UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

DETERMINAR VALORES PERCÁPITA DE CARGA ORGÁNICA, NUTRIENTES Y PATÓGENOS EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (STAR) EN LA CIUDAD DE MATAGALPA

Para optar al título de ingeniero civil

Elaborado por

Br. Jefferson Rigoberto Larios Hernández

Br. Norvin Ariel Pravia González

Tutor

MSc. Henry Javier Vílchez Pérez

Managua, agosto 2018

Dedicatoria

Este trabajo investigativo está dedicado**:**

A Dios, por permitirme lograr mis metas, brindarme sabiduría y fortaleza en mis proyectos.

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

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

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

JEFFERSON RIGOBERTO LARIOS HERNANDEZ

NORVIN ARIEL PRAVIA GONZALEZ

Agradecimientos

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

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

A nuestros padres por la motivación y apoyo durante toda nuestra formación profesional.

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

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

JEFFERSON RIGOBERTO LARIOS HERNANDEZ

NORVIN ARIEL PRAVIA GONZALEZ

ÍNDICE

CAPÍTULO I . Generalidades 1

1.1 Introducción 1

1.2 Antecendentes 3

1.3 Justificacion 4

1.4 . Objetivos 6

1.4.1 Objetivo general 6

1.4.2 Objetivo específico 6

CAPÍTULO II . Marco teorico 8

2.1 Aguas residuales 8

2.1.1 Generalidades 8

2.1.2 Características y composición de las aguas residuales 8

2.2 Niveles de tratamiento de aguas residuales domesticas 10

2.2.1 Tratamiento preliminar 10

2.2.2 Tratamiento primario 11

2.2.3 Tratamiento secundario 11

2.3 Laguna de estabilización 11

2.3.1 Generalidades 11

2.3.2 Clasificación 12

2.3.4 Parámetros de control 13

2.3.5 Coloración 14

2.3.7.1 Color verde intenso 14

2.3.7.2 Color Café 14

2.3.7.3 Color gris oscuro 14

2.3.7.4 Verde Lechoso 14

2.3.7.5 Color azul verdoso 14

2.3.7.6 Verde amarillento 15
2.3.7.7 Rosa o Rojo 15
2.3.6 Operación y mantenimiento 15
2.3.7.8 Mantenimiento correctivo 15
2.3.7.9 Mantenimiento Preventivo 16
2.4 Nutrientes 16
2.5 Carga orgánica 16
2.6 Gases de Efecto Invernadero (GEI) 16
2.6.7 Metano (CH_4) 17
2.6.8 Manual de buenas prácticas de la IPCC, 2006 18
2.6.9 Total de materia orgánica (TOW) 19
2.6.10 Componente orgánico (S) 19
2.6.11 Fracción de la población (U_i) 19
2.6.12 Grado de utilización de vía o sistema de tratamiento (T_{ij}) 19
2.6.13 Valor de emisión (EF_j) 19
CAPÍTULO III . Descripcion del sitio de trabajo 21
3.1 Descripción del área de estudio 21
3.2 Servicios básicos del municipio de Matagalpa 22
3.2.1 Energía eléctrica, agua y saneamiento 22
3.2.2 Actividad económica 22
3.2.3 Descripción de la planta de aguas residuales 22
3.2.4 Criterios para la ubicación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales 33
CAPÍTULO IV . Diseño metodologico 38
4.1 Tipo de investigación 38
4.2 Procedimiento 38
4.2.1 Etapa 1 38
4.2.2 Etapa 2 39

4.2.3 Etapa 3 42
4.2.4 Etapa 4 47
4.2.5 Etapa 5 49
CAPÍTULO V . Resultados 56
5.1 Aporte, distribución y valoración de caudales 56
5.1.1 Determinación del caudal de la laguna mediante el balance hídrico 58
5.2 Determinación del periodo de retención 59
5.3 Resultados de análisis físicos – químicos del STAR 60
5.4 Determinación de nutrientes (fósforo total) 62
5.5 Determinación de Coliformes fecales 64
5.6 Determinación de carga orgánica 66
5.7 Determinación de carga orgánica total y carga orgánica percápita 66
5.8 Determinación de carga orgánica superficial 67
5.9 Determinación de la eficiencia del STAR 69
5.10 Regulaciones ambientales 70
5.11 Calculo de Metano por simulación de GEI y método del examen 71
5.11.1 Método del examen 71
5.11.2 Método de recopilación de datos 72
CAPÍTULO VI. Conclusiones y recomendaciones 78
5.12 Conclusiones 78
5.13 Recomendaciones 79
CAPÍTULO VII. Bibliografia 81
Bibliografía 81

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Clasificación de lagunas de estabilización 12
Tabla 2. Condiciones físicas de operación, mantenimiento y sostenibilidad 31
Tabla 3. Ubicación de los sistemas de tratamientos de aguas residuales 34
Tabla 4. Cronograma de aforo del STAR 40
Tabla 5. Relación entre Temperatura, Tiempo de Retención Hidráulica y eficiencia en Lagunas facultativas 42
Tabla 6. Ubicación, espécimen y periodo de muestras 43
Tabla 7.- Capacidad maxima de produccion de CH_4 (B_0) por defecto para las aguas residuales domesticas 53
Tabla 8. Registro de caudales día jueves 56
Tabla 9. Datos históricos del caudal del STAR de Matagalpa 58
Tabla 10. Determinación del caudal de la laguna mediante el balance hídrico 59
Tabla 11. Periodo de retención hidráulico TRH (Arthur, 1984) 59
Tabla 12. Resultados promedios del monitoreo de muestras 62
Tabla 13. Resultados Fósforo total vs Decreto 21-2017 en cada fase de tratamiento .. 62
Tabla 14. Parámetros promedios de afluente y efluente vs decreto 33-95 64
Tabla 15. Carga orgánica total a tratar en función de DBO_5 66
Tabla 16. Carga orgánica superficial máxima (CSM) 67
Tabla 17. Carga orgánica superficial aplicada real (Csa) 68
Tabla 18. Remoción esperada de materia orgánica 68
Tabla 19. Eficiencias en el afluente y efluente general del STAR 69
Tabla 20. Resultados DBO_5 vs Decreto 33-95 en cada fase de tratamiento 70
Tabla 21. Método de examen para producción del CH_4 71
Tabla 22. Total de materia degradable (TOW) 73
Tabla 23. Simulación de gases de efecto invernadero en el STAR de Matagalpa según IPCC (2006) 74

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Macro localización y Micro localización 21
Ilustración 2. Embaces utilizados para la extracción de muestras. 43
Ilustración 3. Captación de muestras en canales profundos 44
Ilustración 4. Conservación de muestras 44

INDICE DE ESQUEMAS

Esquema 1. Tratamiento preliminar 25
Esquema 2. Tratamiento primario 26
Esquema 3. Tratamiento Secundario 28
Esquema 4. Tratamiento terciario 29
Esquema 5. Puntos de recolección de muestra 45
Esquema 6. Elección según el método del examen de la IPCC 49
Esquema 7 Árbol de decisión para estimar las emisiones de CH_4 procedentes 51

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1. Caudales promedios máximos, medios y mínimos en el afluente 57
Gráfico 2. Caudales promedios máximos, medios y mínimos en el efluente 57
Gráfico 3. Concentraciones de DBO_5 en afluente del STAR 61
Gráfico 4. Concentraciones de DBO_5 del efluente 61
Gráfico 5. Fósforo total vs decreto 21 - 2017 63
Gráfico 6. Coliformes fecales promedio en el afluente y efluente vs decreto 33-95 64
Gráfico 7. Concentraciones de DBO_5 en el efluente general vs Decreto 33-95 70
Gráfico 8. Producción de metano por el método del examen 72
Gráfico 9. Produccion de metano anual según metodo de recopilacion de datos 75

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Calculo de Caudal afluente 39
Ecuación 2. Calculo del caudal efluente 39
Ecuación 3. Balance hídrico 40
Ecuación 4. Determinación de tiempo de retención 41
Ecuación 5. Volumen de Muestra 44
Ecuación 6. Determinación de carga orgánica total 47
Ecuación 7. Carga orgánica percápita 47
Ecuación 8. Carga superficial Máxima 48
Ecuación 9. Carga orgánica superficial aplicada 48
Ecuación 10. Remoción esperada de carga orgánica 48
Ecuación 11. Calculo del metano, método del examen 50
Ecuación 12. Determinación de metano, método de simulación de GEI 52
Ecuación 13. Elección de los factores de emisión 53
Ecuación 14. Total de materia orgánica en las aguas residuales 54

Listas 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.

DBO_5: Demanda Bioquímica de Oxigeno.

DQO: Demanda Química de Oxigeno.

ADN: *ácido desoxirribonucleico*

m: Metros

ºC: 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 objetivo general de la investigación fue determinar los valores percápita de carga orgánica y nutrientes en el sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) de la ciudad de Matagalpa.

La investigación considero determinar las variaciones de caudal en afluente y efluente del STAR, por cinco días consecutivos en 24 horas. Registrándose un caudal promedio de 101.75 L/s, siendo este valor mayor que el calculado por el diseñador de 47 L/s.
Así mismo se determinó el funcionamiento operacional de las lagunas basado en periodo de retención teórico y cargas aplicadas; cabe señalar, la importancia del periodo de retención en la reducción de patógenos. El valor del periodo de retención teórico obtenido para las lagunas primarias es de 1.67 días, laguna secundaria 2.47 días y la laguna terciaria 2.24 días, por lo que el periodo de retención total es de 6.39 días, que no son los que se esperan para una buena remoción de coliformes.

En consecuencia, la laguna primaria tiene una eficiencia de remoción de DBO_5 de 65%, para la laguna secundaria se logra una remoción de 22% y para la laguna terciaria una eficiencia del 29%, estos valores de remoción en la laguna secundaria y terciaria no estan dentro del rango reportado por Yánez (1992), solo estaría en dicho rango el valor reportado de la laguna primaria.

Al analizar los resultados obtenidos de pruebas de laboratorio de acuerdo a los parámetros contemplados en el art. 22, no cumple con algunos de los límites máximos permisibles de descarga como es el caso de los Coliformes fecales que es mayor a $1x10^3$, mientras que en el art. 23, si cumple con el límite máximo permisible establecido y en lo que respecta a los nutrientes el art. 25 del decreto 33-95 para poder conocer el límite de descarga se debía solicitar a MARENA el procedimiento, pero este ha sido derogado por lo que en el caso de los nutrientes se hizo un análisis con el Decreto 21-2017 teniendo como satisfactoria la descarga del STAR, los demás parámetros de descarga que se analizaron, están también dentro de los límites máximos de descargas complementados en el nuevo decreto.

En cuanto a la simulación de gases de efecto invernadero en el STAR de Matagalpa se realizó con dos metodologías contempladas en el manual buenas prácticas ambientales de la IPCC versión 2006, esto con el objetivo de comparar que al contar con datos nacionales se genera una cantidad de 35, 293.89 kg CH4/año, al aplicar el método del examen, genera que es un método en el que la simulación se trabaja con valores por defecto, de tal forma que la cantidad tiene mucha incertidumbre reportando un valores de generación de metano 335, 972.30 kg CH4/año, resultando no confiable para la estimación de gases, debido a que los valores utilizados no coinciden con los del país de estudio.

Líder en Ciencia y Tecnología

CAPÍTULO I

• Generalidades



"Sabemos que cuando protegemos nuestros océanos protegemos nuestro futuro."

-Bill Clinton.

Capítulo I . GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Según las disposiciones para el control de la contaminación proveniente de las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias (Decreto 33-95), las aguas residuales son aquellas procedentes de actividades domésticas, comerciales, industriales y agropecuarias que presenten características físicas, químicas o biológicas que causen daño a la calidad del agua, suelo, biota y a la salud humana.

En Nicaragua existe un rezago de infraestructura de tratamiento de aguas residuales municipales y es un asunto que no ha recibido la debida atención por parte del ente regulador.

A pesar de los avances logrados en los últimos años, en materia de sistemas de tratamientos descentralizados y centralizados, en buena parte como resultado de voluntad política basada en los Objetivos de Desarrollo del Milenio, persisten deficiencias de operación y mantenimiento en los sistemas existente, por lo que no existen datos confiables del nivel de cobertura de alcantarillado y caudales en los tratamientos para las aguas residuales municipales de Nicaragua.

Frente al tamaño del reto, en este trabajo, se hace imperativo implementar una evaluación de valores percápita de carga orgánica, nutrientes y patógenos al sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) en la ciudad de Matagalpa, que sirva como herramienta en la toma de decisiones a las mejoras y mantenimiento que se vayan a realizar.

De tal manera que, para cumplir este objetivo se determinó las variaciones de caudal en el afluente y el efluente del STAR, así como el funcionamiento operacional de las lagunas basado en el periodo de retención teórico y cargas aplicadas.

Así mismo, se determinaron estimaciones de eficiencias puntuales por cada fase de tratamiento y cargas contaminantes que conforman el sistema, además de los

análisis de resultados obtenidos de pruebas de laboratorio de acuerdo a los limistes máximos permisibles contemplados en los Art. 22, 23 y 25 del Decreto 33-95 según los objetivos planteados y se hace referencia a la diferencia que contiene el decreto 21 – 2017 en el art. 26, debido a su reciente publicación.

Otro aspecto abordado es de alcance global, que debe ser considerado en las políticas de inversión para la construcción de nueva infraestructura relacionada 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 de la ciudad de Matagalpa contribuyen a la emisión de GEI a través de los procesos de degradación de la materia orgánica contaminante y de las actividades asociadas.

Por consiguiente, se realizó la simulación de los gases de efecto invernadero en el STAR de Matagalpa con el software de buenas prácticas ambientales de la IPCC versión 2006, y se comparó con el proceso del método del examen y método de recopilación de datos, para demostrar la factibilidad de ambos métodos en cuanto a la elaboración de inventarios de gases de efecto invernadero que se liberan al ambiente producto de la estabilización de la materia orgánica en el STAR.

1.2 ANTECENDENTES

En 1995, el gobierno de la República Federal de Alemania a invitación de ENACAL (entonces INAA) realizaron acuerdos de estudios que permitirían la construcción de sistemas modernos de saneamiento de aguas residuales para las ciudades de Matagalpa y Jinotega (KFW, 2016).

Desde su diseño siempre ha tenido como tren de tratamiento las lagunas de estabilización, que en el año 2015 recibieron mantenimiento en cuanto a la remoción de los lodos e instalación de canaleta Parshall a la entrada del STAR, estas actividades se realizaron con fondos de la cooperación alemana, porque el tratamiento constituía un riesgo para cuerpo receptor conocido como el Río grande de Matagalpa cuyo proceso de autodepuración ha sido limitado por el mal manejo de la cuenca (ENACAL, 2005).

En este mismo año, La Prensa (2015) reporta que producto del mal funcionamiento del STAR y sus obras conexas, han dado paso a la contaminación del Río Grande de Matagalpa quedando un efluente inhabilitadas para cualquier actividad de uso recreativo y provocando la muerte de los peses por alcanzar altos niveles carga orgánicas dando paso de esta manera a la eutrofización del cuerpo de agua.

