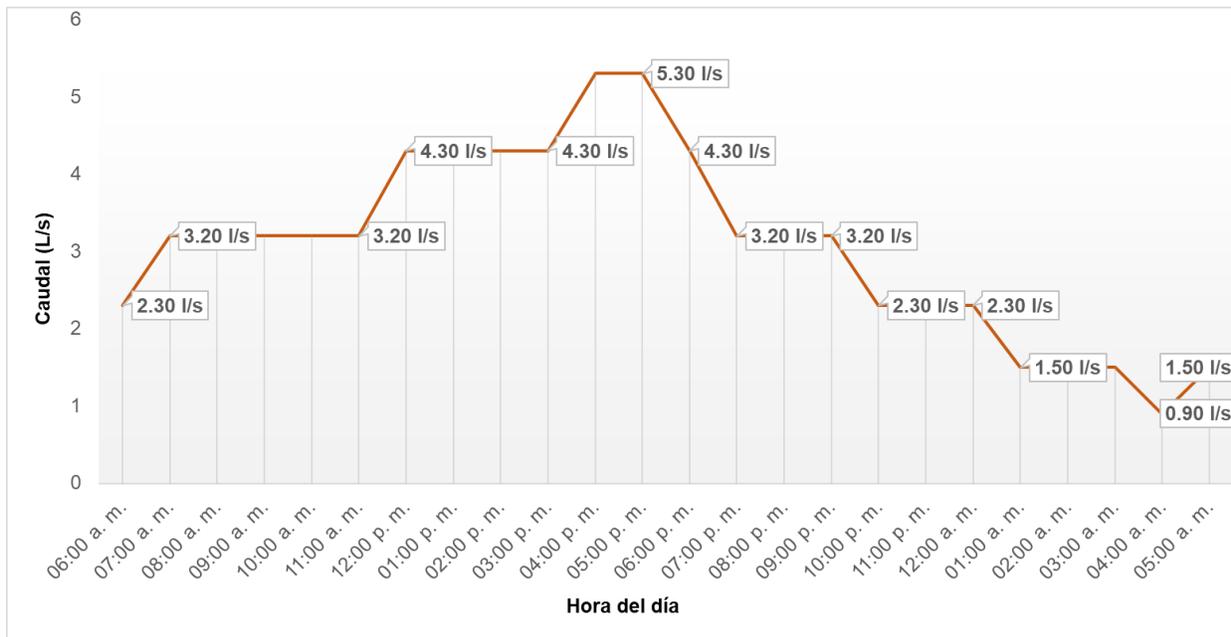
Si se observa el gráfico uno, este reporta que el caudal máximo en el afluente del día jueves es de 7.20 L/s, este va disminuyendo debido a que las actividades de los habitantes se reducen en el transcurso del día.

Con respecto a los demás días mediante la toma de los caudales, se registró que el día viernes aumentó debido a que los habitantes que trabajan o estudian fuera empiezan a llegar a la ciudad obteniendo un máximo de 9.10 L/s; el día sábado se observó que es su día con mayor gasto, dado a que las amas de casa lavan, los habitantes realizan más actividades, aumentando de esta manera los caudales del STAR registrando un máximo de 11.10 L/s; el día domingo disminuyen debido que empiezan a viajar ya sea por trabajos fuera de la ciudad o por estudios universitarios, registrando un valor máximo de 7.20 L/s se presentan en los anexos b los demás días registrados.

En lo que atañe a la hora con mayor gasto en el afluente, estos oscilan entre las 08:00 a.m. y 12:00 p.m., esto quiere decir que en Sébaco inician sus labores domésticas entre ese lapso de tiempo; a partir de la 1 p.m. empiezan a reducir dichas tareas por lo que el caudal empieza a disminuir, pero el sistema registra que su hora con menor demanda

ocurre a partir de las 9 p.m. y 5 a.m. ya cuando los habitantes finalizaron todas sus actividades diarias.

Gráfico 2.- Caudal del efluente día jueves



Por otro lado en el efluente, mediante el grafico dos se reporta un caudal máximo de 5.30 L/s en el día jueves, estos disminuyen a 3.20 L/s en viernes y aumentan a 4.30 L/s el sábado y domingo; esto se da porque las aguas residuales de la laguna secundaria al momento de pasar por la tubería hacia el canal se saturan de lodo, para que esto no ocurra el operador debe de golpear con una varilla dentro de la tubería para poder remover los lodos y dar paso a las aguas a la laguna terciaria, pero debido a que esta actividad no la realiza diariamente, en el efluente siempre se encuentra con lecturas muy baja en sus caudales.

Cabe señalar que el incremento de las aguas que entran en el STAR no depende precisamente de las horas con mayor demanda, es decir que el tiempo en que las aguas tardan en llegar al sistema a través de las redes de alcantarillado sanitario depende de la distancia que existe entre las personas conectadas, y por esta razón cuando se afora los días antes dichos no coinciden los valores en su hora pico.

Por otro lado, los caudales promedios que se obtuvieron de los aforos durante los cuatro días, varían un poco con respecto a los reportados por ENACAL y GIZ, para comprender de lo que se explica observar la tabla 10.

Tabla 9.- Datos históricos del caudal del STAR de Sébaco

Caudales	Caudal promedio afluyente	
	m ³ /día	L/s
Caudal de diseño de ENACAL 2007	1494.72	17.30
GIZ 2012	432.00	5.00
ENACAL 2016	454.00	5.25
Actual 2017	461.376	5.34

Los caudales que se tienen registrado, se pueden observar que existe una clara variación entre estos; en el año 2007 el STAR de Sébaco inicia su operación; el sistema se diseñó para poder tratar un caudal máximo de 17.30 L/s, para una población de diseño de 9,888 habitantes.

Dado que el sistema se localiza al oeste de la ciudad, este se encuentra en una zona no muy favorable, debido a que solo puede cubrir a un 35% de la ciudad que drena por gravedad al sistema; ENACAL al momento de realizar el diseño pensaron en que en un futuro la población que aún no se le da el servicio estarían conectados a la red sanitaria, pero debido a que se debe proponer un sistema de bombeo para poder atender al 65% restante; los pobladores por el costo del proyecto prefieren seguir utilizando letrinas y pozos sépticos, por lo que solo se atendía a 3,883 hab.

Es para el año 2012 que GIZ realiza las primeras lecturas de los caudales obteniendo un máximo de 5 L/s, es evidente que el sistema registra apenas un 28.9% del caudal de diseño con una diferencia de 12.30 L/s, esto ocurre debido a que en el año corriente aún se trata a la misma cantidad de habitante.

ENACAL en el año 2016, registro un caudal de 5.25 L/s, esto se da a que en ese año se aumentó la cantidad atendida a 4027 habitantes, esto quiere decir que solo 144 personas se unieron a la red de alcantarillado sanitario, como se observa solo una pequeña porción

de la población se conectó, por lo que su caudal vario poco con lo registrado anteriormente, debido a que presenta el mismo problema que en el año 2012.

En el año 2017 se reportó que el caudal no aumentó significativamente, aunque el sistema atiende actualmente a una población de 4, 704 habitantes esto quiere decir que el número de personas incremento a 677, pero siempre presenta el mismo problema que en años anteriores, debido a esto el sistema solo logra registrar como máximo un caudal de 5.34 L/s actualmente.

Además, existen dos factores importantes del porque no se atiende a más habitantes por la cual no se llega al caudal de diseño y esas son las siguientes:

- Debido a su topografía, ya que en la zona oeste esta su mayoría de población y esta dependerían de una estación de bombeo para poder recolectar las aguas hacia el STAR.
- Esto aumentaría el costo para los habitantes de la zona este por lo antes mencionado.

5.2 Determinación del periodo de retención

5.2.1 Caudal de las lagunas mediante el balance hídrico

De acuerdo con estudios que ha realizado Sokalov A.A. en el año 2010, determina que el balance hídrico, se basa en la aplicación del principio de la conservación de la masa, conocido como una ecuación de continuidad.

Este autor establece que para cualquier volumen arbitrario y durante cualquier periodo de tiempo, la diferencia entre las entradas y salidas estará condicionada por la variación del volumen de agua almacenada, esto se puede encontrar en los “*Métodos de cálculo del balance hídrico editado por Sokalov y Chapman en el acápite 2.1*”.

En el cuanto a las lagunas de Sébaco no se tomó en cuenta la infiltración y precipitación para calcular el balance hídrico, es decir que se trabajó únicamente con la evaporación.

Como se mencionó anteriormente, no se toma en cuenta la infiltración debido a que en las lagunas en sus bases poseen una capa de arcilla de 20 cm bien compacta, esto hace que las lagunas se encuentren impermeabilizada y por esta razón no se considera el efecto de esta variable.

Con respecto a la precipitación estas lagunas poseen en sus extremos tres tuberías T esto se puede observar en el Anexo B; con el fin de servir como un vertedero de demasía el cual se conectan con los canales con el fin de que el agua circule y evitar que excedan su volumen.

Por otro lado, se toma la evaporación como única variable que afecta el balance hídrico, debido a que este proceso hace que las moléculas del agua aumenten su nivel de agitación debido a la temperatura y dado que están en una superficie libre estas escapan a la atmosfera.

Pero para determinar este parámetro se utilizó un promedio previamente antes estudiado por la estación meteorológica de San Isidro realizada por Raúl González, siendo los valores del año de estudio y la estación más cerca de Sébaco, por lo que el balance queda de la siguiente manera:

Tabla 10.- Determinación del caudal de la laguna mediante el balance hídrico

Unidades de tratamiento	Área	Caudal promedio por día	Evaporación	Caudal de lagunas
Laguna primaria	6808 m ²	461.34 m ³ /día	5.80 mm/día	4.88 L/s
Laguna secundaria	5145 m ²	461.34 m ³ /día	5.80 mm/día	4.99 L/s
Laguna terciaria	6380.01 m ²	461.34 m ³ /día	5.80 mm/día	4.91 L/s

5.2.2 Determinación del periodo de retención (TRH)

Para los periodos de retención en las lagunas se realizó mediante la fórmula de Arthur, (1984), por lo que en la tabla 12 se muestra lo siguiente.

Tabla 11.- Periodo de retención hidráulico (TRH)

Fase de tratamiento	Caudal promedio (m ³ /día)	Volumen (m ³)	THR (días)
Laguna primaria	421.632	10,212.000	24.220
Laguna secundaria	431.136	6,174.000	14.320
Laguna terciaria	424.224	7,656.012	18.047

La función que se tiene como objetivo el TRH, es el de eliminar lo más que se pueda las cargas contaminantes de las aguas residuales, por lo que sus valores se reportan en días. Sébaco reporta que el tiempo de retención es muy alto con un total de 56.587 días esto se debe a que el sistema actualmente factura en promedio 432 m³/día de agua residual, cuando este se espera que reporte con un caudal de 1495 m³/día, provocando que las lagunas no se llenen completamente aumentando su periodo de retención.

Con respecto a la OMS/OPS este reporta que para poder remover las cargas contaminantes en un sistema lagunar este debe de retenerlas por un periodo de 10 días como mínimo, se puede decir que Sébaco cumple con lo estipulado por esta organización, además según lo que explica Arceivala (1973), el periodo para las lagunas facultativas puede variar entre siete a 110 días, para temperaturas que varían entre cinco a 25°C.

Yáñez establece que para poder calcular la retención hidráulica de un sistema toma en cuenta la temperatura y el porcentaje de remoción de DBO₅, para ello utiliza una tabla la cual se presenta a continuación.

Tabla 12.- Relación entre temperatura, tiempo de retención hidráulico y eficiencia en las lagunas facultativas

Temperatura °C	TRH, días	Remoción de DBO ₅ , %
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).

Según Yáñez, para las lagunas facultativa se debe de tener en cuenta la relación de la temperatura con la eficiencia de remoción, en Sébaco se cuenta con una temperatura promedio de 25°C, la eficiencia de remoción de DBO₅ en la laguna primaria es de 69.82%, como se observa en la tabla 15 los rango para temperaturas de ente 20 a 25°C deben de remover entre un 50 a 60% de la DBO₅, este exceso se da, debido a que la laguna no cuenta con la población que se espera ser atendida, para cumplir su caudal de diseño, provocando que las lagunas no se llenen completamente reteniendo las aguas residuales por más tiempo.

Además, el área total que presentan las lagunas es de 18,333.01 m², con una retención hidráulica total de 56.587 días, como se explicó este periodo de retención es muy elevado con respecto a lo recomendado por la OPS y Yáñez, pero debido a que el sistema cuenta con tres lagunas facultativa, y no cuenta con la población total que se esperaba ser atendida, el sistema presenta este tipo de retención, haciendo que su remoción con respecto a los patógenos es eficaz.

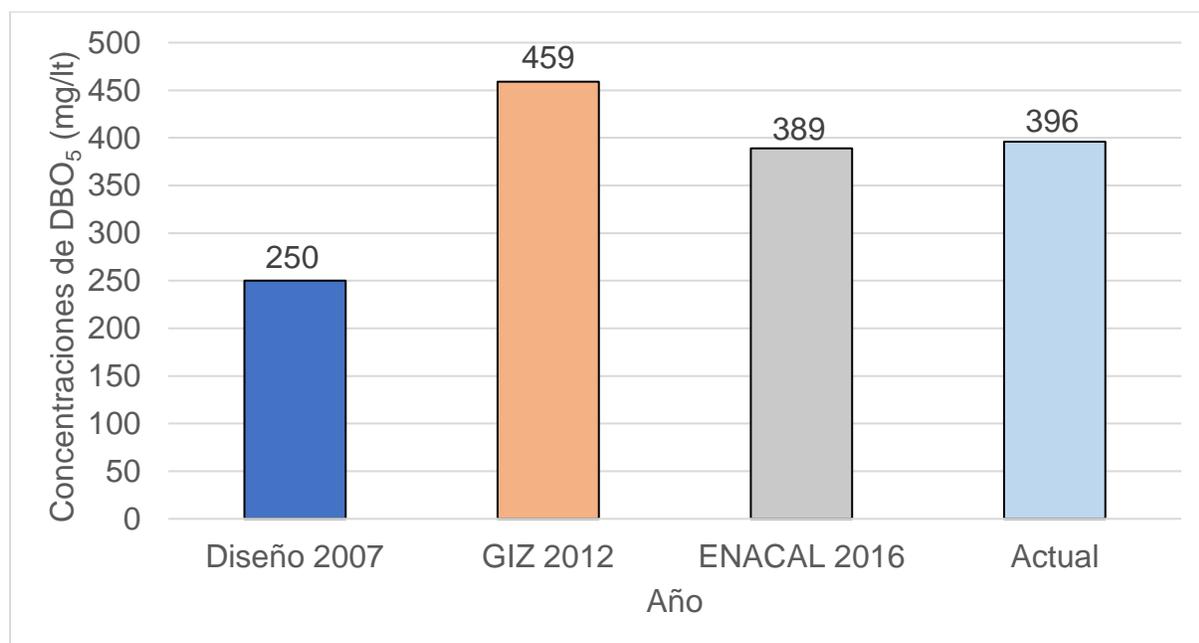
5.3 Resultados de análisis fisicoquímicos del STAR

Con respecto al DBO₅ se a documentado que este parámetro aumento, con lo propuesto por el diseñador del sistema y que este posee diferencias con lo reportado por ENACAL, GIZ y el investigado, estos datos se pueden encontrar en la tabla 14 donde se muestran los datos históricos que presenta el STAR en su afluente y en la tabla 17 su efluente, asi mismo su comparacion se expicó mediante los graficos tres y cuatro.

Tabla 13.- Datos históricos de DBO₅ en el afluente del STAR mg/L

Año investigado	DBO ₅ (mg/L)
Diseño 2007	250
GIZ 2012	459
ENACAL 2016	389
Actual	396

Gráfico 3.- Concentraciones de DBO₅ en el afluente del STAR



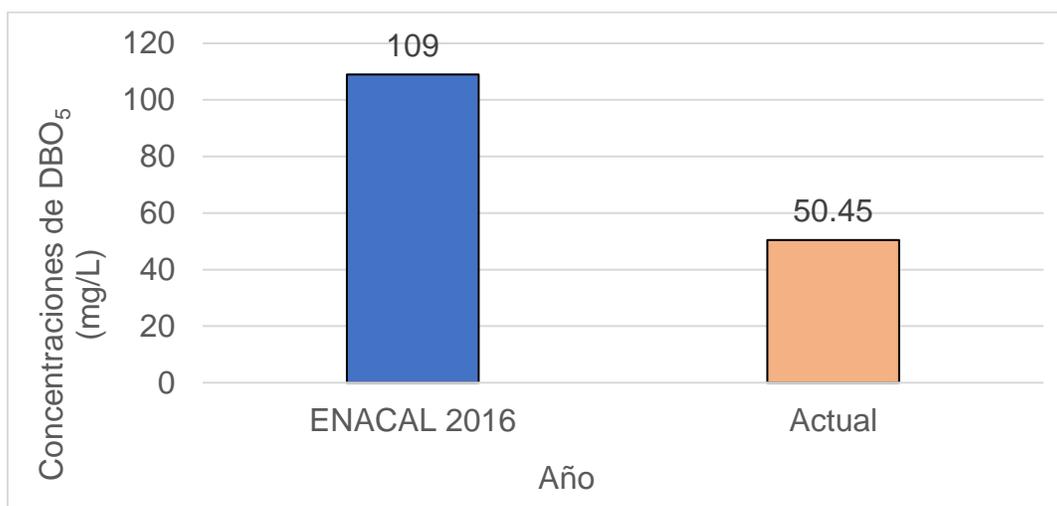
Como se puede observar en el grafico tres este, muestra que el DBO₅ que reporta GIZ es mayor que los reportados por ENACAL y el actual del sistema, esto se debe a que los de GIZ puede que tomaran las muestras de forma puntal o también puede que el mes que realizaron la investigación por diferentes factores climáticos resultaran alteradas, ENACAL así como el actual, al momento de tomar las muestras lo realiza de forma compuesta durante un periodo de 24 horas dando como resultado una lectura más real a lo que el sistema de tratamiento posee.