1.3 JUSTIFICACION

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.

La ciudad de Matagalpa, cuenta con un STAR que su efluente es vertido al Rio Grande de Matagalpa, y nunca se ha cuantificado su aporte de nutriente y patógenos, únicamente se ha realizado la cuantificación de aporte de carga orgánico elaborado por GIZ (2012). Este nuevo aporte permite identificar la eficiencia de las lagunas y la calidad de vertido hacia el cuerpo receptor.

De tal manera que si las aguas residuales de la Ciudad de Matagalpa van a continuar siendo vertido en el Rio Grande de Matagalpa, es necesario realizar un análisis de las cargas orgánicas expresadas como DBO_5, nutrientes expresadas como fósforo y nitrógeno y carga de patógenos expresado como coliformes para tener un soporte cuantificado de las cargas contaminantes antes mencionadas y así, sirva como referencia a entes reguladores de la salud para evitar futuras enfermedades.

Por otra parte, se realizó una evaluación al estado funcional y operacional del sistema utilizando lo establecido en el decreto 33-95, en sus límites máximos permisibles que se encuentran en los artículos N° 22, 23 y 25. Adjuntando también, comentarios con el nuevo decreto 21–2017, para comparar las nuevas normas reguladoras de vertido de aguas residuales.

Considerando lo antes mencionado, se debe tomar en cuenta que los STAR son grandes aportadores de gases de efecto invernadero y cambio climático, y es otro aspecto de alcance ambiental que debe ser retomado en las políticas de mejora y construcción de nueva infraestructura.

En efecto, el manejo, tratamiento y disposición de las aguas residuales municipales de la ciudad de Matagalpa contribuyen a la emisión de GEI a través de los procesos de descomposición de la materia orgánica contaminante.

Para dar prioridad al ambiente, se considera la estimación de GEI en el STAR de la ciudad de Matagalpa, como estudio in situ 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 percápita de carga orgánica, nutrientes y patógenos en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR) en la ciudad de Matagalpa.

1.4.2 Objetivo específico

i. Determinar las variaciones de caudal en afluente y efluente del sistema de tratamiento.
ii. Determinar el funcionamiento operacional de las lagunas basado en periodo de retención teórico y cargas aplicadas.
iii. Estimar eficiencias puntuales por cada fase de tratamiento y cargas contaminantes que conforman el STAR.
iv. Analizar los resultados obtenidos de pruebas de laboratorio de acuerdo a los parámetros contemplados en el Art. 22, 23 y 25 del decreto 33-95.
v. Realizar simulación de los gases de efecto invernadero en el STAR de Matagalpa con el software de buenas prácticas ambientales de la IPCC versión 2006.

Líder en Ciencia y Tecnología

CAPÍTULO II

• Marco teórico



"De todas las actividades de nuestro planeta, ninguna fuerza es tan grande como el ciclo hidrológico.

-Richard Bangs y Christian Kallen.

Capítulo II . MARCO TEORICO

2.1 Aguas residuales

2.1.1 Generalidades

Es de vital importancia, tanto para la salud humana como para el bienestar de la sociedad en su conjunto, contar con un Sistema de Recolección, Evacuación y Tratamiento de las aguas servidas que la población de una localidad produce (Martinez Tijerino & Julio, 2002).

La recolección y eliminación sin peligros de la excreta humana plantea los problemas importantes de la salud pública. El desarrollo de zonas urbanas implica la dotación de servicios acordes con la magnitud, importancia y auge que vaya adquiriendo una región, ya sea en forma planificada o espontánea y que en todo proyecto debemos anticipar en un plazo determinado. Esto supone muchos servicios que están interrelacionados de tal manera que la existencia de uno significa la presencia y/o desarrollo de otros (Martinez Tijerino & Julio, 2002).

Sin embargo, también es necesario contar con un sistema de Tratamiento de todas las aguas sucias recolectadas de la ciudad, esto a fin de no perjudicar la calidad del medio ambiente circundante al sitio donde dichas aguas serán depositadas (Martinez Tijerino & Julio, 2002).

Las aguas residuales se pueden definir como aquellas que, por el paso del hombre, representan un peligro y deben ser desechadas. Porque contienen gran cantidad de sustancias y/o microorganismos (Lopez, 1985).

2.1.2 Características y composición de las aguas residuales

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

De tal manera se presentan los principales parámetros considerado en el artículo N°23 del Decreto 21-2017: *"Disposiciones para el control de la contaminación provenientes de las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias"* para el tratamiento de aguas residuales municipales.

- Temperatura: La temperatura del agua superficial generalmente es homogénea, depende de muchos factores como el clima, altitud, temperatura del aire, estaciones del año, entrada de descarga, velocidad del flujo, etc. La temperatura tiene una visión con la vida acuática, la solubilidad de las sustancias disueltas, las reacciones y las velocidades de las reacciones químicas.

  La temperatura de descarga de las plantas de tratamiento de aguas residuales, no debe ser muy diferente a la temperatura del cuerpo receptor (gradiente de temperatura), ya que podría afectar en gran medida el ecosistema (Korsak, 2007)..
- PH: El pH puede variar de acuerdo a la composición del agua, pero con frecuencia se sitúa entre 6.5 y 9.5. Se usa para expresar la intensidad de las condiciones acida o alcalina de una solución, sin que esto quiera decir que mide la acidez total o la alcalinidad total.

  Los valores extremos de pH pueden ser resultado de vertimientos accidentales. Valores de pH muy altos o bajos en efluentes o cuerpos de agua, puede alterar la química y concentración de las aguas naturales del cuerpo receptor (Korsak, 2007).
- DBO_5: es un parámetro analítico de contaminación que mide el material orgánico contenido en una muestra liquida mediante oxidación química.

  La DQO_5 expresa la cantidad de oxigeno requerido (químicamente) para estabilizar la materia orgánica e inorgánica (Korsak, 2007).

2.2 Niveles de tratamiento de aguas residuales domesticas

A pesar que son muchos los métodos usados para el tratamiento de aguas residuales, todos pueden incluirse dentro de los cinco procesos siguientes (Martinez Tijerino & Julio, 2002):

2.2.1 Tratamiento preliminar

Las unidades que componen el tratamiento preliminar están destinadas a eliminar o separar los sólidos mayores o flotantes, a eliminar los sólidos orgánicos pesados y eliminar cantidades excesivas de aceites o grasas. Sirven también para minimizar algunos efectos negativos al tratamiento como grandes variaciones de caudal u obstrucciones a los equipos mecánicos y tuberías. Las unidades común mente usadas son:

- Rejas o barras finas: son universalmente usadas en la remoción de Solidos y cuerpos flotantes y constituyen la primera unidad de tratamiento. Son un conjunto de barras colocadas una al lado de la otra, estas pueden ser rectangulares o circulares y con un determinado grado de inclinación.

- Desarenador: Es un tanque construido con el propósito de sedimentar partículas en suspensión por la acción de la gravedad. Este elemento constituye un tratamiento preliminar y en algunos casos es necesario realizar un, tratamiento convencional de purificación.

  El objetivo es la remoción de partículas del tamaño de arenas. El proceso de sedimentación puede ser ayudado mediante coagulación (empleo de químicos con el fin de remover partículas tamaño arcilla) con el cual se logra que las partículas más pequeñas se aglomeren y sedimenten a una velocidad mayo.

- Medidor de Caudal: Para un adecuado control de un sistema de tratamiento, es necesario conocer el caudal que entra a la planta. Entre estos se encuentran equipos eléctricos que trabajan por medio de sensores o los vertederos en canales, como el vertedero Sutro o el canal Parshall.

2.2.2 Tratamiento primario

El propósito fundamental de estas unidades para este proceso consiste en disminuir suficiente mente la velocidad de las aguas residuales para que puedan sedimentarse los sólidos (Martinez Tijerino & Julio, 2002).

2.2.3 Tratamiento secundario

Este tratamiento debe hacerse cuando las aguas residuales todavía contienen, después del tratamiento primario, más sólidos orgánicos en suspensión o solución que los que puedan ser asimilados por las aguas receptoras sin oponerse a su uso normal adecuado (Martinez Tijerino & Julio, 2002).

2.3 Laguna de estabilización

2.3.1 Generalidades

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

- Reducción de la carga orgánica contenida en las aguas residuales para mitigar el impacto de su vertido en el ambiente y en cuerpos receptores, es decir, brindar una protección ecológica.

- Reducción de coliformes fecales y patógenos presentes en las aguas residuales domésticas, dificultando la transmisión de los mismos, es decir, brindar protección sanitaria.

2.3.2 Clasificación

A continuación, en la tabla N° 1, se detallan las principales ventajas y desventajas que conllevan la utilización del sistema de lagunas de estabilización para el tratamiento de las aguas residuales:

Tabla 1.- Clasificación de lagunas de estabilización

Tabla	Carga superficial (Kg DBO_5/ ha * día)	Profundidad (m)
Lagunas primarias		
Aerobia	< 100	< 1.5
Facultativa	200 – 1000	1.3
Anaerobia	> 1500	> 2.5
Lagunas secundarias		
Aerobia	< 200	< 2
Facultativa	300 – 1200	1.5 - 3
Anaerobia	> 1800	> 2.5
Lagunas de maduración		
Aerobia	< 300	< 2
Facultativa	400 – 800	1.5 – 2.5

Fuente: (NTON, 05 009 – 98)

2.3.3 Procesos que se desarrollan en las lagunas de estabilización

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

Las algas son organismos unicelulares o multicelulares del reino protista, que poseen mecanismos fotosintéticos. La radiación solar es la fuente de energía que utilizan en la síntesis de nuevas células; en el proceso de fotosíntesis las algas convierten compuestos minerales y orgánicos en materia orgánica y oxígeno (Saenz, 1994).

- *Proceso de oxidación bacteriana:*

  Materia orgánica + oxigeno → Productos oxidados + Nuevas bacterias.

- *Proceso de algas, luz:*

  CO_2 + Nutrientes disueltos → Nuevas algas + Oxigeno

- *Proceso global:*

  Materia orgánica → Nuevas bacterias + Nuevas algas.

2.3.4 Parámetros de control

Lagunas anaerobias:

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

Lagunas facultativas:

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

Lagunas de maduración:

- Temperatura
- pH

2.3.5 Coloración

Una laguna facultativa y de maduración normalmente tiene una coloración verde brilla en la salida. La entrada de una laguna facultativa puede tener una coloración gris/café hasta el intermedio, donde debe ser verde brilla (Oakley S. M., 2005).

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.

2.3.7.1 Color verde intenso

Normal en lagunas facultativas y de maduración, Indica que la laguna está en buenas condiciones.

2.3.7.2 Color Café

Se da por la reducción en la fotosíntesis.

2.3.7.3 Color gris oscuro

El gris oscuro en lagunas anaeróbicas representa un color normal, pero en lagunas facultativas este color es indicativo de que la laguna ha sido sobrecargada con materia orgánica.

2.3.7.4 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.

2.3.7.5 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.

2.3.7.6 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.

2.3.7.7 Rosa o Rojo

Presencia de bacteria fotosintéticas del azufre por condiciones anaeróbicas.

2.3.6 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 mantenimeinto 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 optimas 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:

2.3.7.8 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.

2.3.7.9 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.

2.4 Nutrientes

Se llaman así las especies químicas utilizadas como alimento en el desarrollo de los microorganismos (Cortés, Treviño, & Tomasini, 2017). Aunque los nutrientes abarcan un gran número de especies que los microorganismos necesitan en poca cantidad, el nombre se utiliza casi siempre para indicar a las distintas formas de nitrógeno y fósforo, que son los que se necesitan en mayores cantidades.

2.4.7 Fósforo

Es esencial para el crecimiento de los organismos. Las formas en que se puede encontrar en las aguas residuales, son ortofosfato, polifosfato y fosfato orgánico. El fosfato satisface los requerimientos de fósforo de todos los organismos y se necesita en niveles mucho más bajos que el nitrógeno. Al igual que éste, es responsable de la producción de procesos de eutrofización. (Espigares & Perez, 1985)

2.5 Carga orgánica

Es la cantidad de materia orgánica en el líquido de que ejerce un efecto negativo en el cuerpo receptor de agua.

Generalmente medida como DBO_5.

2.6 Gases de Efecto Invernadero (GEI)

Un gas de efecto invernadero (GEI) es uno de los varios gases que pueden absorber y emitir radiación de onda larga infrarroja en la atmósfera planetaria. Este fenómeno se denomina a menudo como efecto invernadero (IPCC, 2006). De la luz del sol que cae sobre la superficie de la Tierra, aproximadamente el 40% de esa energía se

vuelve a irradiar hacia la atmósfera en forma de radiación de onda larga. Aproximadamente el 75% de esa energía de onda larga radiada hacia la atmósfera es absorbida por el vapor de agua, dióxido de carbono, metano y otros gases de efecto invernadero (IPCC, 2006).

Dado que este proceso de absorción molecular ocurre de manera natural, la posterior re-radiación de energía de estos gases es multidireccional. Como resultado, aproximadamente el 50% de la emisión de onda larga se vuelve e irradiar hacia la Tierra donde se convierte de nuevo en energía térmica. A través de este proceso, los gases de efecto invernadero contribuyen a la cantidad de energía calorífica liberada en la superficie de la Tierra y en la atmósfera inferior (IPCC, 2006).

2.6.7 Metano (CH_4)

El metano (CH_4) es un gas químicamente traza y radiactivamente activo que se produce a partir de una amplia variedad de procesos anaerobios y que se elimina principalmente por reacción con radicales hidroxilos (OH) en la oxidación que ocurre en la troposfera entre el CH_4 por parte del OH (Allen, 2007).

Las fuentes conocidas más importantes de metano a la atmósfera provienen de origen natural donde se destacan los humedales y los océanos; por otro lado, se encuentran las fuentes antropogénicas entre las cuales se encuentran los rellenos sanitarios, las plantas de tratamiento de agua residual y la quema de biomasa, entre otros (IPCC, 2006).

El CH_4 se produce por la acción de los microorganismos metano génicos cuando se presentan ambientes con baja disponibilidad de oxígeno, como es el caso de los sedimentos o aguas contaminadas (Liikanen, 2002) (Brock T, 2004). El CH_4 es producto de la reducción del CO_2, en la cual el H_2, el acetato y alcoholes son usados como donadores de electrones.

El CH_4 es poco soluble en el agua, por ello luego de producirse en los sedimentos se transporta a favor de un gradiente de concentración a zonas con alta disponibilidad de oxígeno en donde puede ser oxidado por los microorganismos

metanotrofos (Huttunen, 2001). La ebullición es uno de los principales mecanismos de transporte del metano desde los sistemas acuáticos hacia la atmosfera. Este proceso corresponde a la formación de burbujas de metano en los sedimentos, las cuales se acumulan hasta generar una presión suficiente para ser liberadas a través de la columna de agua a la atmosfera (Huttunen, 2001).

2.6.8 Manual de buenas prácticas de la 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 CH_4.

A continuación, se resumen tres niveles metodológicos para estimar el CH_4 a partir de esta categoría.