Por otro lado, con respecto al DBO₅ en el efluente del sistema solo se cuenta con dos datos existente los cuales se reportan en la tabla 15.

Tabla 14.- Datos históricos de DBO₅ en el efluente del STAR

Año investigado	DBO ₅ medidos en el STAR (mg/L)
ENACAL 2016	109
Actual	50.45

Gráfico 4.- Concentraciones de DBO₅ en el efluente del STAR



Con respecto al efluente, GIZ este no reporta de cuanto es el DBO₅ en la salida del STAR, además como se observa en el grafico cuatro que las concentraciones de DBO₅ de ENACAL son mayores que el actual, esto ocurre por la cantidad de oxígeno disuelto, dado que la laguna terciaria es facultativa y debido al ambiente que esta genera, puede que se encuentre un mayor crecimiento de algas y estas oxidan rápidamente la materia generando un ambiente aerobio.

5.4 Determinación de nutriente (fósforo total)

En la tabla 16 se muestran los resultados de la cantidad de nutrientes obtenidos de los puntos de muestreo, además se presenta el máximo permisible por el Decreto 21-2017.

Tabla 15.- Resultados de fósforo total vs Decreto 21-2017 en cada fase de tratamiento

Parámetros	Días de monitoreo			
	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Afluente	4.71 mg/L	8.663 mg/L	6.239 mg/L	3.254 mg/L
Efluente laguna primaria	2.53 mg/L	2.804 mg/L	3.173 mg/L	3.101 mg/L
Efluente laguna secundaria	1.75 mg/L	3.254 mg/L	2.788 mg/L	3.061 mg/L
Efluente STAR	1.75 mg/L	3.286 mg/L	1.777 mg/L	2.403 mg/L
Decreto 21-207	10.00 mg/L	10.00 mg/L	10.00 mg/L	10.00 mg/L

Como se menciona en el *capítulo IV acápite 4.2.2.2*, se explica por qué se realizó esta comparación con este Decreto con su artículo 26.

Este parámetro se debe de tener en cuenta debido a que ayuda al crecimiento de las algas, que a su vez estas ayudan a descomponer la materia orgánica por medio del oxígeno disuelto.

Además, se deben de tener en cuenta, que las algas generan un rol importante en el proceso biológico que las lagunas facultativas, es decir que las algas en niveles adecuados aseguran el funcionamiento de la fase aerobia; estas corren el riesgo de perder el equilibrio ecológico predominando una fase anaerobia en todo el sistema, reduciendo la eficiencia de las lagunas, si no se lleva un control de los nutrientes que remueven.

Gráfico 5.- Fosforo total en el efluente del STAR vs Decreto 21-2017



5.5 Determinación de coliformes fecales

El objetivo de realizar este análisis, es el observar si los coliformes se eliminan de manera adecuada a lo largo del tratamiento por lagunaje que realiza el sistema, analizando

únicamente su afluente y efluente, por lo cual los resultados obtenidos se reportan en la tabla 17.

Tabla 16.- Coliformes promedios del afluente y efluente vs el Decreto 33-95

Puntos de muestreo	Parámetros promedio
Afluente del STAR	1.23×10^7 NMP/100mL
Efluente del STAR	9.77×10^3 NMP/100mL
Decreto 33 - 95	1.00×10^3 NMP/100mL

De acuerdo Oakley (2005), con estudios realizados en lagunas de estabilización en el país de Honduras explica que: *“para lagunas facultativas se pueden remover de 2 a 3.5 ciclos de \log_{10} de coliformes con tiempos de retención de 7 a 23 días”*.

Es decir que las lagunas para que puedan remover estos ciclos se debe de tener en cuenta el tiempo de retención hidráulico.

Con lo que respecta a Sébaco al poseer tres lagunas facultativas en su arreglo de planta y a su tiempo de retención hidráulico que se reportó anteriormente, este se mantiene entre los rangos establecido por Oakley; en las lagunas facultativas del sistemas se observa que son capaces de remover hasta 2.3 ciclos de \log_{10} ; por lo que es notable que en el STAR entra con una cantidad alta de 1.23×10^7 NMP/100 mL de coliformes, y estas cuando pasan por las lagunas se reducen a 9.77×10^3 NMP/100mL en su efluente general.

Para que estos ciclos puedan llevarse a cabo, el sistema debe de poseer un buen diseño hidráulicamente, con tiempos de retención que se aproximen al mínimo establecido por la OMS que es de 10 días con temperaturas iguales a 25°C.

Además, Oakley explica que para lagunas facultativa que poseen mamparas, los ciclos que se pueden obtener con respecto a la remoción de coliformes varían entre uno a 2.6 ciclos de \log_{10} , para tiempos de retención hidráulica de 3 a 7 días.

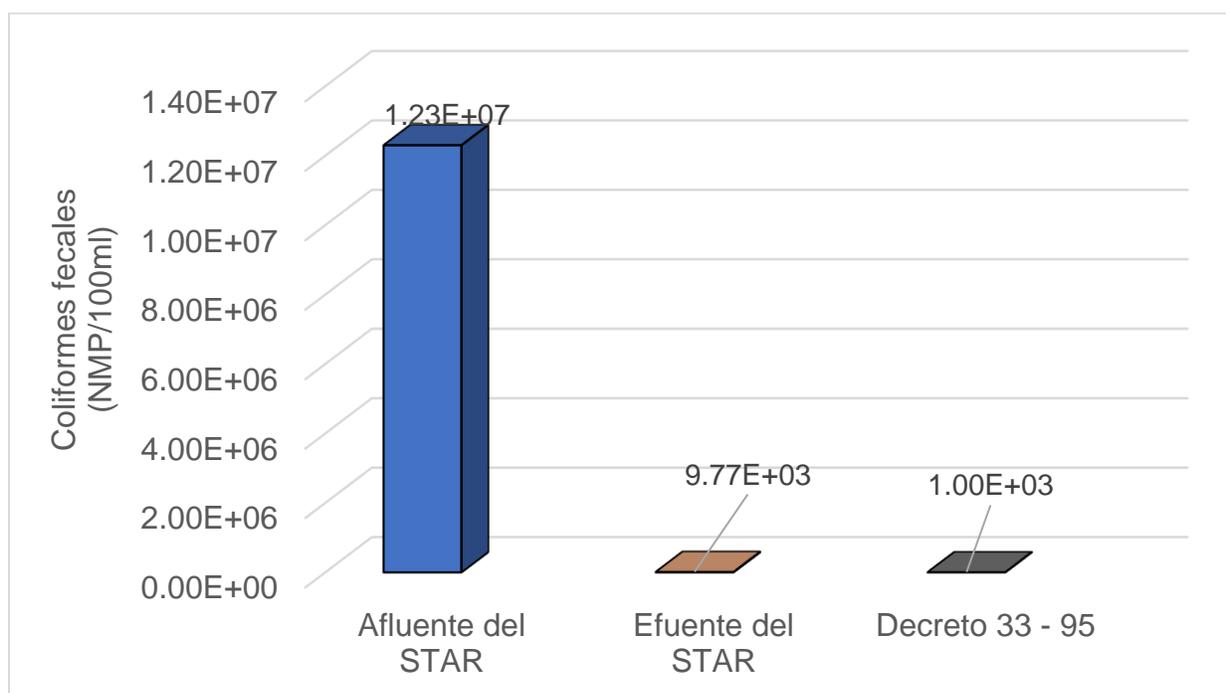
Dado que en las lagunas secundaria y terciaria se usa mamparas para poder modelar un flujo pistón, estas lagunas presentaran más remoción de coliforme que la primaria,

debido a que estas presentan rangos de retención hidráulico mayores a los que afirma Oakley, pero su ciclo de remoción siempre es igual que al de la primaria.

Así mismo el Decreto 33 – 95 reporta que para descargar, los efluentes de un sistema de tratamiento deben de cumplir con un máximo de 1×10^3 NMP/100 mL, es evidente que en los sistemas actuales esto no ocurre debido a que en Nicaragua como en Centro América consideran como un indicador los coliforme y no como un patógeno, es por ello que los sistemas en el país difícilmente pueden llegar a efectuar con sus normativas, logrando de esta manera la comparación con los datos obtenidos vs el Decreto 33 - 95 .