El método de Nivel 1 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 2 sigue la misma metodología que el Nivel 1, 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 metodologías avanzadas, se puede aplicar una metodología específica del país, como un método de Nivel 3. Un método aún más avanzado, específico del país, puede basarse en datos específicos de cada planta en las grandes instalaciones de tratamiento de aguas residuales.

2.6.9 Total de materia orgánica (TOW)

Este es un parámetro de en función de la población humana y del índice de generación de DBO_5 por persona (IPCC, 2006).

2.6.10 Componente orgánico (S)

Un 40% a 45% de la materia orgánica en función de la DBO_5 que se sedimentan debido al tiempo de retención de varios días (PIENSA, 2005).

2.6.11 Fracción de la población (U_i)

Es la relación de la población de la ciudad evaluada, entre la población total de un país (IPCC, 2006).

2.6.12 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 (IPCC, 2006).

2.6.13 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 CH_4 y del factor de corrección para el metano, para el sistema de tratamiento y eliminación de aguas residuales (IPCC, 2006).

Líder en Ciencia y Tecnología

CAPÍTULO III

○ Descripción del sitio de estudio



"El océano es el alcantarillado universal."
-Jacques Yves Cousteau.

Capítulo III . DESCRIPCION DEL SITIO DE TRABAJO

3.1 Descripción del área de estudio

El estudio se desarrolló en el municipio de Matagalpa, departamento de Matagalpa, en Nicaragua. Sus coordenadas geográficas son 12°54'50.84"N y 85°56'21.20"O a una altitud de 681 msnm y una temperatura promedia de 22.8°C.

Ilustración 1 Macro localización y Micro localización



El STAR, se encuentra situado al norte y oeste con el río Grande de Matagalpa; y al sur y este con el barrio Lucidia Mantilla. Al oeste de la planta hay terrenos conservados para la ampliación del sistema actual (ENACAL, 2012).

Fuente: Adaptado de Google Maps, 2017

3.2 Servicios básicos del municipio de Matagalpa

3.2.1 Energía eléctrica, agua y saneamiento

En el caso de los servicios básicos, se registró una mayor cobertura de energía eléctrica (99.6%) respecto al agua potable (92.4%) (BCN, 2017).

De las viviendas habitadas, las que tienen de 6 a más habitantes son las que presentan la menor cobertura para los servicios de agua (91.9%) y las que tienen de uno a tres habitantes presentan menor cobertura para los servicios eléctricos (BCN, 2017).

El sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad, atiende una población de 77, 100 habitantes según la estadística de planificación de ENACAL para el año 2017.

3.2.2 Actividad económica

El municipio de Matagalpa ocupa el tercer lugar a nivel nacional, con mayor densidad poblacional. Su principal rubro económico es la producción de café. En el municipio se encuentran ubicados la mayoría de los beneficios de secado de café de la región.

La terminal sur comunica a la ciudad con Managua, Estelí, Jinotega, Chinandega, entre otros.

3.2.3 Descripción de la planta de aguas residuales

El sistema de tratamiento de la ciudad de Matagalpa, consta de un tratamiento preliminar, primario, secundario y terciario cuyo fin es, mejorar la calidad del agua residual proveniente del alcantarillado sanitario para ser vertida al cuerpo receptor conocido como Rio Grande de Matagalpa. A continuación, se describe cada unidad de tratamiento del STAR – Matagalpa de acuerdo a criterios de diseño y condiciones actuales:

3.2.3.1 Tratamiento preliminar

El tratamiento preliminar está compuesto por un conjunto de unidades que tienen como finalidad eliminar materiales gruesos, que podrían perjudicar el sistema de conducción de la planta (ver plano general de planta anexo 22, código: MAS210-OT)

Las unidades que conforman el pre tratamiento en el STAR de la ciudad de Matagalpa, será detallado en el esquema 1 (para mayor comprensión a detalle de accesorios y rutinas de mantenimiento ver tabla 2):

- **Canal de rejas**

  El canal de rejas está fabricado a base de concreto y ladrillos, tiene un ancho de 0.50 m, contiene dos rejillas diseñadas para la retención del material grueso o sólidos flotantes que ingresan con las aguas residuales. Estos materiales por su composición, son de difícil manejo y deben ser retenidos antes de entrar al sistema de lagunas.

  Según la guía técnica para el diseño de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamiento de aguas residuales, las barras de la rejilla deben de ser menores a 1 cm de anchura por 5 cm de profundidad, lo cual, con respecto a la instalada en el STAR de Matagalpa es de 1.75 cm de anchura, y 2.5 cm de profundidad cumpliendo con la normativa, únicamente en el ancho de la barra.

  Las rejillas están elaboradas por medio de varillas de acero con una separación entre barra de 3.81 cm, ensambladas en un canal recto, de fondo horizontal, tal a como lo indica la guía técnica de alcantarillado sanitario
  El volumen del material es retirado por los operarios del sistema, siempre y cuando este lo necesite en el transcurso del día.

  Los canales presentan pequeñas grietas, que aún no afectan el agua residual en tránsito.

- **Desarenador**

  Con respecto a lo indicado en la “Guías técnicas Para el Diseño de Alcantarillado sanitario y sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales” elaborado por ENACAL en el 2004. Esta etapa del sistema, cumple con lo requerido, indicado en la página 59 del mismo, presentando los siguientes casos:

  El desarenador, remueve arena, partículas u otro material solido pesado que tenga velocidad de asentamiento o peso específico bastante mayor que el de los sólidos orgánicos putrescible de las aguas residuales.

  Sin embargo, la ubicación de las rejillas antes del desarenador facilita la remoción de arena y la limpieza de los canales de desarenado.

  El desarenador está ubicado antes de las lagunas anaerobias, para facilitar el buen funcionamiento de las otras etapas en proceso.

  Su buena función se debe a que los operarios del sistema realizan el mantenimiento cada siete días o antes si lo requiere, y los sedimentos son extraídos con palas y rastrillos raspando el fondo del canal, hasta dejarlo limpio.

- **Caja de captura de arena**

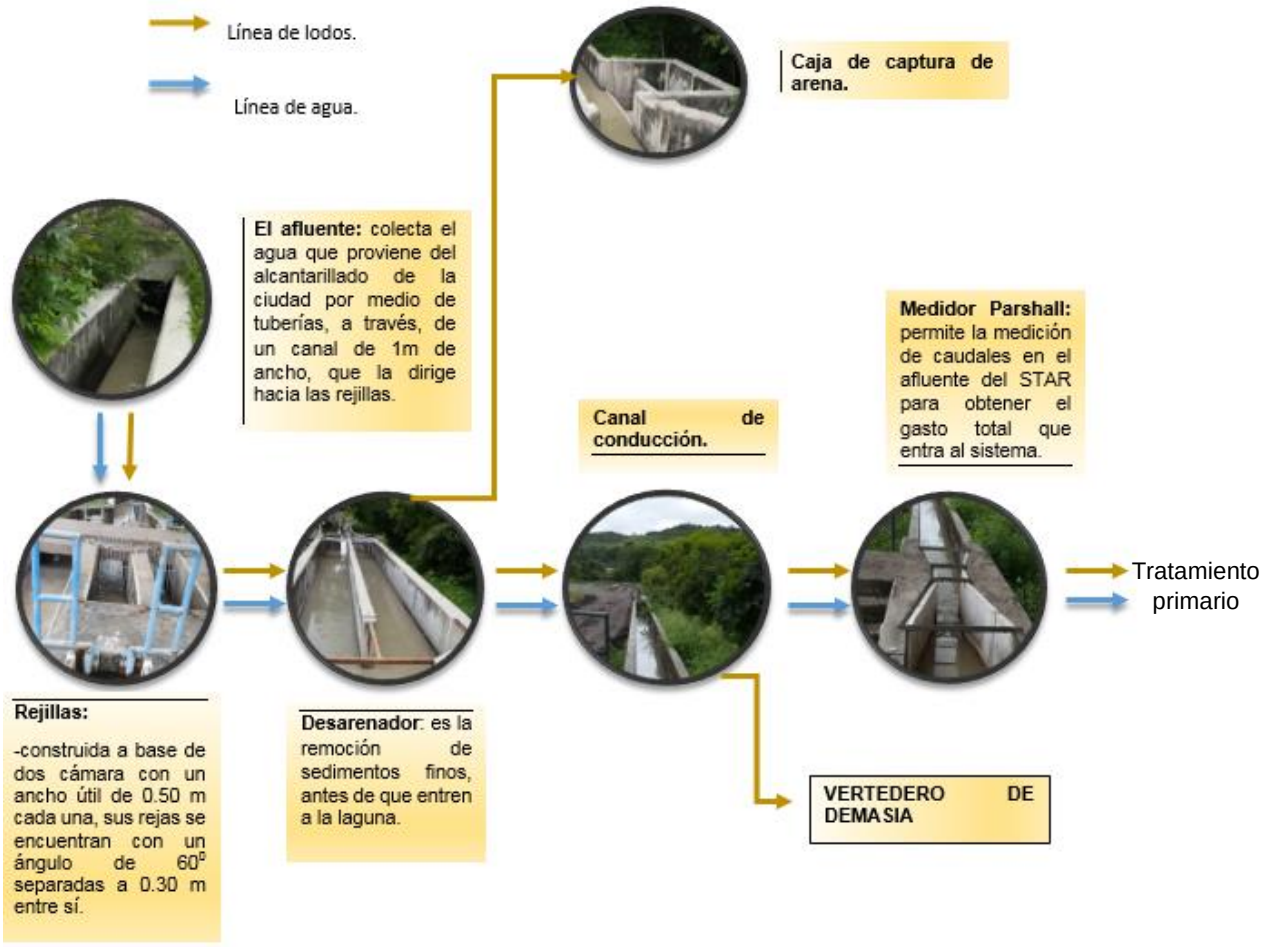
  La función de esta pequeña unidad, es para escurrir las arenas que se extraen del desarenador, después de su secado, no cuenta con una zona establecida dentro del predio del sistema, lo cual son depositados en el lugar que el operario decida conveniente.

- **Elemento de medición**

  Se instaló un medidor parshall prefabricado, para la medición de caudales elaborado de fibra de vidrio previamente calibrado. Este funciona de forma adecuada, permitiendo un control exacto del afluente y para su buen

funcionamiento los operarios quitan la costra que se forman con el paso del agua cada quince días.

Esquema 1. Tratamiento preliminar

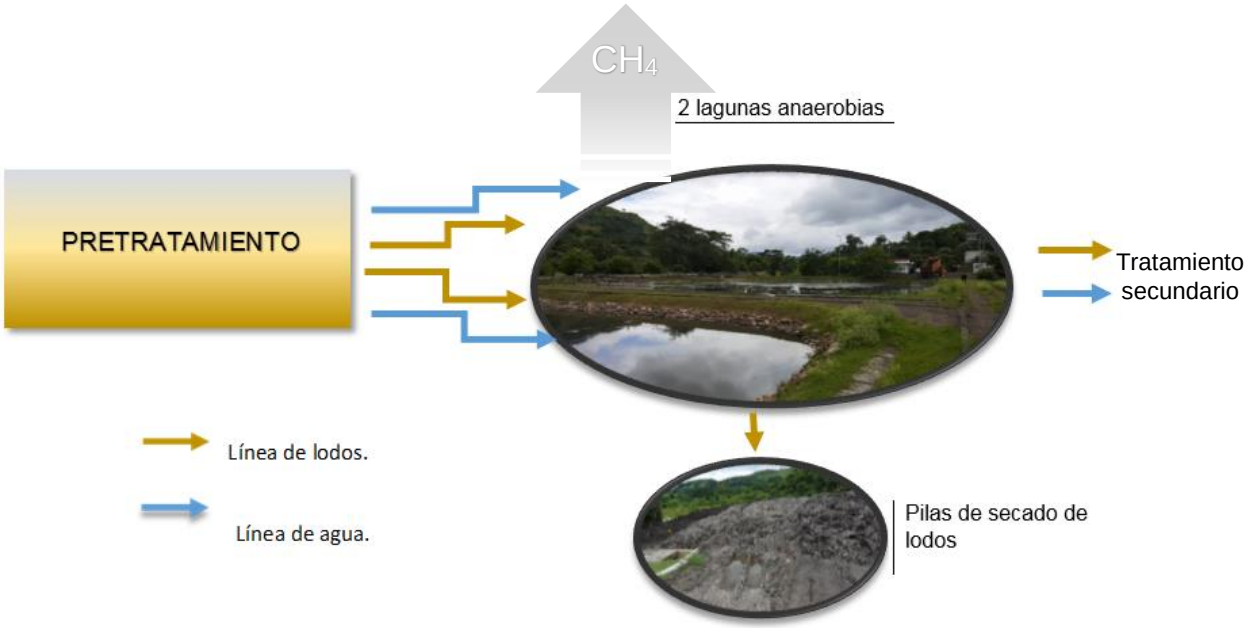


3.2.3.2 Tratamiento primario

Esta fase de tratamiento tiene como finalidad remover solidos suspendidos por medio de la sedimentación, flotación y precipitación. En este tipo de tratamiento se encuentran dos lagunas anaerobias conectadas en paralelo, el agua entra a ellas por medio de canales construidos de concreto presentando grietas en sus paredes que aún no afectan el pase del agua hacia las lagunas.

El esquema 2, representa la unidad que comprende el tratamiento Primario.

Esquema 2. Tratamiento primario



- **Lagunas primarias**

Estas lagunas dan inicio al tratamiento primario, con un ancho de 50 m x 52 m aproximadamente, comprendiendo un área efectiva de 2,557 m^2 cada una, diseñadas para funcionar de forma anaerobias.

Aproximadamente ¼ de cada laguna presenta nata en la superficie en sus extremos Noreste (ubicado en esta zona, por efecto del viento) que impiden la fotosíntesis en el proceso de depuración como se observa en el anexo 1.

En las lagunas, la materia insoluble en suspensión y más densa, sedimenta en el fondo formando lodo, la parte menos densa sube hacia la superficie formando una capa flotante.

En las Lagunas Anaerobias, la masa de agua se encuentra en condiciones anaeróbicas (sin oxígeno disuelto). Las principales reacciones que se producen son la formación de lodos y natas.

En el mecanismo de degradación se dan dos etapas: la primera etapa de fermentación ácida es llevada a cabo por organismos formadores de ácidos que atacan las sustancias orgánicas y las transforman en compuestos orgánicos más simples y ácidos orgánicos.

La segunda etapa es llevada a cabo por un grupo de organismos estrictamente anaerobios que utilizan los productos intermedios de la etapa anterior para producir gases como el metano (CH_4) y el dióxido de carbono (CO_2), básicamente.

El proceso biológico de estas lagunas se desarrolla en condiciones anaerobias debido a que la cantidad de oxígeno que demanda la carga de materia orgánica, excede la producción del mismo que pudiera ser obtenido por la fotosíntesis.

El ambiente de la laguna se caracteriza por la ausencia de oxígeno y en estas condiciones la laguna toma una coloración oscura debido a la presencia de sulfuros que impiden la penetración de la luz y por tanto el desarrollo de algas.

Debido a las altas cargas orgánicas aplicadas, el efluente de estas lagunas presenta gran porcentaje de materia orgánica que requiere de un tratamiento adicional.

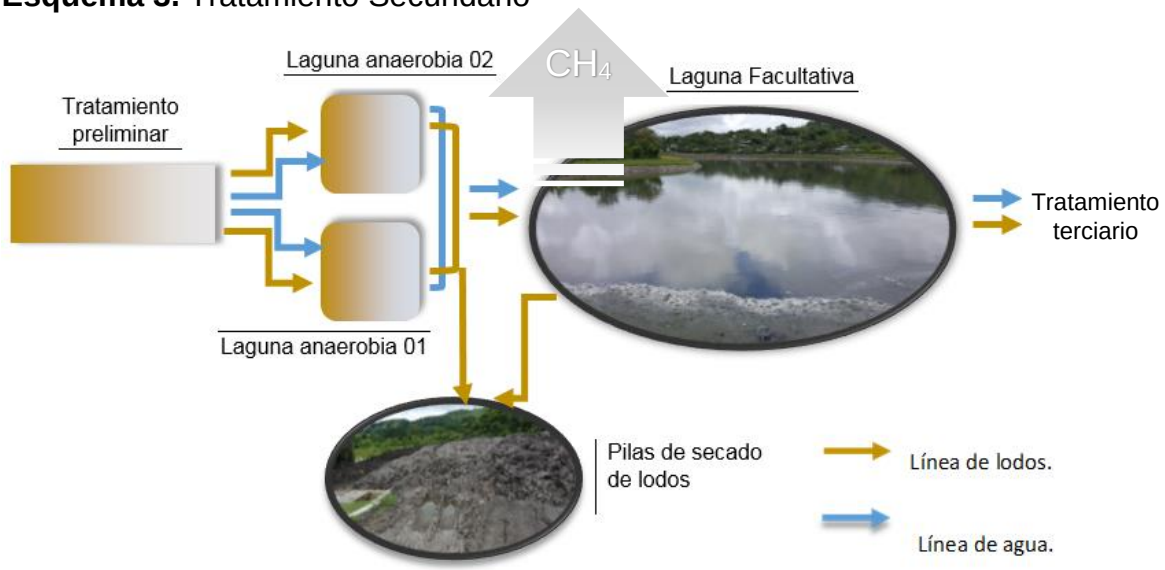
3.2.3.3 Tratamiento secundario

El tratamiento secundario da lugar a una laguna con un ancho de 82 m y un largo de 160 m, tiene forma irregular acondicionada según la forma del terreno con un área de 12,838 m^2, cuyo diseño permite el funcionamiento de manera facultativa, gracias a la remoción de solidos que genera el tratamiento anterior.

Los taludes de la laguna, están diseñados por gaviones rellenados con piedra bolón, que en la superficie presenta vegetación, dando el paso a que llegue abrevar y comer el ganado bovino.

En el siguiente esquema 3, se presenta la unidad que comprende el tratamiento secundario. Debido a las condiciones de operación en esta laguna se forman pequeñas cantidades de zonas con nata, como se observan en anexo 2.

Esquema 3. Tratamiento Secundario



3.2.3.3.1 Efecto de vientos y temperaturas en el diseño de lagunas facultativas

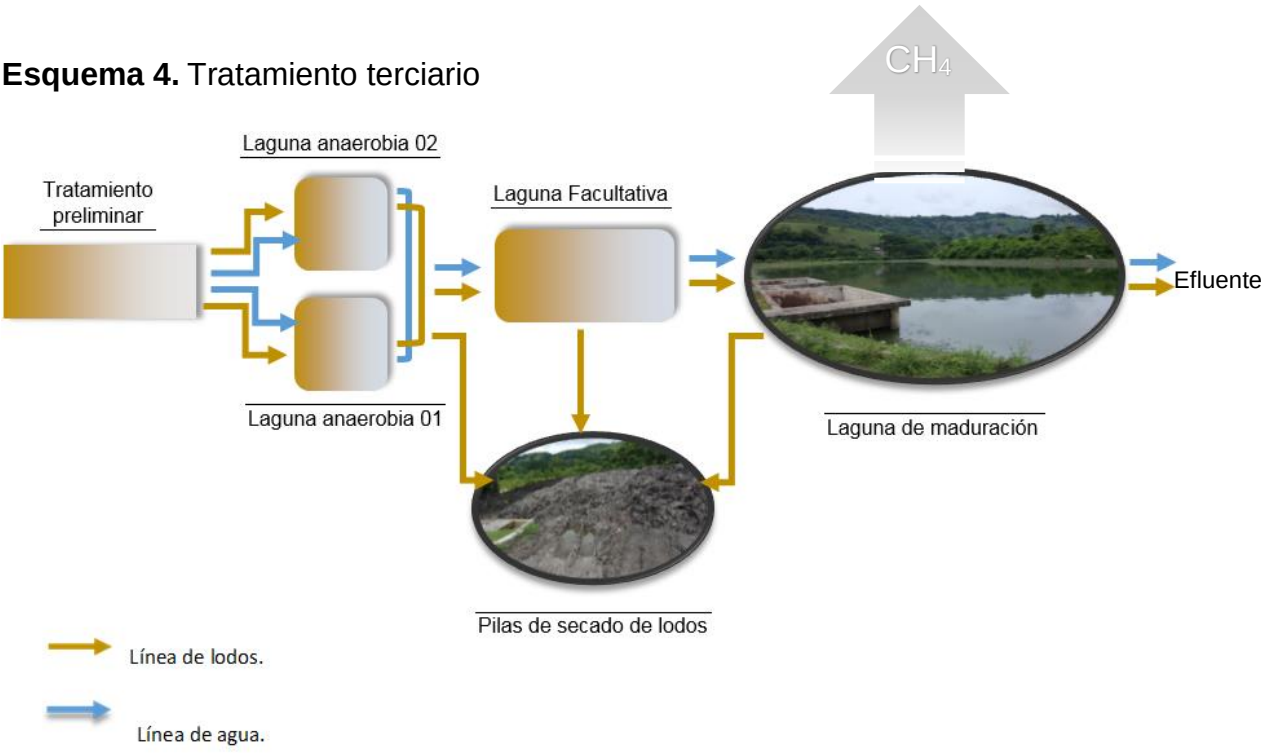
No se incluye el estudio del efecto aeración por el viento en las lagunas porque, como discutió Oswald hace 41 años en (1963) la ganancia de oxígeno es solamente una fracción de la ganancia por fotosíntesis. Por ejemplo, el oxígeno disuelto dentro de una laguna tendría que tener un déficit de 10 mg/l, una condición en que la laguna tendría muy malos olores para obtener una ganancia de 18 kg O2/ha*día por aeración, un factor insignificativo relacionado las ganancias por fotosíntesis (Oswald, 1963).

3.2.3.4 Tratamiento terciario

El tratamiento terciario, es la última unidad que conforma el STAR de Matagalpa, comprendida por una laguna de maduración diseñada para mejorar el efluente,

eliminando las bacterias patógenas del sistema para verter al cuerpo receptor de agua con menos contaminantes. Esta unidad está representada en el esquema 4:

Esquema 4. Tratamiento terciario



- **Laguna terciaria**

Por su criterio de diseño, trabaja como laguna de maduración, su forma es irregular con un ancho de71 m y un lago de 240 m, comprendiendo un área de 16,970 m^2.

En esta fase de tratamiento existe la presencia de animales domésticos (ganado vacuno, semovientes, perros, entre otros). El ganado llega a abrevar y pastar dentro del predio, los perros acompañado de sus amos en cuido del ganado. La actividad de estos seres en los predios del STAR - Matagalpa, se observó durante los monitoreos realizados, tal como lo muestra anexo 3.

3.2.3.5 Efluente general STAR – Matagalpa

La conducción de aguas tratadas se realiza a través de canales, elaborados de concreto, con un ancho de 1 m y una altura de 1.80 m, que inicia en la cámara receptora de la descarga de la laguna terciaria. El final del canal emite una caída del agua hacia el cuerpo receptor (Rio Grande de Matagalpa) tal y como se muestra en anexo 4.

La descarga directa al rio, permite que los habitantes de la rivera del rio, se bañen y laven sus prendas de uso personal, como se muestra en anexo 5.

Estos habitantes, por su condición económica, y la cercanía del lugar, no dejan de usar el agua sin importar los contaminantes de este, a pesar de que los operarios del STAR, les indiquen que no es debido hacer uso del vertido.

3.2.3.6 Condiciones físicas de operación, Mantenimiento y sostenibilidad del STAR – Matagalpa

Tabla 2. Condiciones físicas de operación, mantenimiento y sostenibilidad

Unidad	Condición física	Monitoreo de rutina	Mantenimiento	Personal	Planificación para la remoción de lodos	Sostenibilidad
Rejillas	Estado actual eficiente, sin oxidación y bien alineadas	Diario	• Limpieza	3 operadores	-	Apoyo técnico de ENACAL, ONG (cooperación alemana, GIZ, PROATAS)
Desarenador	Libre de saturaciones	Semanal o antes si lo requiere.	• Operación de compuertas. • Abrir compuerta de drenaje. • Limpieza de cámara de sedimentos. • Cerrar la compuerta del drenaje • Operación de compuerta final.	3 operadores	-	Apoyo técnico de ENACAL, ONG (cooperación alemana, GIZ, PROATAS)
Caja de recepción de arena	Caja de concreto con daños estructurales como fisuras.	Cada mes Semanal	• Chapado • limpieza	3 operadores	-	Apoyo técnico de ENACAL, ONG (cooperación alemana, GIZ, PROATAS)
Obra de demasía y drenaje pluvial	Buen estado.	Mensual en verano, invierno después de cada episodio de lluvia.	• Limpieza	3 operadores	-	Apoyo técnico de ENACAL, ONG (cooperación alemana, GIZ, PROATAS)

Unidad	Condición física	Monitoreo de rutina	Mantenimiento	Personal	Planificación para la remoción de lodos	Sostenibilidad
Canaleta Parshall	Presenta buen estado y se aprecia la lectura con facilidad	Cada 15 días	• Limpieza	3 operadores	-	Apoyo técnico de ENACAL, ONG (cooperación alemana, GIZ, PROATAS)
		Diario / quincenal	• Lectura			
Canal de conducción, interconexión, cajas de paso y distribución de flujo	Presenta daños estructurales en sus paredes como fisuras.	Cada quince días	• limpieza	3 operadores	-	Apoyo técnico de ENACAL, ONG (cooperación alemana, GIZ, PROATAS)
Lagunas primarias	Su apariencia en condiciones de diseño es muy buena	Diario	• Limpieza	3 operadores	-	Apoyo técnico de ENACAL, ONG (cooperación alemana, GIZ, PROATAS)
		Semanal	• Impacción de taludes			
		Semestral / anual	• Extracción de lodos			
Laguna secundaria	Su apariencia en condiciones de diseño es muy buena	Diario / mensual	• Limpieza de espejo de agua (remoción de natas)	3 operadores	-	Apoyo técnico de ENACAL, ONG (cooperación alemana, GIZ, PROATAS)
		Semanal	• inspección de taludes			
		Cada 2, 5 o 10 años	• Extracción de lodos			
		tres veces por semana oh cuando ocurra	• Vectores (animales y roedores)			
		Mensual en verano, invierno cada 15 días	• Chapado			
Laguna terciaria	Su apariencia en condiciones de diseño es	Diario / mensual	• Limpieza de espejo de agua (remoción de natas)	3 operadores	-	Apoyo técnico de ENACAL, ONG (cooperación alemana,
		Semanal	• inspección de taludes			
		Cada 2, 5 o 10 años	• Extracción de lodos			

	muy buena	tres veces por semana oh cuando ocurra	• Vectores (animales y roedores)			GIZ, PROATAS)
		Mensual en verano, invierno cada 15 días	• Chapado			
Pila de secado de lodos	Estado actual: colmatado	Semestral	Chapado: eliminación de maleza	3 operadores	-	Apoyo técnico de ENACAL, ONG (cooperación alemana, GIZ, PROATAS)
		Anual	Limpieza: traslado de lodo seco fuera del lecho			

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

La ubicación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales debe cumplir con todos los criterios establecidos en el acápite 6 de la norma técnica obligatoria nicaragüense para regular los STAR y sus reúsos (NTON 05-027 05):

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

   Es evidente que de acuerdo al plan de ordenamiento territorial de la ciudad de Matagalpa se contempla como una zona de crecimiento urbano el área donde se encuentra ubicado el STAR, por lo que afectara a los pobladores en la salud y condiciones higiénicas a largo plazo.

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

   Por esta razón el STAR se encuentra ubicado en un área con pendientes mínimas que evitan el estancamiento o acumulación de líquidos (charcas) dentro del predio, comprende de un suelo permeable que permite la infiltración de agua para que este se mantenga escurrido en poco tiempo.

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

   Sin embargo, en la ciudad e Matagalpa, las instalaciones de este sistema se encuentran ubicados a sotavento por lo que no afecta a la población aledaña.

4. La distancia de separación entre la instalación o construcción de cualquier STAR, y viviendas, fuente de abastecimiento y nivel freático se establece en la tabla 3:

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

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

Fuente: NTON 05-027 05.

Por consiguiente, la ubicación del STAR se encuentra en un área relativamente plana, de acuerdo a su construcción no cumple con la normativa, ya que su instalación está cerca de nuevos barrios, cerca de pozos para consumo humano, los linderos de propiedad no sobrepasan los 20 m junto a las viviendas de los pobladores aledaños sin embargo se ven afectados por los malos olores del sistema, en determinadas horas del día.

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

Sin lugar a duda, las autoridades municipales, pretenden a futuro hacer nuevas instalaciones de viviendas y no apartan del perímetro del sistema a pequeñas familias que ya empiezan a tomarse predios en las orillas de la cerca perimetral del sistema, para sobrevivir en casas hechas de plástico, además, el ordenamiento territorial ubica en esta zona el barrio Lucida Mantilla, quienes con el paso de los años presentaran problemas con respecto al STAR.

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

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

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

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

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

   En el caso de la ciudad de Matagalpa, la disposición final del efluente del sistema (Rio Grande de Matagalpa), es utilizado aguas abajo para abrevar el

ganado, pesca, riegos y actividades como es el uso de lavandería; no tiene cumplimiento con la normativa por lo que el MARENA no lo autoriza.

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

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

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

    Para suelos limosos y limo – arenoso se debe proceder a impermeabilizar y compactar el área al 95% Proctor standard.

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

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

Líder en Ciencia y Tecnología

CAPÍTULO IV

- Diseño metodológico



"Cuando conservas el agua, conservas la vida"
- S. f.

Capítulo IV . DISEÑO METODOLOGICO

4.1 Tipo de investigación

De acuerdo con los objetivos planteados, esta investigación es de tipo aplicada, debido a que aborda un problema específico con respecto al problema ambiental que provoca el STAR de la ciudad de Matagalpa.

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

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

4.2 Procedimiento

4.2.1 Etapa 1

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

También permitió explicar la importancia del problema de estudio y sus aportes a la sociedad. Se realizó observación in situ, para identificar todos los procesos unitarios que conforman el STAR de la ciudad de Matagalpa. 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 de medición del caudal.

- Capacitación de las técnicas de análisis de laboratorio para aguas residuales.