Obteniendo el grafico en el cual se puede observar mejor la remoción de los coliformes en el afluente y efluente vs el Decreto 33 – 95, además en el *anexo B acápite c* se puede encontrar los coliformes de los días muestreados, así como los promediados.

Gráfico 6.- Coliformes fecales promedios en el afluente y efluente vs el Decreto 33-95



El Decreto 21-2017 conforme a los coliforme establece en su artículo 24 que: El limite permisible de coliformes fecales se regirá mediante el principio de gradualidad con el objetivo de lograr la aplicación de una mejor tecnología de practica disponible, para responder de manera progresiva a la disminución de la contaminación provenientes de

las descargas de aguas residuales, siempre y cuando el vertido no se deposite a cuerpos de agua donde se afecte la salud humana (manteniendo los rangos establecidos por el Ministerio de Salud). Por lo que se establecen los siguientes límites y periodos de tiempo:

Tabla 17.- Límites y periodos establecidos por el Decreto 21-2017

Periodo de tiempo	2017- 2022	2023 - 2026	2027 - 2029
Coliformes fecales NMP/100mL	1.00E+05	1.00E+04	1.00E+03

Con respecto al principio de gradualidad que el Decreto reporta en su artículo 24, este no exige que los sistemas de tratamiento cumplan inmediatamente en coliformes fecales, este permite que se puedan realizar obras de mejoras en sus TRH y remoción de coliformes fecales, por lo cual implementan periodos de tiempo para que se ejecuten dichas mejoras con el fin de cumplir estas remociones en años, y no como se estipula en el Decreto 33 – 95.

5.6 Determinación de carga orgánica total

Antes de explicar la determinación de la carga orgánica, es preciso mencionar que se realizara mediante la DBO₅ promedio que se obtuvieron de los resultados de laboratorio.

Los resultados obtenidos de los monitoreo, demuestran que en cada fase de tratamiento se genera una carga orgánica debido a las concentraciones de DBO₅, esto se reporta en la tabla 19.

Tabla 18.- Carga orgánica total a tratar en función de DBO₅, y carga per cápita

Unidad de tratamiento	Concentración (mg/L)	Caudal Promedio (L/s)	Carga orgánica total (kg DBO ₅ /día)	Carga orgánica per cápita (X)
Laguna primaria	396	5.34	182.70	38.84 g/hab/día
Laguna secundaria	119.5	4.88	50.41	
Laguna Terciaria	88.25	4.99	38.08	
Efluente	50.45	4.91	21.41	
COT			292.60	

La carga orgánica total que actualmente posee el STAR de Sébaco es de 292.60 Kg DBO₅/día, ENACAL en el año 2016 reporta que el sistema recibe una carga total de 295 Kg DBO₅/día, mientras que GIZ (2012) reporta que el sistema fue diseñado con una carga orgánica de 373.68 Kg DBO₅/día, esto indica que en la ciudad hubo una disminución en la calidad de nivel de vida de los habitantes.

Sébaco según el mapa de pobreza extrema municipal de INIDE en el año 2008 (ver anexo B acápite), indica que se encuentra en pobreza alta, según en el informe del PIENSA en el año 2005 – 2010 se reporta que para municipios clasificados como pobreza alta la carga orgánica per cápita debe de estar en 35 gDBO₅/hab/día, por otro lado (INAA, 2005) en su guía de diseño detalla que la carga orgánica per cápita debe de ser menos de 30 gDBO₅/hab/día.

Talavera (2005) estipula que para el diseño de lagunas de estabilización se debe de utilizar un valor de 54 gDBO₅/hab/día, además Oakley afirma que para los diseños de lagunas no se debe de asumir una carga orgánica per cápita ni una concentración de DBO₅, ya que los resultados pueden variar significativamente.

Vanegas y Reyes (2016) realizaron una investigación acerca de la carga orgánica per cápita en el STAR de “El Patriarca” y “San Rafael del Sur” ellos reportan que el aporte de la primera ciudad es de 51.75 gDBO₅/hab/día, y en la otra es de 64.55 gDBO₅/hab/día siendo estos mayores según lo indicado por Talavera, en Sébaco se obtiene una carga per cápita de 38.84 gDBO₅/hab/día este no difiere mucho con los estudios realizados en el PIENSA e INAA.

Esto indica, que para los diseño en los sistemas lagunares se debe de caracterizar la carga orgánica para el diseño de lagunas, porque de no hacerlo los sistemas no estarán de acuerdo con respecto a su calidad en sus efluentes, por lo tanto se construirán sistemas de tamaños muy grandes o muy pequeños repercutiendo en la calidad de los mismo provocando una mala calidad de vertido en los cuerpos receptores

5.7 Determinación de carga orgánica superficial

Tabla 19.- Carga superficial máxima (CSM)

Unidad de tratamiento	CSM (kg DBO ₅ /Ha *día)	T= 13 °C
Laguna primaria	861.17	
Laguna secundaria	861.17	
Laguna terciaria	861.17	

La CSM se determinó con respecto a la temperatura del ambiente (Mc Garry & Pescod 1970), dando como resultado en las tres lagunas de Sébaco un valor de 861.17 kg DBO₅/Ha* día, esto significa que las tres lagunas que se encuentran en el STAR de Sébaco funcionan como lagunas facultativas y de acuerdo a la clasificación de lagunas de estabilización el cual se encuentra en la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense (NTON 05-02-05) la cual regula los STAR de Nicaragua define que: para que una laguna se encuentre en estado facultativo esta de encontrarse en un rango de 200 a 1000 kg DBO₅/Ha x días, demostrando de esta manera su estado facultativo.

Tabla 20.- Carga orgánica superficial aplicada real (CSA)

Unidad de tratamiento	CSA (Kg DBO ₅ / Ha*día)
Laguna primaria	268.37
Laguna secundaria	97.98
Laguna terciaria	59.69
Promedio	142.01

Esto quiere decir que el STAR es capaz de recibir una CSA promedio de 142.01 kg DBO₅/Ha*día y trabajar con procesos predominantemente facultativo. Estos resultados indican que las lagunas están operando adecuadamente ya que estas no exceden su carga superficial máxima.

5.8 Determinación de la eficiencia del STAR

Para conocer si el sistema realiza su debido funcionamiento, es necesario conocer la eficiencia de remoción de DBO₅, fosforo total y coliformes fecales que se encuentra en las aguas residuales para ello se puede observar la tabla 22

Tabla 21.- Eficiencias en el afluente y efluente general del STAR

Parámetro	Afluente	Efluente	Eficiencia %
DBO ₅ (mg/l)	396	50.45	87.26
Fosforo total (mg/l)	5.7175	2.45125	57.13
Coliforme Fecales (NMP/100 mL)	1.23E+07	9.77E+03	99.92
Coliformes totales (NMP/100 mL)	2.58E+07	6.97E+04	99.73

Una vez obtenidos los resultados de los laboratorios, se calculó un promedio de los días monitoreado para poder conocer la eficiencia que se genera en el STAR, se puede observar que el sistema logra remover un 87.26% de la concentración de DBO₅, una remoción de nutrientes de 57.13% y de coliformes casi el 100%, esto quiere decir que el sistema lagunar se encuentra en buen estado y debido a que se atiende a una cierta porción de los habitantes este aumenta su periodo de retención, lo que provoca que las aguas permanezcan por más tiempo en las lagunas logrando remover las cargas contaminantes casi a máximo.

5.9 Regulaciones ambientales

La DBO₅ es un parámetro importante en la caracterización de las aguas residuales, debido a que indica la cantidad aproximada de oxígeno que se requiere para poder estabilizar biológicamente la materia orgánica.