4.2.2 Etapa 2

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

4.2.2.1 Aforo de caudales

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

a. Para la medición del caudal en el afluente del sistema se cuenta con una Canaleta Parshall graduada con 45 cm (0.45 metros). El monitoreo en este afluente se realizó cada hora registrándose el tirante de agua. Esto con el objetivo de poder determinar el caudal por hora en el afluente, utilizando la ecuación 1, propuesta por Marais & Van Haandel (1980):

Ecuación 1. Calculo de Caudal afluente

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

Donde:

Q= Caudal (m^3/s)

W: Ancho de la garganta (m)

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

b. En el efluente del sistema de tratamiento no cuenta con can aleta Parshall, por lo tanto, se tomará en cuenta el siguiente procedimiento:

Ecuación 2. Calculo del caudal efluente

$$Q = V \times A$$

Donde:

Q: Caudal en m^3/s

A: Área de la canaleta en m^2

V: velocidad en m/s

Para lograr dicho objetivo se utilizó el siguiente procedimiento, Se realizaron 6 aforos de 24 horas, durante un periodo comprendido del miércoles 21 de junio al lunes 26 de junio del 2017. El programa establecido por la medición de caudal es el siguiente:

Tabla 4. Cronograma de aforo del STAR

Numero de aforos	Días	Fecha	Hora de inicio y salida	Duración o periodo	Observación
Aforo N^0 1	Miércoles – Jueves	21 junio – 22 junio 2017	06:00 am – 06: 00 am	24 horas	-
Aforo N^0 2	Jueves – Viernes	22 junio – 23 junio 2017	06:00 am – 06: 00 am	24 horas	-
Aforo N^0 3	Viernes – Sábado	23 junio – 24 junio 2017	06:00 am – 06: 00 am	24 horas	-
Aforo N^0 4	Sábado - Domingo	24 junio – 25 junio 2017	06:00 am – 06: 00 am	24 horas	-
Aforo N^0 5	Domingo – Lunes	25 junio – 26 junio 2017	06:00 am – 06: 00 am	24 horas	-

4.2.2.1.1 Ficha de campo

La ficha de campo permitió registrar la información recolectada en el momento de la lectura de caudales, como se observa en anexo 7.

4.2.2.2 Calculo del Balance hídrico

El balance hídrico permite corregir el caudal del afluente de cada unidad de tratamiento con la ecuación 3 (Cortes Martinez, y otros, 2011):

Ecuación 3. Balance hídrico

$$Q_e = Q_i - 0.001Ae$$

Donde:

A: área (m^2)

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

Q_i: caudal medio del afluente (m^3/día)

Q_e: caudal en el efluente de la laguna (m^3/día)

4.2.2.3 Determinación del tiempo de retención

El período de retención para cada laguna del sistema se obtuvo en forma teórica, siendo el valor presentado una relación del volumen calculado entre el caudal del afluente corregido por medio del balance hídrico, interpretado en la ecuación 4 (Arthur, 1984).

Ecuación 4. Determinación de tiempo de retención

$$\mathbf{TRH} = \frac{\mathbf{V\ lag\ (m^3)}}{\mathbf{Qmedio\ (m^3/día)}}$$

Se realizara un análisis entre la relación de las variables teóricas como son: tiempo de retención hidráulica y eficiencias, tomando como referencia las investigaciones de (Yanez Cossio, 1990).

La eficiencia de las lagunas facultativas es relacionada a la temperatura y el tiempo de retención, como se ve en la tabla 5:

Tabla 5. Relación entre Temperatura, Tiempo de Retención Hidráulica y eficiencia en 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: Yánez (1992).

4.2.3 Etapa 3

4.2.3.1 Recolección y preparación de muestra

Para el diseño de las muestras fisicoquímicas se tomó en cuenta lo siguiente, de acuerdo al Decreto 33-95 en su Arto. 16 "*Los valores de los parámetros de las descargas residuales domesticas a redes de alcantarillado sanitario y cuerpos receptores, se obtienen del análisis de muestras compuestas que resulten de la mezcla de las muestras simples, tomadas estas en volúmenes proporcionales al caudal medido en el sitio y en el momento del muestreo".*

Dichos muestreos se efectuaron durante cinco días de la semana, iniciando el jueves 22 de junio, ocupando el miércoles 21 de junio como día de aforo, que permitió el cálculo de muestra colectada por hora (ver ecuación 5) y culminamos el día lunes 26 de junio. Los días seleccionados son considerados de mayor consumo a la semana, marcado por ENACAL (ENACAL, 2005).

El tipo de muestreo que se realizó es compuesto, para tener un mejor control de la carga orgánica durante todo el día, tomando pequeñas porciones durante cada hora, para entradas y salidas de cada unidad de tratamiento, como se observa en la tabla 6.

Tabla 6. Ubicación, espécimen y periodo de muestras

Tipo de muestra	Localización	Días	Frecuencia (C/día)	N^0 total de muestras
Compuesta	Afluente general STAR	5	24 horas	4 muestras
Compuesta	Efluente laguna primaria STAR	5	24 horas	4 muestras
Compuesta	Efluente laguna secundaria STAR	5	24 horas	4 muestras
Compuesta	Efluente general	5	24 horas	4 muestras

Definido lo puntos de muestreo conocidos, se procedió a la recolección de muestras. Estas se recolectaron en recipientes de polietileno con capacidad de 1 galón para cada muestra (ver esquema 7. Puntos de recolección de muestras). Para evitar la contaminación de muestras se utilizó un envase graduado más un embudo, por cada punto donde se colectaba, tal a como se muestra en la ilustración 2:

Ilustración 2. Embaces utilizados para la extracción de muestras.



Se vertió agua en los recipientes provenientes de cada una de las etapas antes descritas, para posteriormente ser rotulados con la fecha y hora del muestreo, (ver etiqueta en anexo 6.

En las zonas o canales profundos se utilizó una cubeta sostenida de una soga, que permitió alcanzar el agua, ver ilustración 3:

Ilustración 3. Captación de muestras en canales profundos



Para conservar las muestras, se utilizó un termo con hielo como se observa en la ilustración 4:

Ilustración 4. Conservación de muestras



4.2.3.2 Toma de muestras en campo

La cantidad de muestra colectada por hora se determinó mediante la siguiente operación matemática utilizada en el protocolo de toma de muestras de agua residual de ITOXDEF (2016):

Ecuación 5. Volumen de Muestra

$$Vi = Qi * V / Qp * n$$

Donde:

Vi = volumen de alícuota de muestra simple

Qi = caudal a la hora de la muestra simple

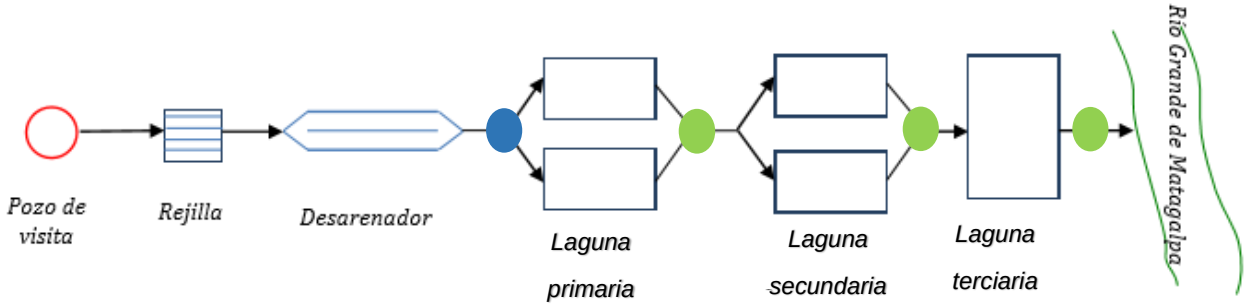
V = volumen total del recipiente

Qp = caudal promedio

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

Esta ecuación dio paso a cumplir nuestro objetivo principal, con las muestras necesarias (ver esquema 6, puntos de recolección de muestras), para los resultados de laboratorio de DBO_5, fósforo total y coliformes totales y fecales.

Esquema 5. Puntos de recolección de muestra



Fuente: (ENACAL, 2005)

- : 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

4.2.3.3 Análisis del decreto 33 – 95 y 21 - 2017

Se realizó una comparación de muestras de laboratorio con los rangos y límites máximos permisibles promedio diario decreto 33 – 95, art. 23 y los límites máximos permisibles promedio diario decreto 21 – 2017, art. 26 donde:

El decreto 21 – 17 en el art. 26, no establece los límites de descarga de agua residual por número de pobladores.

4.2.3.4 Demanda bioquímica de oxigeno (DBO_5)

Se realizó a través de la incubación de la muestra a 20 ºC por cinco días en la oscuridad, el valor de la DBO_5 se determina comparando el valor de oxígeno disuelto de una muestra tomada inmediatamente con el valor de la muestra incubada descrita anteriormente. La diferencia de los dos valores de oxígeno disuelto representa la cantidad de oxígeno requerido para la descomposición de material orgánico en la muestra.

4.2.3.5 Fósforo total

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

4.2.3.6 Coliformes totales y fecales

Este proceso de identificación de Coliformes, se realizará mediante la técnica de tubos de fermentación o números más probables (NMP) publicado por la american public health association (1970 y 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).

Para esta investigación se realizó un análisis con el decreto 33-95, pero ha sido derogado con la aprobación del decreto no. 21-2017, aprobado el 28 de noviembre de 2017, publicados en la gaceta no. 229 del 30 de noviembre de 2017, por lo que se consideraron los nuevos lineamientos que este establece.

4.2.4 Etapa 4

4.2.4.1 Determinación de carga orgánica

4.2.4.1.1 Determinación de carga orgánica total aplicada

Para la determinación de la carga orgánica total a tratar se obtiene mediante la ecuación 6:

Ecuación 6. Determinación de carga orgánica total

COT= DBO_5 x Qm x 0.0864 (kgDBO_5/ día)

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/s a Kg/ día para el cálculo de la COT.

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

Una vez obtenidos los valores de concentraciones con respecto a DBO_5 y caudal promedio en el efluente del tratamiento primario y secundario, se procedió al cálculo del aporte de carga orgánica que es vertida al Rio Grande de Matagalpa. Se consideró un valor promedio de evaporación anual de 2000mm para la ciudad de Matagalpa, obtenido del registro histórico de INETER (2002).

4.2.4.1.2 Determinación de carga orgánica percápita

La determinación de carga orgánica percápita, determina la cantidad de carga orgánica presente en el afluente por persona y se determina mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 7. Carga orgánica percápita

$$COP = \frac{CO}{P}$$

Donde:

CO: carga orgánica (kg DBO_5 /día)

P: población conectada al alcantarillado sanitario 77, 100 hab, (ENACAL, 2005)

COP: carga orgánica percápita (gr DBO_5/ hab/ día)

4.2.4.1.3 Determinación de la carga orgánica superficial

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

CEPIS, a través de los estudios conducidos por Mc Garry &Pescod, propone que esa carga superficial máxima (Csm) se puede estimar a partir de:

Ecuación 8. Carga superficial Máxima

$C_{sm} = 60.26(1.0993)Ta$

Donde:

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

- **Carga orgánica superficial aplicada real**

Se calcula mediante los valores de concentración obtenidos a través de DBO_5, caudal promedio y el área real de la laguna, De tal forma, se expresa en la ecuación N.º 9:

Ecuación 9. Carga orgánica superficial aplicada

$$\text{Csa} = \frac{\text{Concentración x Caudal}}{\text{Área Laguna}}$$

- **Remoción esperada de materia orgánica**

Se calcula mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 10. Remoción esperada de carga orgánica

CSR= 7.67+ 0.8063 * CSa

Donde:

CSa: Carga orgánica superficial a aplicar.

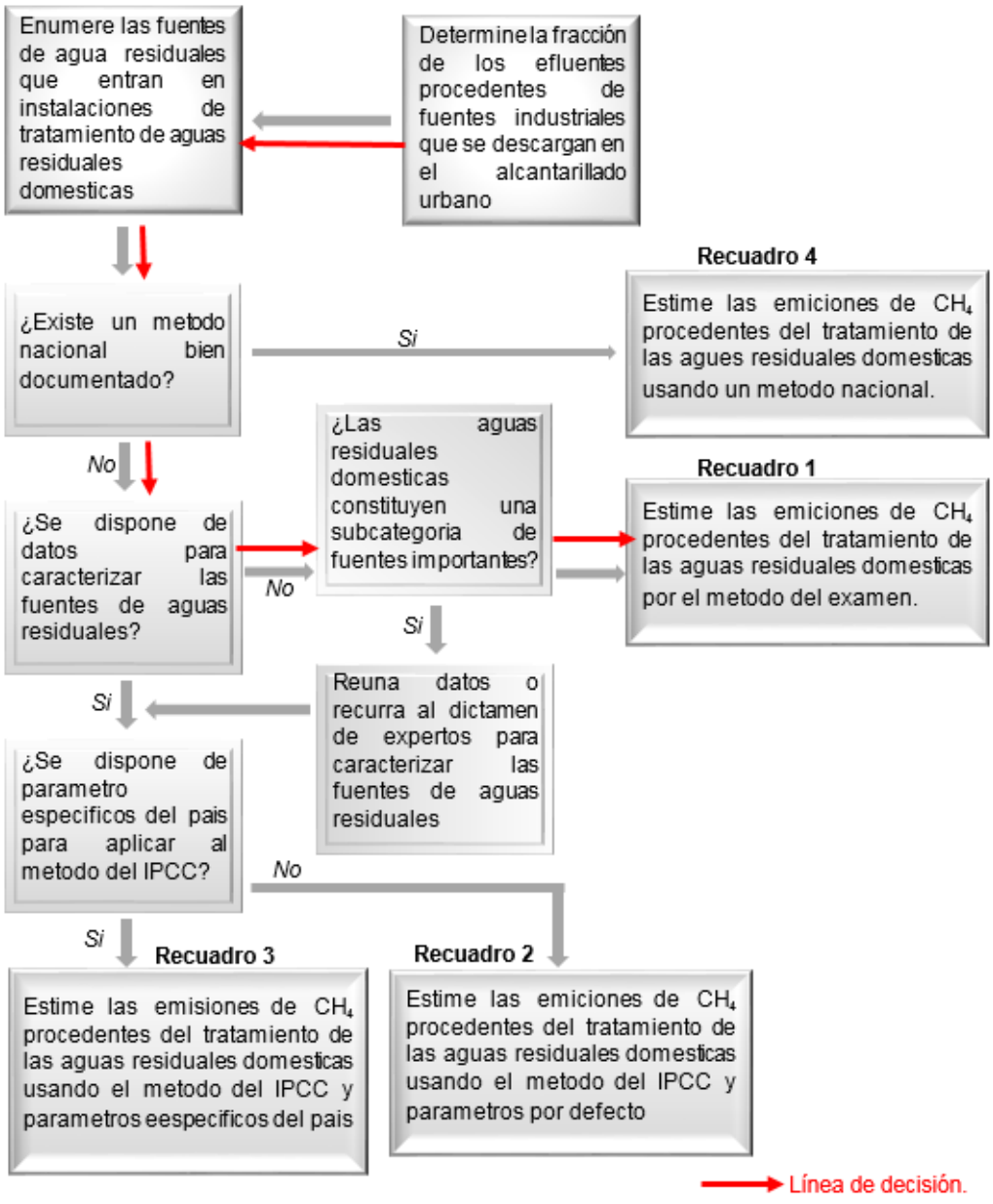
4.2.5 Etapa 5

4.2.5.1 Determinación de los gases de efecto invernadero (GEI)

De los GEI, se hará la determinación el metano como tal, dando paso a los siguientes incisos:

4.2.5.1.1 Determinación de Metano por medio del método de examen

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



Fuente: (IPCC, 2006)

Se determinó las emisiones de GEI por medio de la siguiente ecuación:

Ecuación 11. Calculo del metano, método del examen

$WM = P \bullet D \bullet SBF \bullet FE \bullet FTA \bullet 365 \bullet 10–6$

Donde:

WM = emisión anual de CH_4 procedente de aguas residuales domésticas, por país (kg CH_4/año)

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

D = carga orgánica expresada con respecto a la concentración bioquímica de oxígeno por persona (gr de DBO_5/persona/día).

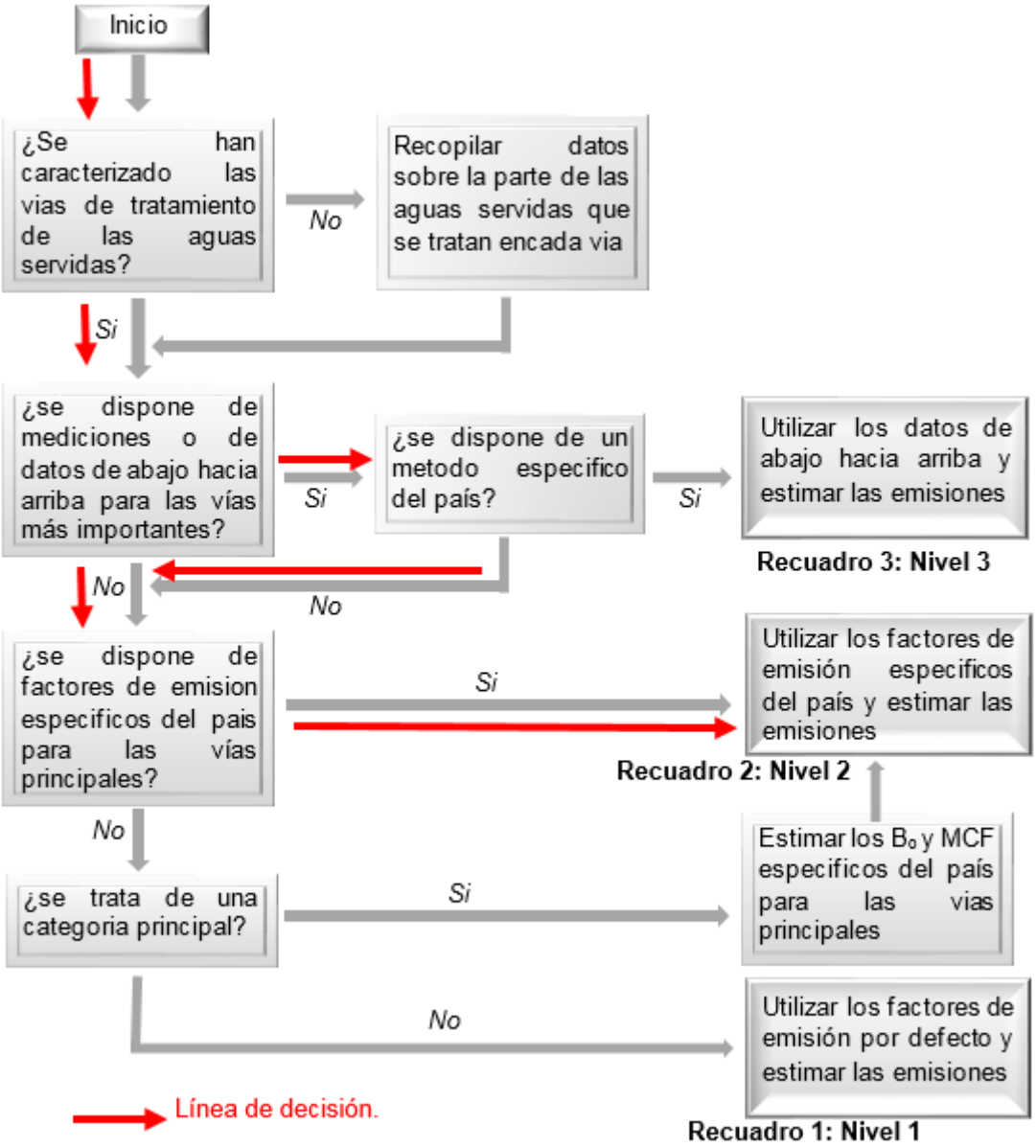
SBF = fracción de la DBO_5 que se sedimenta rápidamente, valor por defecto = 0,5

FE = factor de emisión (gr de CH_4/g de DBO_5), valor por defecto = 0,6

FTA = fracción de la DBO_5 presente en los lodos que se degrada anaeróbicamente, valor por defecto = 0,8

4.2.5.1.2 Elección del método de recopilación de datos de GEI de las directrices de la IPCC 2006

Esquema 7 Árbol de decisión para estimar las emisiones de CH_4 procedentes de las aguas residuales domesticas



Fuente: (IPCC, 2006)

4.2.5.2 Cuantificación de metano según el manual de buenas prácticas en STAR, por el método de recopilación de datos

Se determinó las emisiones de GEI por medio de la siguiente ecuación:

Ecuación 12. Determinación de metano, método de simulación de GEI

$$\text{Emisiones de } CH_4 = \left[\sum_{i,j}\left(U_i * T_{i.j} * EF_j\right)\right](TOW - S) - R$$

Donde:

- Emisiones de CH_4 = emisiones de CH_4 durante el año del inventario, kg. de CH_4/año
- TOW = total de materia orgánica en las aguas residuales del año del inventario, kg. de DBO_5/año
- S = componente orgánico separado como lodo durante el año del inventario, kg. de DBO_5/año (solo pocos países disponen de este dato y como en Nicaragua no existen registros de componente orgánico separado, el valor recomendado es 0).
- U_i = fracción de la población del grupo de ingresos *i* en el año de inventario, (su valor es de 57.3%, según el informe del piensa 2005 – 2010.
- T_{ij} = 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 (el valor a utilizar es de 0.8, obtenido de la tabla 6.5 de las directrices de la IPCC 2006.
- 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 CH_4/kg. de DBO_5

4.2.5.2.1 Elección de los factores de emisión

Para encontrar los factores de emisión de CH_4, se utilizaron cálculos con las siguientes formulas:

Ecuación 13. Elección de los factores de emisión

$$EF_j = B_O * MCF_j$$

Donde:

EFj = factor de emisión, kg. de CH_4/kg. de BOD

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

Bo = capacidad máxima de producción de CH_4, kg. de CH_4/kg. de COD

MCFj = factor corrector para el metano (fracción)

Para mantener la coherencia con los datos de la actividad, expresamos en la siguiente tabla los valores por defecto para el potencial máximo de producción de CH_4 para las aguas residuales domésticas.

NOTA: Según el Programa de Investigación estudios nacionales y servicios ambientales (PIENSA), MCF= 0.22, basado a juicio de expertos y estudios se utilizó este factor de conversión de metano, para lagunas de estabilización de Nicaragua.

Tabla 7.- Capacidad maxima de produccion de CH_4 (B_o) por defecto para las aguas residuales domesticas

CUADRO CAPACIDAD MAXIMA DE PRODUCCION DE CH_4 (B_O) POR DEFECTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS
0,6 kg. De CH_4/kg. De DBO_5
0,25 kg. De CH_4/kg. De DBO_5
Basado en dictamen de expertos realizado por los autores principales y en Doom et al., (1997)

4.2.5.2.2 Elección de los datos de la actividad

Para esta categoria de fuente son la cantidad total de materia organica degradable en las aguas residuales (Total Organic Waste, TOW). Este parametro es una funcion de la poblacion humana y del indice de generacion de DBO_5 por persona. Se exp´resa en terminos de requisito bioquimico de oxigeno (Kg. De DBO_5/año) la ecuación es la siguiente:

Ecuación 14. Total de materia orgánica en las aguas residuales

TOW= P*BOD*0.001*I*3.65

Donde:

TOW = total de materia orgánica en las aguas residuales del año del inventario, kg. de DBO_5/año

P = población del país en el año del inventario, (personas)

DBO_5 = DBO_5 per cápita específico del país en el año del inventario, g/persona/día.

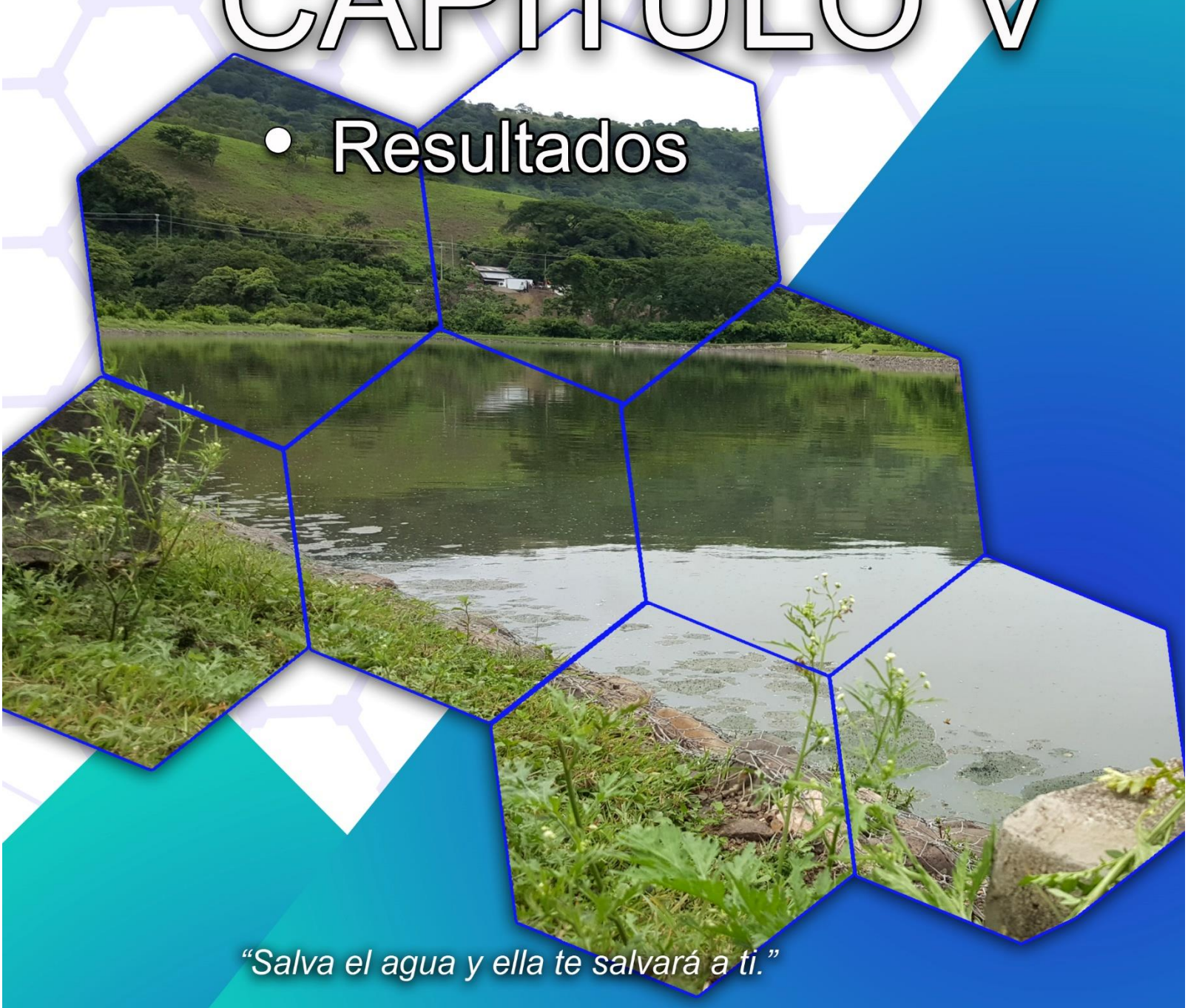
0,001 = conversión de gramos de DBO_5 a kilogramos de DBO_5

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.)

Líder en Ciencia y Tecnología

CAPÍTULO V

- Resultados



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

- S. f.

Capítulo V . RESULTADOS

5.1 Aporte, distribución y valoración de caudales

En la tabla 8, se muestran los resultados del aforo de caudales del dia jueves 22 de junio del 2017, que ingresan y egresan del STAR de Matagalpa realizados durante 24 horas, obteniendo este dia el caudal máximo debido a la presipitación admosferica (ver grafico general de caudales – ANEXO 10).

Tabla 8. Registro de caudales día jueves

Con los aforos realizados, se alcanzaron los caudales máximos, medios y mínimos obtenidos del afluente y del efluente durante 24 horas por dia y se expresan en el gráfico 1 y 2, para comparar los dias evaluados.