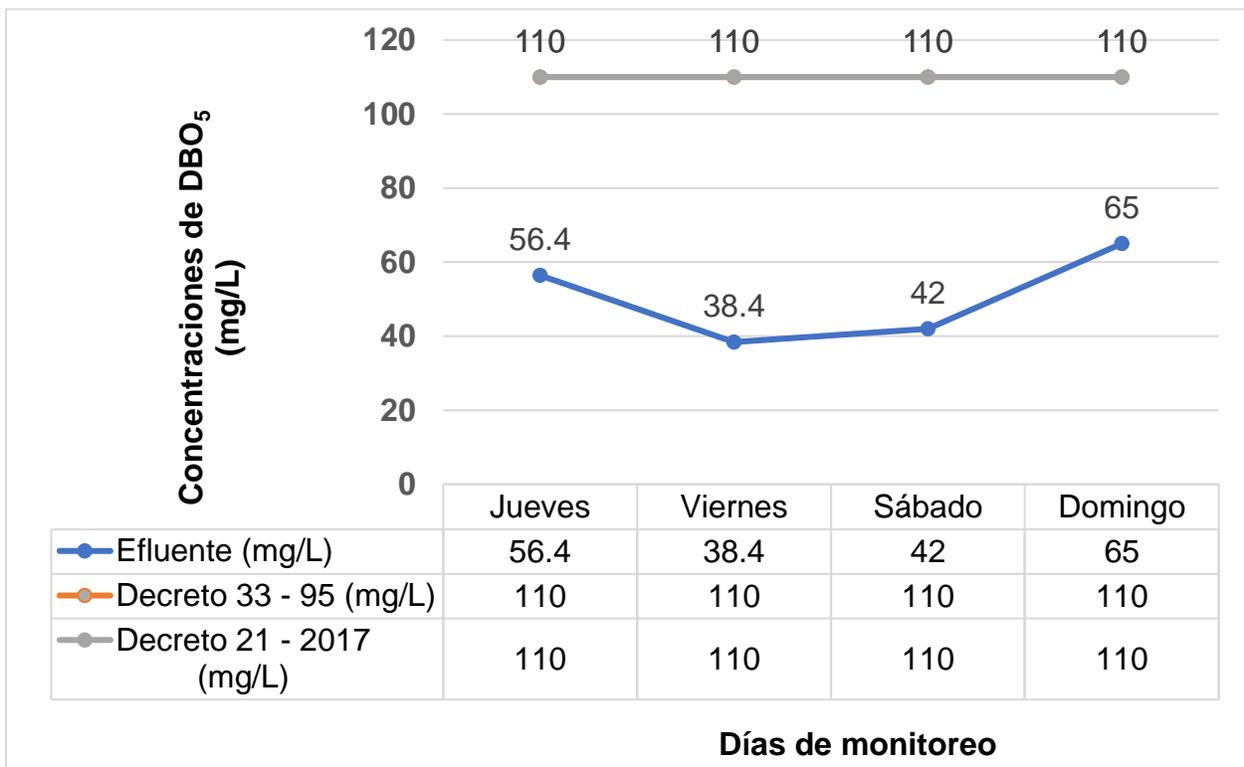
Además, este parámetro nos indica los contaminantes que las aguas residuales domesticas poseen, por lo que es necesario que cumpla con lo que establece el Decreto 33 – 95, debido a que son descargas en el cuerpo receptor de Sébaco que es el Rio Grande de Matagalpa.

Tabla 22.- DBO₅ del STAR en cada una de su fase de tratamiento vs Decreto 33 – 95

Parámetros	Días de monitoreo			
	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Afluente (mg/L)	464	340	336	444
Efluente laguna primaria (mg/L)	142	90	90	156
Efluente laguna secundaria(mg/L)	94	57	72	130
Efluente (mg/L)	56.4	38.4	42	65
Decreto 33 - 95 (mg/L)	110	110	110	110

Los resultados promedios obtenidos de los puntos de muestreo se pueden contemplar en la tabla 23, además en el grafico siete se observa como es el comportamiento de estos vs el Decreto 33 – 95, indicando que todos los días muestreados cumplen con el artículo 23 del mismo.

Gráfico 7.- Concentraciones de DBO₅ en el efluente general vs Decreto 33 – 95



Como se observa, estos se comportan de manera descendentes, obteniendo una variación en sus días muestreados, registrando el día domingo una mayor cantidad de oxígeno disuelto, esto quiere decir que hubo un mayor consumo de oxígeno por parte de los microorganismos debido a factores climáticos.

5.10 Determinación del CH₄ por métodos del IPCC

Antes de empezar con los cálculos para determinar la producción de metano en las lagunas de Sébaco se debe de aclarar que se aplicaran dos métodos, uno de ellos es el método para la recopilación de datos y el otro es el método del examen.

Como se estableció anteriormente, Nicaragua se encuentra en el nivel dos de acuerdo al software de buenas prácticas del IPCC, esto quiere decir que para calcular los datos y estimar la producción del metano se hará uso de datos previamente investigados por el PIENSA.

5.10.1 Método de recopilación de datos

Este método aplica para los países que se encuentran en el segundo nivel de acuerdo al árbol de decisiones que presenta en el *capítulo IV acápite 4.2.1 esquema cinco*, es de recopilación porque permite coleccionar datos específico de la zona en estudio para tener inventarios de las emisiones de CH₄, y puedan ser consideradas para futuras investigaciones.

5.10.1.1 Total de materia degradable

Para poder calcular las emisiones de gases de efecto invernadero (CH₄), primero se debe de tener en cuenta el total de materia degradable para esto se reporta la tabla 24.

Tabla 23.- Total de materia degradable (TOW)

Unidades de tratamiento	Población	Carga per cápita	I	TOW
Laguna primaria	4704.00 hab	38.84 g/hab/día	1	66,687.29 kg DBO ₅ /año
laguna secundaria	4704.00 hab	10.63 g/hab/día	1	18,258.88 kg DBO ₅ /año
laguna terciaria	4704.00 hab	8.10 g/hab/día	1	13,899.12 kg DBO ₅ /año
Efluente	4704.00 hab	4.55 g/hab/día	1	7,813.83 kg DBO ₅ /año
Total				106,659.12 kg DBO ₅ /año

Según el Informe Final del PIENSA (2005 – 2010) explica que las lagunas primarias siempre se encontrarán con una mayor emisión de CH₄ debido a que es en ellas donde ocurre una mayor sedimentación.

Por lo que es evidente, que el total de materia degradable se presente muy alto en la laguna primaria en comparación con las otras, debido a que las aguas residuales que entran de forma cruda a esta se encuentran con toda la carga orgánica que se da por los habitantes de la ciudad, generando una mayor cantidad de materia degradable.

Sébacó al contar con tres lagunas facultativas, y debido al ambiente que estas generan se puede encontrar CH₄ en sus lagunas secundaria y terciaria, lo que indica que la degradación de la materia es llevada a cabo por bacterias facultativas, sedimentando los sólidos de gran tamaño y obteniendo un fango anaeróbico; esta descomposición es llevada a cabo por compuestos orgánicos disueltos los cuales generan los gases de CH₄.

Por otro lado el factor de conversión de DBO₅ industrial (I), se toma un valor de uno debido a que en el sistema no se encuentran conectadas industrias que puedan ser consideradas en este estudio, si en un dado caso existieran este tipo de aguas en el sistema, este factor cambiaría a un valor de 1.25, según los basados por dictamen del IPCC realizado por Michierli R.J y William Irving, además algunos países disponen de información basada en las licencias industriales para descargar desechos y esto puede servir para mejorar el factor de conversión.

Cabe mencionar que para convertir la carga per cápita se utiliza un factor de conversión de 0.001.

5.10.1.2 Elección de factor de emisión de CH₄ (EF_j)

Con respecto a los factores de emisión de CH₄ para los sistemas de tratamiento de aguas residuales doméstica, se encuentra que en el país ya se ha realizado un estudio por parte del PIENSA, el cual determina que para sistemas de lagunas de estabilización su factor corrector para el CH₄ (MCF_j) es de 0.22 mientras que el IPCC indica que es de 0.8.

Con respecto a la capacidad máxima de producción de CH₄ (B₀), para poder mantener coherencia con los datos de esta actividad, es recomendable que se utilicen los datos específico del país, en caso de que no se cuente con un estudio acerca de esto se puede utilizar lo que recomienda el IPCC.

Debido a que se cuenta con el informe del PIENSA, sus autores recomiendan que este dato sea utilizado base a lo recomendó por el IPCC con un valor igual a 0.25 kg CH₄/kg DBO₅, por lo que la elección de factor de emisión queda reportada de la siguiente manera:

$$EF_j = 0.25 * 0.22 = 0.055 \text{ kg CH}_4 / \text{kg DBO}_5$$

5.10.1.3 Recuperación de CH₄ y componente orgánico separado (S)

Dado que en Nicaragua presenta pocos estudios realizados acerca de las emisiones de gases de efecto invernadero (CH₄), este no cuenta con datos que indiquen que la recuperación de metano se lleve a cabo en los sistemas de tratamiento, lo mismo ocurre con el componte orgánico separado, dado a la falta de datos acerca de lo abordado el valor que se tomará será de cero.

Además, es importante tener en cuenta la recuperación del CH₄, para futuros proyectos la ejecución de nuevas tecnologías que ayuden a reutilizar este gas como una fuente de energía limpia, por ejemplo: una implementación puede ser instalaciones de digestores anaeróbicos ya sea una construcción nueva o una modernización de los sistemas que ya existen, se utilizan en algunas países debido a que los lodos que se utilizan pueden

procesar biosólidos de las aguas residuales capaces de producir biogás, esto ayudaría al país para crear inventarios nacionales de GEI con respecto a la recuperación de CH₄ y componente orgánicos.