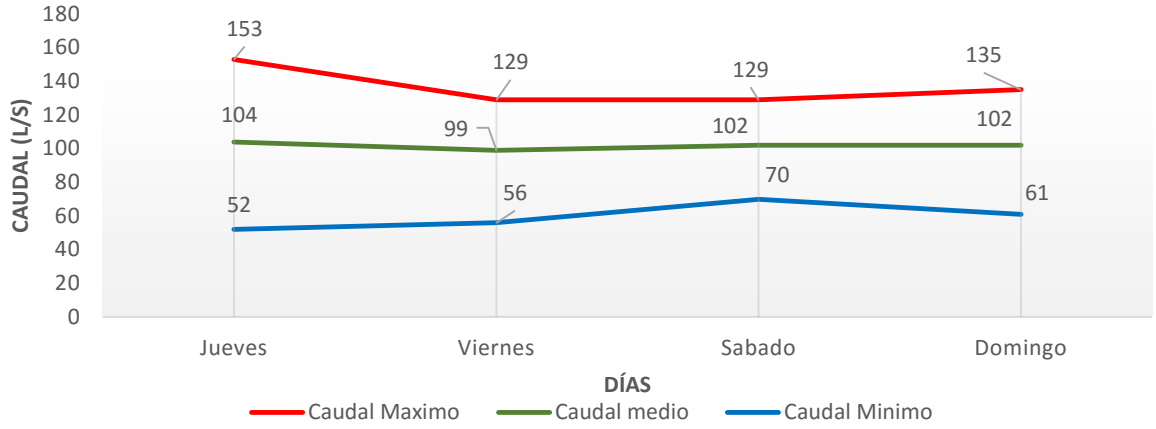
Hora	Caudal afluente	Caudal efluente
06:00 a.m.	80 L/s	94 L/s
07:00 a.m.	141 L/s	121 L/s
08:00 a.m.	129 L/s	122 L/s
09:00 a.m.	123 L/s	125 L/s
10:00 a.m.	123 L/s	121 L/s
11:00 a.m.	123 L/s	128 L/s
12:00 p.m.	**153 L/s**	109 L/s
01:00 p.m.	**153 L/s**	111 L/s
02:00 p.m.	147 L/s	129 L/s
03:00 p.m.	135 L/s	**134 L/s**
04:00 p.m.	135 L/s	125 L/s
05:00 p.m.	129 L/s	116 L/s
06:00 p.m.	123 L/s	107 L/s
07:00 p.m.	107 L/s	97 L/s
08:00 p.m.	101 L/s	97 L/s
09:00 p.m.	85 L/s	90 L/s
10:00 p.m.	80 L/s	76 L/s
11:00 p.m.	75 L/s	78 L/s
12:00 a.m.	61 L/s	69 L/s
01:00 a.m.	61 L/s	**51 L/s**
02:00 a.m.	56 L/s	53 L/s
03:00 a.m.	**52 L/s**	**51 L/s**
04:00 a.m.	**52 L/s**	55 L/s
05:00 a.m.	66 L/s	55 L/s
Q Promedio	**104 L/s**	**96 L/s**

Caudal máximo

Caudal medio

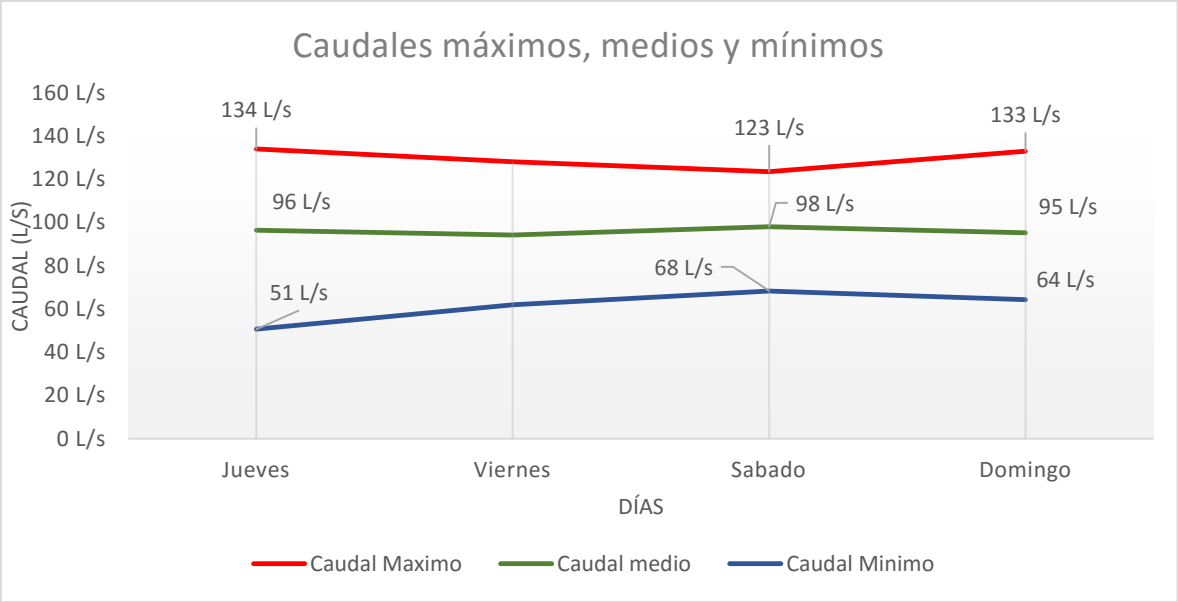
Caudal mínimo

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



`

Gráfico 2. Caudales promedios máximos, medios y mínimos en el efluente



Las horas pico encontradas en el afluente oscilan entre 12:00 p.m. y la 01:00 p.m. debido a las labores domesticas, uso de agua en lavados de autos, entre otros. los caudales mínimos se presentan cuando estas actividades se reducen considerablemente desde las 02:00 p.m. presentando el menor caudal hasta las 06:00 a.m. donde continua el ciclo de incremento por los factores antes descritos.

La tabla 9, muestra el registro histórico elaborado por ENACAL en el 2012, ENACAL 2016 y el caudal tomado en el 2017, donde se muestran las alzas que ha tenido el caudal en estos años.

Tabla 9. Datos históricos del caudal del STAR de Matagalpa

Ciclo de toma de caudales	Caudal promedio afluente	
	m^3/día	L/s
Actual 2017	8791.2	101.75
informe ENACAL 2016	8275	95.78
Informe GIZ 2012	4771.008	55.22

En los aforos del 2017, el caudal per cápita del STAR en Matagalpa varía entre 52 L/s - 153 L/s con un promedio de 101.74 L/s. los aportes de caudal son mayores que los asumidos por los diseñadores que proyectaron el STAR para un caudal promedio de 47 L/s (GIZ, 2012).

Estos han aumentado debido al crecimiento urbano, sus conexiones ilegales en el sistema de aguas residuales, mal uso de agua de abastecimiento (como auto lavados, entre otros), (ver aforos de efluente y afluente en anexo 7 - 10).

5.1.1 Determinación del caudal de la laguna mediante el balance hídrico

El balance hídrico establece que para cualquier volumen arbitrario y durante cualquier período de tiempo, la diferencia entre las entradas y salidas estará condicionada por la variación del volumen de agua almacenada (UNESCO, 1981).

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

Unidad de tratamiento	Caudal medio del STAR (m^3/día)	Evaporación (mm/día)	Área (m^2)	caudal de la laguna	
				L/s	m^3/día
Lagunas primarias	8790.31	5.80	5114.00	101.40	8760.65
Laguna secundaria	8790.31	5.80	12838.00	100.88	8715.85
Laguna terciaria	8790.31	5.80	16970.00	100.60	8691.88

Para esto, la tabla 10 establece los datos de evaporacion diaria, de acuerdo INETER 2017 como factor en las constantes presipitaciones atmosferiacas, el caudal medio y el area de la laguna que proporcionan el balance hidrico calculado. Estableciendo como resultados, rangos menores en el efluente de la laguna terciaria, devido a las perdidas evaporadas.

5.2 Determinación del periodo de retención

El periodo de retención es fundamental en la reducción de carga orgánica y patógenos; estos valores fueron obtenidos por la ecuación que se encuentra en el capitulo 4, acapite 4.2.2.3.

Según Stewart M. Oakley en su manual de diseño, construccion, operación y mantenimiento elaborado en el 2005 dice que: *"El proposito de una laguna anaerobica es remover un porcentage de la carga organica (DBO_5) y la mayoria de los solidos suspendidos bajo condiciones anaerobicas"* su desempeño se regula según el periodo de retencion (TRH) y ratifica que "*para lagunas anaerobias estas deben cumplir un periodo de uno a cinco dias".*

Tabla 11. Periodo de retención hidráulico TRH (Arthur, 1984)

Unidades de tratamiento	Volumen (m^3)	Caudal medio (m^3/día)	TRH (día)
Laguna primaria	14662	8761.53	1.67
Laguna secundaria	21594	8716.74	2.48
Laguna de terciaria	19482	8692.77	2.24

En cuanto al STAR de Matagalpa, la tabla 11 registra los valores de TRH e indica que la laguna primaria trabaja como Oakley lo indica, teniendo un periodo de 1.67 dias, *"para lagunas facultativas su periodo debe de ser 10 dias como minimo* (Oakley S. M., 2005)*",* comparado con el sistema evaluado, no presenta una eficiente remocion de patogenos ya que el periodo de retencion es de 2.48 dias y en cuanto a *"lagunas de maduracion se acepta 5 dias de retencion para la vida util del sistema* (Oakley S. M., 2005)*"* y el evaluado presenta 2.24 dias, que se considera como deficiente según la investigacion de Oakley (2005).

Al comparar el TRH con lo recomendado por la OMS/OPS, este no cumple con lo estableciodo, ya que indica como minimo 10 dias para la eliminacion de patogenos (Mara & Cairncross, 1989).

Para cumplir en el STAR de la ciudad de Matagalpa, es necesaria la continuidad del proyecto (ver, anexos 22, plano 236485 - OT) con la ejecucion de dos lagunas anaerobias, paralelas a las lagunas primarias uno y dos, más una de maduracion paralela a la laguna terciaria actual y asi, prolongar el tiempo de retencion hidraulico, aproximadamente a 12 dias.

Para la unidad facultativa del sistema, según las temperaturas encontradas en campo no establecen relacion con la remocion de DBO_5 segun Yánez 1992, ya que la laguna secundaria obtuvo una remocion del 21.80% del DBO_5, esta no cumple con el rango establecido en la remocion de DBO_5 debido a que la primer laguna facultativa se encuentra en mantenimiento.

5.3 Resultados de análisis físicos – químicos del STAR

La tabla 12, presenta los valores promedios de los análisis físico-químicos obtenidos en laboratorios, estos datos tienen cierto rango de diferencia en comparación con los datos obtenidos de ENACAL (2016).ver gráfico 3 y 4.

Gráfico 3. Concentraciones de DBO_5 en afluente del STAR

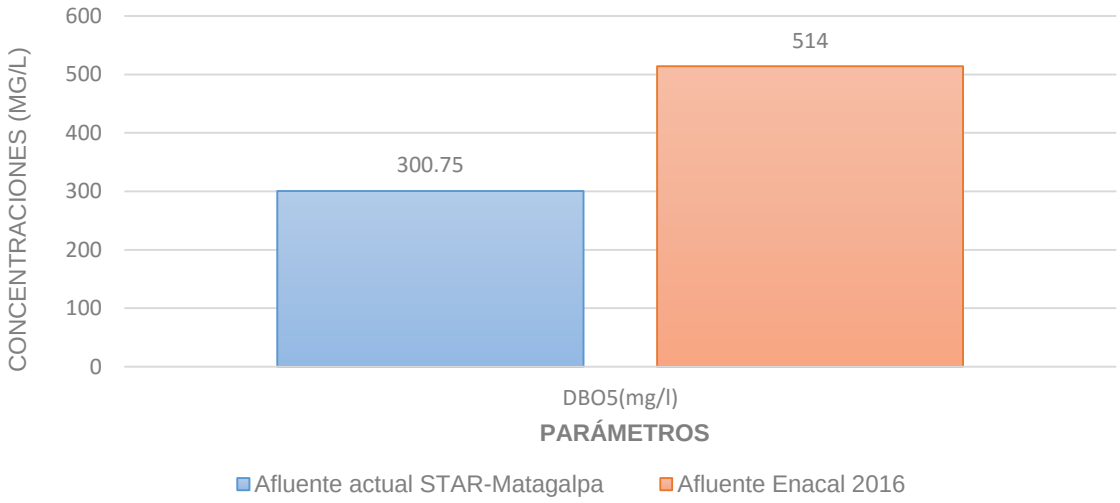
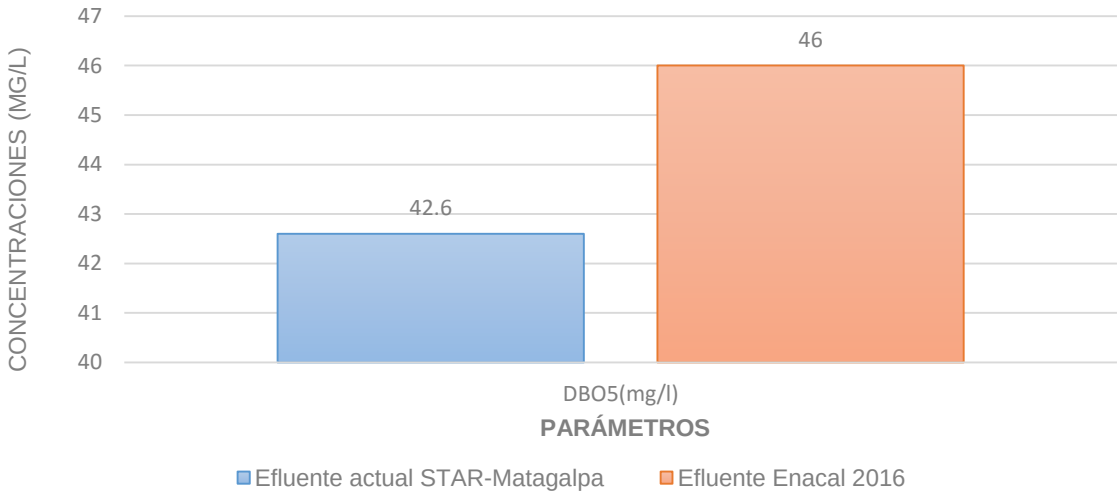


Gráfico 4. Concentraciones de DBO_5 del efluente



Los valores econtrados actualmente difieren con los de ENACAL (2016), debido a los factores climáticos y las diferentes épocas del año en las cuales se tomaron las muestras. Otro aspecto importante, es que los datos presentados en este documento son de muestras compuestas y ENACAL presenta unicamente muestras simples o puntuales.

Los resultados promedios analizados en campo y laboratorio se resumen en la tabla 12.

Tabla 12. Resultados promedios del monitoreo de muestras

Días de Monitoreo 23 junio - 27 junio				
Unidades de tratamiento	**Parámetros promedio**			
	DBO_5 (mg/L)	**Coliformes totales (NMP/100ml)**	**Coliformes fecales (NMP/100ml)**	**Fósforo total (mg/l)**
Afluente	300.75	2.60E+07	**1.05E+07**	2.95
Efluente laguna primaria	76.5	2.27E+07	1.52E+07	2.36
Efluente laguna secundaria	59.825	9.37E+06	5.22E+06	2.02
Efluente	42.6	3.27E+06	**5.43E+05**	1.46

Los análisis de laboratorio recolectados en campo como (DBO_5, Coliformes totales, Coliformes fecales y Fósforo total) se muestran en los anexos 17 - 20.