5.10.1.4 Fracción de la población del país (U_i) y grado de utilización de sistema de tratamiento (T_{ij})

Actualmente en Nicaragua para poder tratar las aguas residuales municipales, predominan los sistemas por lagunaje en el país, como se ha mencionado ya se ha realizado una investigación de gases de efecto invernadero por parte del PIENSA, este reporta que del 100 % de la población total del país solo el 57.3 % pertenece al área urbana y un 42.7% al sector rural, lo que indica que de 15 cabeceras departamentales solo 14 poseen una red de alcantarillado sanitario, entonces la fracción de la población del país en el año del inventario se tomara en base a lo investigado por parte del PIENSA.

Con respecto al grado de utilización (T_{ij}) en Nicaragua estos valores ya se han reportado por estudios hechos previamente aún se presentan déficit con respecto a la cantidad de habitantes que hacen uso de las vías de eliminación, por ello para presentar datos más cercanos a la realidad del país se hará base a lo recomendado por el *IPCC en su volumen 5 capítulo 6 cuadro 6.5* y se tomaran los datos que se reporta por ellos, el cual indica que para América Central y Caribe para países como México en zonas urbanas de bajo ingreso el valor utilizado será del 80%.

5.10.1.5 Emisión total de CH₄ procedentes de las aguas residuales domesticas

Una vez esclarecido los datos que se necesitó para estimar las emisiones de gases (CH₄), se procede a aplicar la formula estipulada por la IPCC la cual se reporta en la tabla

25

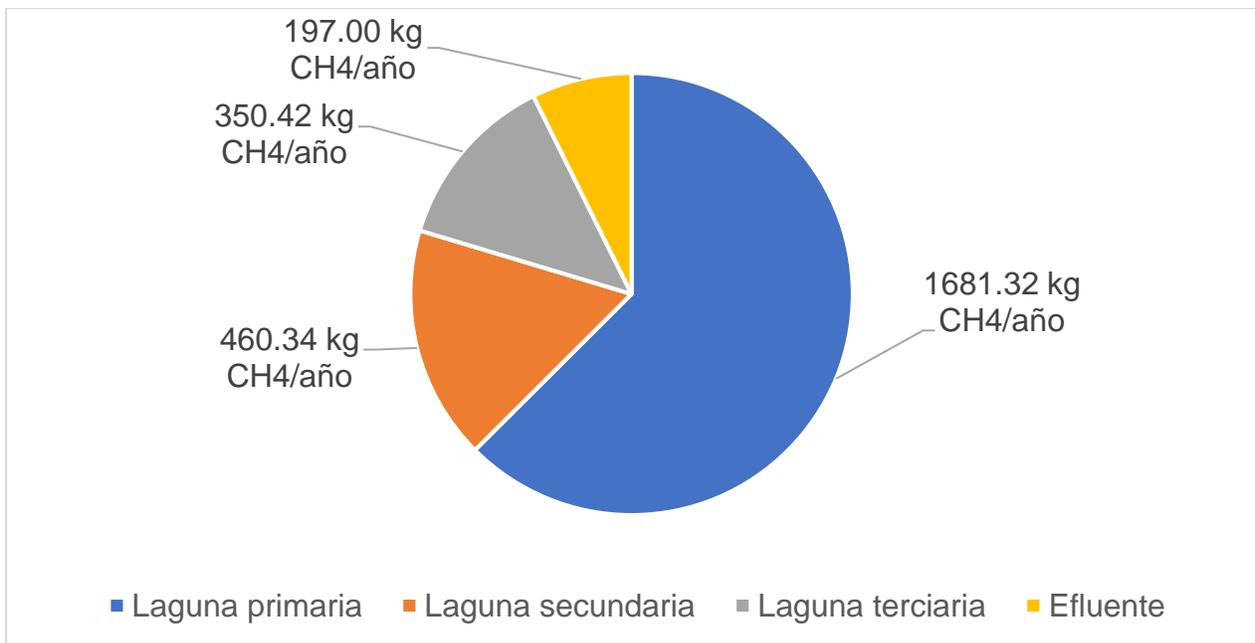
Tabla 24.- Emisiones de CH₄ en lagunas de estabilización

Unidades de tratamiento	Total de materia orgánica en aguas residuales (TOW) (kg DBO ₅ /año)	Componente orgánico separado (S) (kg DBO ₅ /año)	Fracción de la población del grupo de ingresos (U _i)	Grado de utilización de vía sistema de tratamiento (T _{ij})	Factor de emisión (E _{fj}) (kg CH ₄ /kg DBO ₅)	Cantidad de CH ₄ recuperada (R) (kg CH ₄ /año)	Emisión de CH ₄ (kg CH ₄ /año)
Laguna primaria	66687.29	0.00	0.573	0.8	0.055	0.00	1681.32
Laguna secundaria	18258.88	0.00	0.573	0.8	0.055	0.00	460.34
Laguna terciaria	13899.12	0.00	0.573	0.8	0.055	0.00	350.42
Efluente	7813.83	0.00	0.573	0.8	0.055	0.00	197.00
Total CH ₄							2689.09

Para poder calcular las emisiones de CH₄, este se realizó mediante la carga orgánica per cápita en función del DBO₅, este método es más exacto debido a que utiliza datos previamente investigados por el país, las diferencias de producción de metano se deben a las cargas sedimentas que se dan en cada una de las lagunas por lo que al ser menores las sedimentaciones las emisiones CH₄ serán más bajas, para comprender mejor la cantidad de metano producido por cada tratamiento este se reporta mediante el grafico ocho.

Además, para poder obtener la cantidad de metano en el año se multiplica por un factor de 365 días que corresponde a un año de inventario, esta conversión se realiza en el total de materia orgánica (TOW).

Gráfico 8.- Producción de metano anual



Se puede observar claramente que, en las lagunas su mayor emisión se encuentra en la primaria por lo antes explicado, con un valor de 1681.32 kg CH₄/año con un porcentaje del total de 62.45 %, en la secundaria se emiten 460.34 kg CH₄/año produciendo un 17.23 % del total, en la terciaria se produce un total de 13.01%, y en el efluente con una emisión de 7.31% de CH₄, esto indica que las aguas ya han sido tratada previamente es por esta razón que sus porcentajes van variando mediante pasan por el tratamiento.

Además, la cantidad de producción de metano total que se genera en la ciudad es de 2689.09 kg CH₄/año, se observa notablemente que es extremadamente muy baja en comparación con las emisiones de CH₄ que se dan en Matagalpa con un valor de 308,177.15 kg CH₄/año, como se ha mencionado en el Informe Final del PIENSA con los estudios realizado del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero en el Sector Desechos.

Esto ocurre debido a que en la investigación del PIENSA abarcaron todo el porcentaje de excretas que existen en el municipio tales como: letrinas, fosas sépticas, y sistemas de tratamiento, es decir que incluyeron en su inventario tanto a la población urbana como a la rural incrementado las emisiones de CH₄.

Dado que la investigación se centra solo en el sistema de tratamiento de la ciudad, estas emisiones lógicamente serán menores por las reportadas del PIENSA, esto quiere decir que en el estudio solo se abarco la parte urbana del sistema debido, a que no se cuenta con un registro de emisión de CH₄, para ayudar a realizar futuras investigaciones acerca de este tema.

5.10.2 Determinación de CH₄ por método del examen

Este método es igual al anterior cuenta con su propio árbol de decisión, que se puede encontrar en el *capítulo IV acápite 4.2.5 esquema seis*, este método pertenece para países del nivel uno, pero siempre deben de regirse por lo que estable la IPCC (2006)

Este es aplicable para países que quieran implementar un inventario de gases de efecto invernadero, por lo cual se explicara paso a paso como se debe de aplicar el método y por qué se deben utilizar los datos que dictamina él IPCC, para esto se reporta la tabla 26.

Tabla 25.- Método de examen para producción de CH₄

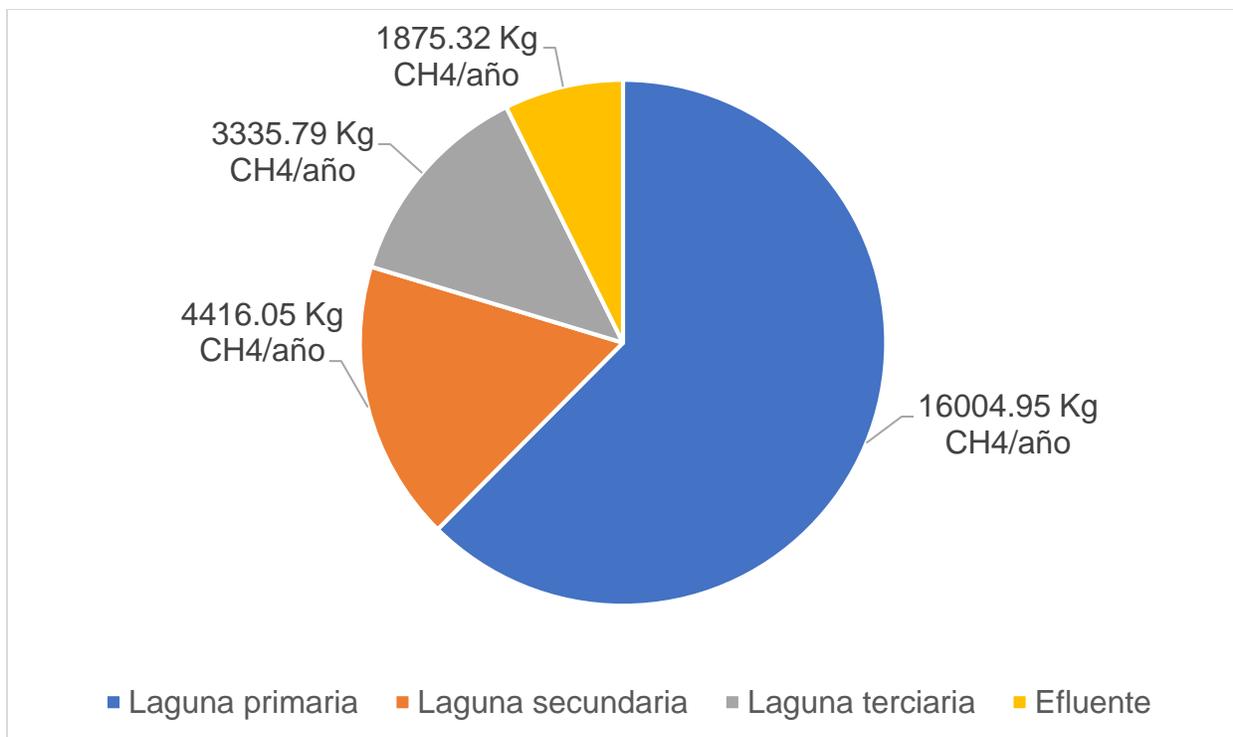
Unidades de tratamiento	Población	Carga Orgánica (D) (g DBO ₅ /persona/día)	Fracción de DBO ₅ que se sedimenta (SBF)	Factor de emisión (FE) (g CH ₄ /g DBO ₅)	Fracción de DBO ₅ en lodos (FTA)	Emisión de CH ₄ (kg CH ₄ /año)
Laguna primaria	4704	38.84	0.5	0.60	0.8	16,004.95
Laguna secundaria	4704	10.63	0.5	0.60	0.8	4,382.13
Laguna terciaria	4704	8.10	0.5	0.60	0.8	3,335.79
Efluente	4704	4.55	0.5	0.60	0.8	1,875.32
Total de CH ₄						23,722.87

De acuerdo con la fracción de la DBO₅, el IPCC afirma que más del 50% de las aguas residuales debido a los sólidos no disueltos se sedimentan rápidamente, dado que las lagunas de estabilización por los microorganismos que presentan estas ayudan a crear un ambiente anaerobio sedimentando es por ello que el IPCC implementa un valor de 0.5 para SBF.

Además, muchos países estiman que de los lodos presentes en las lagunas para una fracción de la DBO₅ esta se degradara a un 80% de la materia, por esta razón es que el IPCC para el FTA reporta un valor de 0.8. Los parámetros restantes permanecen sin modificarse con respecto a lo establecido en las *Directrices del IPCC*, sin embargo, si se cuenta con una carga orgánica percapita calculada se puede hacer uso de ella, dado que el IPCC asume que será un valor de 60 g DBO₅/hab/día.

Por lo cual se presenta la diferencia de producción de CH₄ en cada fase de tratamiento, mediante el siguiente grafico

Gráfico 9.- Producción de CH₄ por el método de examen



5.10.3 Método de recolección de datos vs método de examen

Como se observa con los resultados obtenidos por estos dos métodos, se nota claramente la diferencia de uno del otro, con el método de recolección de datos se estima que la emisión de metano que aporta el STAR de Sébaco es de 2,689.09 kg CH₄/año, mientras que por el método de examen se reporta un total de 23,722.87 kg CH₄/año.

Esta enorme diferencia se obtiene debido al que el método del examen se utiliza para poder aproximar un valor estimado global de CH₄, trabajando con factores determinados por el IPCC calculando de forma general las emisiones, es decir que para poblaciones altas como bajas debido a que se aplica un factor de emisión de 0.6 g de CH₄/g de DBO₅, resultara una mayor producción; dado a esto se ve reflejado una alta cantidad de CH₄ producido por las lagunas en el sistema.

En cambio, el método de recolección de datos se puede usar para poblaciones acorde a lo que se desea estimar, es decir que se trabaja con valores que proporciona el país para determinar la producción de CH₄ en una zona de estudio en específico, este aplica factores de emisión diferentes utilizando un factor corrector acorde al sistema que se quiere estimar, por lo que estos datos no concuerdan debido a las consideraciones que estos métodos toman.



Líder en Ciencia y Tecnología

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES

“Todas las comunidades tienen
derecho a agua limpia”.
John Salazar.

CAPITULO VI. CONCLUSIONES

6.1 Conclusiones

Como resultado de la evaluación en el STAR de Sébaco, se determinó que los caudales varían tanto en el afluente como en el efluente del sistema, ejecutando aforos de 5 días consecutivos de 24 horas comprendidos desde el día 12 de julio del 2017 al 16 de julio del 2017 se concluye que la variación del caudal se registró entre las 8:00 a.m. y las 12:00 p.m., esto se debe a las actividades que la población realiza, obteniendo que el caudal actual promedio que el sistema registra es de 5.55 L/s en los días aforados.

De acuerdo al funcionamiento operacional de las lagunas basado en los TRH, se lograron que los periodos de retención muy altos, obteniendo para la laguna primaria un periodo de 24 días, en la secundaria 14 días, y en la terciaria de 18, el tiempo de retención que se da en las dos últimas lagunas se debe a que estas poseen mayores medidas, lo que indica que su retención será mayor, por lo que el sistema cuenta con un total de 57 días.

Con respecto a los resultados que se obtuvieron del análisis físico químicos extraídos de las muestras en el STAR, se puede asegurar que el sistema de tratamiento se encuentra en un buen funcionamiento, su eficiencia con respecto a la remoción de las cargas contaminantes indica que cumple con el Art. 23 del Decreto 33 – 95 y con los Art. 24 y 26 del Decreto 21 – 2017.

Cumple en parámetros microbiológicos (coliforme fecal) según el nuevo Decreto 21 - 2017 debido a que usa un principio de gradualidad, lo que indica que se están implementando leyes acordes al país por lo que no se exige inmediatamente que cumplan, pero este no cumple con lo que estipula el Decreto 33 – 95 en su Arto. 22, debido a que, aun teniendo una alta remoción, no es lo suficiente para que cumpla con su límite máximo permisible, afectando directamente al cuerpo receptor y la población en general.

Según a la operacional y mantenimiento del sistema se puede decir que aún se encuentra déficit respecto a esto, dado que el operador prolonga los tiempos de mantenimiento provocando que las unidades como las trampas de grasas se encuentren saturadas de

solidos flotantes, además las tuberías que descargan las aguas de una laguna a otra se encuentran saturadas de lodo impidiendo el paso de las aguas, provocando lecturas muy bajas en su efluente.

Así mismo, los resultados de la simulación de gases de efecto invernadero en el STAR – Sébaco, el método de recolección de datos nos indica que la aportación con respecto al CH₄ en las lagunas es de 2,692.65 kg CH₄/año, con respecto al método de examen este reporta una aportación de 23,756.79 kg CH₄/año, además se comprueba que las lagunas primarias en cualquier sistema de tratamiento generaran más producción de CH₄ que las demás.

6.2 Recomendaciones

Para que el STAR de la ciudad de Sébaco, con respecto a su operación, tiempo de retención y su inventario de gases se deberá de tener en cuenta lo siguiente:

- Dado a que el sistema no cuenta con una cantidad de personas conectadas se recomienda que se implementen proyectos para que la ciudad pueda recibir un saneamiento eficaz y puedan hacer uso de las vías de eliminación que proporciona la ciudad, además es necesario que se realicen capacitaciones a operadores, ingenieros municipales y responsables en el monitoreo del STAR, punto muy importante hoy en día dado que representa una gran responsabilidad.
- Para asegurar un funcionamiento correcto, se debe de realizar limpiezas a las unidades de tratamiento preliminar semanalmente, debido a que esta actividad se realiza cada vez que se encuentra saturada de sólidos en suspensión.
- Implementar datos de carga orgánica per cápita de acuerdo a los sitios en estudios para los diseños de lagunas de estabilización, y evitar asumir el valor dado que los sistemas presentan déficit en remoción de patógenos y contaminantes por lo cual es de buena práctica que se empiecen a utilizar.
- Los canales como las tuberías que transportan las aguas residuales de una laguna a otra deben de limpiarse, debido a que los lodos no dejan que el agua circule, y por consecuencia a esto los efluentes proporcionan lecturas muy bajas, además las formaciones de natas en los extremos deben de retirarse porque estas se van acumulando perjudicando el proceso biológico de las mismas.
- Al momento de tomar las muestras para conocer el funcionamiento de la planta es recomendable que se realicen aforos en periodos de 24 horas para conocer el funcionamiento a lo largo del día, utilizar equipos esterilizados para obtener resultados óptimos y más acertado.
- Delimitar una cuadrilla capacitada para que se puedan realizar GEI dado que el país aún presenta incertidumbres para mantener un control de estos.

- Realizar análisis de coloración en las lagunas en horas del día.
- Para conocer de forma más exacta por qué se dan las coloraciones en las natas se recomienda que se analicen muestras a nivel sub-superficial en las lagunas, y aplicar métodos adecuados para determinar las razones por la que ocurren estas pigmentaciones.
- Es recomendable tener en cuenta los GEI, para diseños de STAR futuros en el país.
- Implementar nuevas tecnologías para aprovechar el CH₄, ya digestores de gas para la generación combinada de calor y electricidad, digestor de purificación de gas apto para su transporte, venta directa de gas de los digestores a usuarios industriales, entre otros.



Líder en Ciencia y Tecnología

CAPÍTULO VII. BIBLIOGRAFÍA

“Nunca reconoceremos el valor del agua hasta que el pozo este seco”.

Thomas Fuller.

CAPITULO VII. BIBLIOGRAFÍA

- Alianza Por El Agua. (2008). *Manual de depuración de aguas residuales urbanas*. Ideasmares.
- Allen, D., Dalal, R., Rennenberg, H., Meyer, R., Reeves, S., & Schmidt, S. (2007). "Spatial and temporal variation of nitrous oxide and methane flux between subtropical mangrove sediments and the atmosphere". *Soil Biology and Biochemistry*.
- Arceivala, S. (1973). *Simple Waste Treatment Methods, Aerated Lagoon, Oxidation Ditches, Stabilization Ponds in Warm and Temperate Climates*. Ankara, Turkia: Middle East Technical University.
- Arvizu Fernández, J. L. (2008). *Actualización del inventario de gases de efecto invernadero 1990 - 2006 en la categoría de desechos*. Mexico: Instituto de investigaciones eléctricas.
- Asociación Española de Normalización y Cetificación. (1997). *Calidad del agua*. Madrid, España: Recopilacion de normas.
- Banco Central de Nicaragua. (2017). *Cartografía digital y censo de edificaciones*. Managua, Nicaragua: BCN.
- Carles Borrego, X. V. (2002). *Bacterias fotosintéticas del azufre*. Wisconsin, EE.UU: Investigacion y ciencia.
- Cortés, F. M., Luévanos , A. R., Luévanos, R. R., Uranga, A. C., Ávila, C. M., & González, J. L. (2011). *Diseño de Lagunas de Estabilización en Serie con Diferentes configuraciones*. Matanzas, Cuba: Revista de Arquitectura e Ingeniería.
- Empresa de Acueductos y Alcantarillado. (2016). *Informe de situación STAR de Sébaco*. Managua, Nicaragua: ENACAL.
- Empresa Nacional de Acueductos y Alcantarillado. (2012). *Diagnostico general de 35 sistemas de tratamiento de agua residual de ENACAL*. Managua, Nicaragua: ENACAL.
- Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados. (2005). *Plantas de tratamiento de aguas residuales de nicaragua*. ENACAL: 6/11/2005.
- Espigares , M. G., & Pérez, J. L. (1985). *Aguas residuales composición*. Granada: Servicio de Publicaciones.
- González, V. P., García, J. M., & Núñez, M. C. (1999). *Aislamiento y caraterización de bacterias fotótrofas de la familia Rhodospirillaceae a partir de muestras de agua*. Barelona - España: Universidad Autónoma de Barcelona.

- Hardenberg, E. y. (2004). *Tratamiento de aguas residuales*. Mexico DF: Continental S. A.
- Houghton, R. S. (1991). *The influence of the sulphur cycle on the performance of primary waste stabilization ponds treating domestic wastewater*. Inglaterra: The University of Leeds.
- Instituto Nacional de Información de Desarrollo. (1995). *Censos Nacionales 63-71*. Managua, Nicaragua: INIDE.
- Instituto Nacional de Información de Desarrollo. (2008). *Sébacó en cifras*. Managua, Nicaragua: INIDE.
- Instituto Nicaraguense de Acueductos y Alcantarillados. (2005). *Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Managua, Nicaragua: INAA.
- Instituto Nicaraguense de Acueductos y Alcantarillado. (2005). *Guía técnica para diseño de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamiento de aguas residuales*. Managua, Nicaragua: INAA.
- Instituto Nicaraguense de Acueductos y Alcantarillado Sanitario. (2002). *Disposiciones para el control contaminación provenientes descargas de aguas residuales domesticas, industriales y agropecuarias*. Managua - Nicaragua: Gaceta.
- Instituto Nicaragunse de Acueductos y Alcantarillados Entre Regulador. (2012). *Guías técnicas para el diseño de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamiento de aguas residuales*. Managua: INAA.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*. Japón: IGES.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2001). *Contribution of Working Group I, to the Third Assessment Report of the Cambridge, United Kingdom*. New York, USA: IPCC.
- Jiménez, A. A. (2005). *Tratamiento terciarios*. Madrid-España.
- Korsak, L. (2005). *Curso de tratamiento de aguas residuales*. Managua, Nicaragua: Centro Nacional de Producción más limpia.
- Kreditanstalt, F. W. (2016). *Historia del proyecto de Agua de MAtagalpa y Jinotega*.
- Marrero, U., Jeriany, M., Rivera, E., & Rios, D. (2013). *Metanogenesis*. Mayaguez Puerto Rico.
- Martinez Cortéz Facundo, C. T. (2017). *Dimencionamiento de las lagunas de estabilizacion*. Mexico: IMTA.

- Metcalf, & Eddy. (1995). *Ingeniería de las aguas residuales (1ra. ed.)*. España: Impresos y Revistas, S.A (IMPRESA).
- Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales. (1995). *Segunda Comunicacion nacional ante la convencion de marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climatico*. Managua, Nicaragua.
- Montoya, G. V. (2007). *Digestion Aerobica*. Cali, Colombia.
- Noma Técnica Obligatoria Nicaraguense para Sistemas de Alcantarillado. (2006). *Medio Ambiente y Los Recursos Naturales*. Managua, Nicaragua: Gaceta.
- Noyola, A., Morgan, J. M., & Patricia, L. (2013). *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales*. Mexico.
- Núñez Cardona, M. T. (2003). *Aislamiento y caracterización pigmentaria de las bacterias rojas del azufre de la laguna de Tampamachoco*. Xoxhimilco, Veracruz: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Oakley, S. (2005). *Lagunas de estabilización en Honduras*. Honduras.
- OEFA, O. d. (2014). *Fiscalización ambiental en aguas residuales*. Perú.
- Panel Intergubernamental de Cambio Climatico. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. New York, USA: IPCC.
- Pérez Pardo, C. (2012). *Diseño y cálculo de tratamiento secundario mediante aireacion prolongada*.
- Programa de Investigación Estudios Nacionales Servicios del Ambiente. (2005). *Inventario nacional de gases de efecto invernadero sector desechos*. Managua, Nicaragua: PIENSA.
- Ruiz, E. L., & Raffo, E. L. (2013). *Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno*. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Saénz, F. (1994). *Modernizacion y avances en el uso de aguas negras para la irrigacion. Intercambio de aguas- Uso urbano y riego*. Washington D.C.
- Sokalov, A., & Chapman, T. (2010). *Metodos de calculo del balance hidrico*. Madrid, España: Instituto de Hidrología de España y UNESCO.
- Talavera, T. S. (2015). *Caracterizacion del agua residual urbana de Nicargaa en terminos de la Demanda Bioquimica de Oxigen DBO5-20°C*. Managua.
- Toprak, H. (1995). *Temperature and organic loading dependency of methane and carbon dioxide emission rates of a full-scale anaerobic waste stabilization pond*. (Vol. 29). Water Research.

- Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento Básico Del Área Rural. (2003). *Especificaciones técnicas para el diseño de trampa de grasa*. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marco.
- Vaca Mier, M., Magdaleno Chapa, L., Sosa Carrera, M., Monroy Mendieta, M., & Jiménez Cisneros, B. (1995). *Tratamiento terciarios de aguas residuales por filtración e intercambio iónico*. México D.F.
- Vanegas, C. M., & Rodríguez, R. R. (2017). *Carga superficial máxima en lagunas de estabilización acultativas de Nicaragua*. Managua, Nicaragua.