5.4 Determinación de nutrientes (fósforo total)

Tabla 13. Resultados Fósforo total vs Decreto 21-2017 en cada fase de tratamiento

Parámetros	Días de monitoreo			
	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Afluente (mg/L)	2.15	2.29	3.46	3.90
Efluente laguna primaria (mg/L)	2.95	2.34	2.21	1.94
Efluente laguna secundaria (mg/L)	1.87	2.00	2.61	1.60
Efluente STAR (mg/L)	**0.61**	**1.71**	**2.03**	**1.49**
Decreto 21-2017 (mg/L)	**10.00**	**10.00**	**10.00**	**10.00**

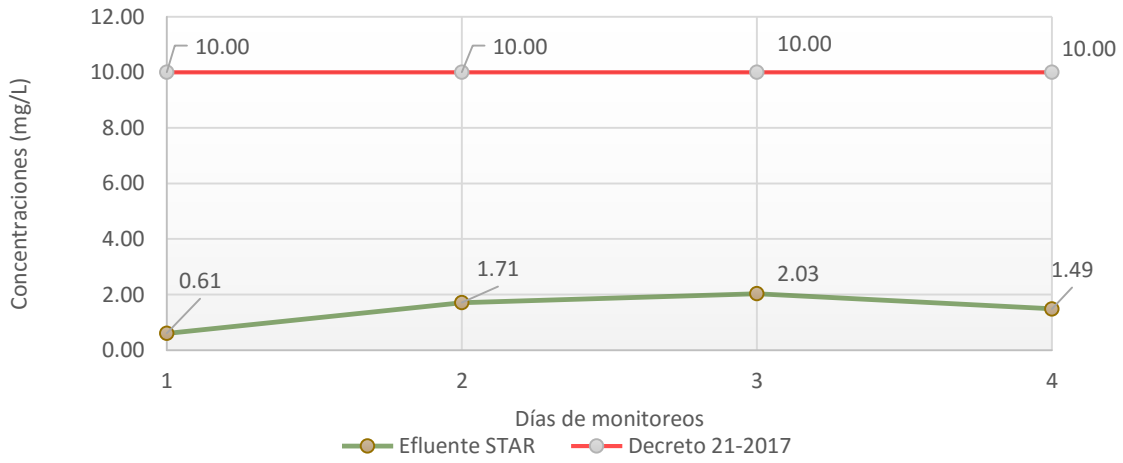
🔴 Límite máximo permisible del decreto 21-2017

🟢 Valores que cumplen con el decreto 21-2017

La tabla 13, es comparada con el nuevo decreto 21-2017 debido a que el decreto 33-95 no especifica valores para límites máximos permisibles del fósforo, sino que indicaba ir a MARENA y por medio de un aforo in situ, determinaban el límite máximo. Por lo tanto, el decreto 21-2017 en el artículo 26, demuestra que el STAR cumple con la norma establecida, ya que el limite permisible del fósforo total es de 10 mg/l y la mayor concentración de fósforo es el día sábado con un valor de 2.03 mg/l (Ver gráfico 5).

Este nutriente es la base de alimentación de las algas que crecen el sistema lagunar, las que permiten la remoción y depuración del mismo, evitando verter en el efluente grandes concentraciones de fósforo que perjudican al cuerpo receptor.

Gráfico 5. Fósforo total vs decreto 21 - 2017



Este alcance máximo de fósforo el día sábado, se debe al uso de detergente por la población en sus labores domésticas de fin de semana y de acuerdo al periodo de retención calculado, es vertido al efluente en un periodo de 6.39 días.

5.5 Determinación de Coliformes fecales

Tabla 14. Parámetros promedios de afluente y efluente vs decreto 33-95

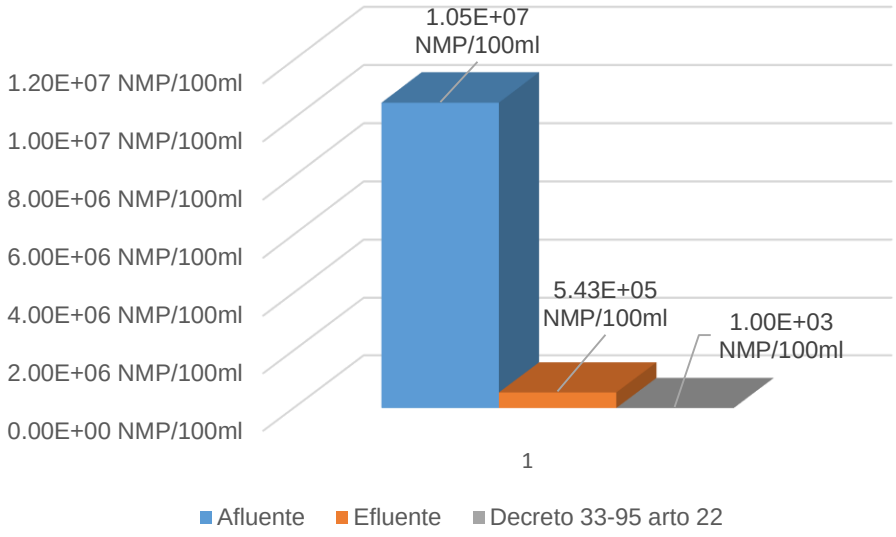
unidad de tratamiento	Parámetros promedio
Afluente	1.05E+07 NMP/100ml
Efluente	5.43E+05 NMP/100ml
Decreto 33-95 arto 22	1.00E+03 NMP/100ml

A pesar de haber iniciado esta investigación en temporadas lluviosas, los Coliformes fecales en el STAR de Matagalpa no cumplen con el decreto 33-95, el cual establece que los límites máximos en su artículo 22 es de 1E+03 NMP/100ml y en el efluente del sistema se encuentran 5.43E+05 NMP/100ml (Ver comparación gráfica 6).

Esta deficiencia se debe a que el sistema no alcanza el límite del periodo de retención establecido por Yanez (1990), la diferencia entre las unidades, es por el régimen hidráulico en la laguna y los cortos circuitos de retención.

El gráfico 6, compara las diferencias de los Coliformes Fecales en el afluente, efluente vs el decreto 33-95.

Gráfico 6. Coliformes fecales promedio en el afluente y efluente vs decreto 33-95



Con el gráfico 6, se corroboro con Oakley (2005) en su manual, quien explica que: *para la eliminacion de patogenos se necesita una remocion minima de 3 ciclos log$_{10}$ de coliformes fecales en un sistema de lagunas en serie, con un tiempo de retencion hidraulica nominal de por lo menos 15 dias para remocion de patogenos bacterianos".*

Esto quiere decir que el TRH, juega un papel importante en los ciclos de remocion de coliformes en las lagunas, y en el STAR de Matagalpa se puede observar claramente que estas lagunas no cumplen con un periodo de retencion adecuado debido a diversos factores, descritos en el acapite 5.2 de este documento, teniendo apenas, según la tabla 14 una remocion de 2 ciclos log$_{10}$, que afecta a los pobladores aledaños al efluente del STAR que utilizan dicho liquido para diversas actividades domesticas y como contaminante directo al cuerpo receptor y seres vivos en él.

Cabe señalar que este estudio no es el único donde se muestra que los sistemas lagunares no cumplen con la remoción de patogenos, en el año 2012 según GIZ, se descargo hasta 5.57E+05 NMP/100ml y Oakley (2005) en su manual estipula que *"los sistemas de laguna en Nicaragua no pueden cumplir la norma nicaraguense de coliformes fecales Oakley (2000; 1998), deduciendo que la norma se enfoca solamente en una cierta concentracion de coliformes fecales y no es satisfactoria para la situacion real de America Central".*

Comparando con el nuevo Decreto 21-2017 conforme a los coliformes 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).*

Dando como favorable todo sistema que en temporadas 2017 - 2022 cumplan con un límite establecido de 1E05 NMP/100ml, comparado al STAR de Matagalpa supera este valor llegando a los 5.43E05 NMP/100ml. Por lo tanto, los Coliformes fecales no se podrán remover en sistemas lagunares, hasta llegar a obtener periodos de retención mayores a 10 días según (Yanez Cossio, 1990)

Esto indica que para que el sistema funcione correctamente, deben de estar trabajando todas sus unidades, y cada laguna deberá de estar en mantenimiento cuanto antes, como la actual facultativa uno.

5.6 Determinación de carga orgánica

Los resultados obtenidos a través de los monitoreos se demuestran por cada fase de tratamiento con respecto a la carga orgánica y concentraciones de DBO_5 en la tabla 15, generados por las muestras adquiridas en campo y estudiadas en laboratorio.

5.7 Determinación de carga orgánica total y carga orgánica percápita

Tabla 15. Carga orgánica total a tratar en función de DBO_5

Unidad de tratamiento	Concentración $DB0_5$ (mg/L)	Caudal Promedio (L/s)	Carga orgánica total (Kg DBO_5/día)	Carga Orgánica percápita (DBO_5/hab/día)
Laguna primaria	300.75	101.80	2645.25	**34.29**
Laguna secundaria	76.5	101.41	670.26	
Laguna terciaria	59.825	100.89	521.48	
Efluente	42.6	100.61	370.31	
		COT	4207.30	

De a cuerdo al estudio realizado y las caracterizaciones de las aguas residuales en el STAR de Matagalpa, el aporte percapita de carga organica en el afluente es de 34.31 gr DBO_5/hab-día, siendo este un indicador para diseño de futuros sistemas de tratamiento de tipo lagunar y nuevos inventarios de gases de efecto invernadero.

El valor percapita encontrado, descarta el utilizado por el PIENSA (2005) en su inventario nacional de gases de efecto invernadero, ya que trabajó con un valor percapita de 42 gr DBO_5/hab-día, utilizado para cada cabecera departamental, debido a que no existian registros de estudios acerca de estos datos, guiandose de una referencia de INIDE (200-2011), según la condicion de pobreza (Ver anexo 21), nivel de ingesta de calorias y proteinas recomendados.

Comparando con investigdores mas recientes como: Vanegas-Benavides y Reyes (2016), para el STAR “El Patriarca” es de 51.75 g DBO_5/hab-día y para el STAR “San Rafael del Sur” es de 64.55 gr DBO_5/hab-día, el valor perapita encontrado es menor debido a la calidad de vida que llevan los matagalpinos.

Teniendo en cuenta que Matagalpa se ubica en el rango de pobreza alta, indicando poco consumo en calorias y proteinas según INIDE (2008) y comparado con el registro percapita del PIENSA (2010), se considera pobreza alta a las descargas percapitas con valor de 35 gr DBO_5/hab-día, confirmando así, la calidad de vida que llevan estos pobladores conectados al STAR.

5.8 Determinación de carga orgánica superficial

Tabla 16. Carga orgánica superficial máxima (CSM)

Unidad de tratamiento	CSM (kg DBO_5/ Ha*día)
Lagunas primarias	861.17
Laguna secundaria	861.17
Laguna terciaria	861.17

La carga orgánico superficial máxima es determinada con respecto a la temperatura del ambiente (Mc Garry & Pescod 1970), la ciudad de Matagalpa registra su menor temperatura correspondientes al día 26 de enero del 2017 de 13 °C, según la estación meteorológica Raúl González de INETER.

Basado a los registros investigados, resulta que la CSM en el STAR es de 861.17 kg. DBO_5/ Ha*día, siendo este el limite comparativo con la carga superficial aplicada para determinar el estado del sistema.

Tabla 17. Carga orgánica superficial aplicada real (Csa)

Unidad de tratamiento	Csa (kg DBO_5/ Ha*día)
Laguna Primaria	5169.51
Laguna secundaria	522.04
Laguna terciaria	307.26

La carga orgánica superficial aplicada real es inversamente proporcional al área de la laguna (Vanegas, Reyes, & Gámez, 2005). Esto se comprueba al observar los resultados ya que el área de la laguna primaria (0.5114 Ha) es menor que la laguna secundaria (1.2838 Ha) y posee una mayor carga orgánica superficial aplicada.

Los valores obtenidos, reflejan que la laguna primaria, se encuentra cargada orgánicamente, ya que sobrepasa los límites máximos permisibles encontrados debido al pequeño tamaño de la laguna y su proceso anaerobio.

En cambio, las lagunas secundaria y terciaria, cumplen con su proceso facultativo y maduración, por su gran tamaño y eficacia a la remoción de materia orgánica.

Tabla 18. Remoción esperada de materia orgánica

Unidad de tratamiento	Remoción (kg DBO_5/ Ha*día)
Laguna Primaria	4175.84
Laguna secundaria	428.59
Laguna terciaria	255.42

5.9 Determinación de la eficiencia del STAR

Tabla 19. Eficiencias en el afluente y efluente general del STAR

Parámetro	Afluente	Efluente	Eficiencia de DBO_5
DBO_5 (mg/L)	300.75	42.6	86%
Fósforo (mg/L)	2.95	1.46	50%
Coliformes totales (NMP/100ml)	2.60E+07	3.27E+06	87%
Coliformes fecales (NMP/100ml)	1.05E+07	5.43E+05	95%

Según los análisis de resultados obtenidos en laboratorios de los monitoreos antes realizados, se evaluó la remoción de carga orgánica correspondiente entre el afluente y el efluente del STAR obteniendo asi una remoción del 86% del DBO_5, esto se llevó a cabo con los valores promedios obtenidos que corresponden para el afluente 300.75 mg/L y para el efluente 42.6 mg/L, cumpliendo así con lo establecido con la norma para plantas de tratamiento con poblaciones mayores a los 75,000 habitante cuyo valor permisible es de 90 mg/L descrito en el decreto 33-95 artículo 23.

Con respecto al fósforo, se obtiene un 50% de remocion y respecto al decreto 21-2017 cumple con el rango establecido, mientras que el decreto 33 – 95, no establece datos para comparar este factor de calidad de agua en las lagunas de estabilizacion.

Referente a los coliformes fecales, la eficiencia es del 95% incumpliendo el limite máximo permicible del arto. 22 del decreto 33 – 95, mientras que para los coliformes totales no existe una normativa en el país que los regule. Una vez más, se comprueban los estudios de GIZ (2012), Stewart M. Oakley (2005), que establecen, que en Nicaragua ningún sistema de tratamiento lagunar, con respecto a patógenos, cumple con las normas establecidas por el decreto 33 – 95.

5.10 Regulaciones ambientales

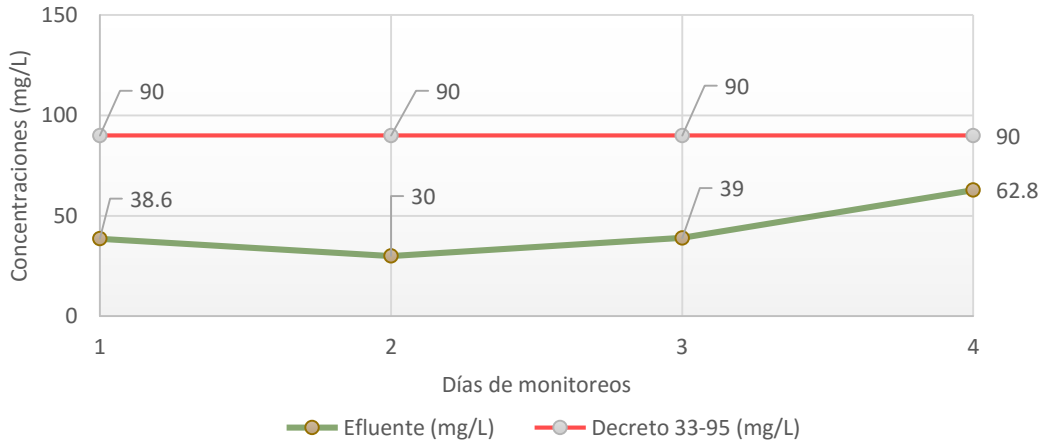
Tabla 20. Resultados DBO_5 vs Decreto 33-95 en cada fase de tratamiento

Parámetros	Días de monitoreo			
	Jueves	Viernes	Sábado	domingo
Afluente (mg/L)	110	195	260	638
Efluente Laguna primaria (mg/L)	69	65	52	120
Efluente Laguna secundaria (mg/L)	42.6	72	41.4	83.3
Efluente (mg/L)	**38.6**	**30**	**39**	**62.8**
Decreto 33-95 (mg/L)	**90**	**90**	**90**	**90**

- Límite máximo permisible del decreto 33 - 95
- Valores que cumplen con el decreto 33 - 95

Las comparaciones expresadas en la tabla 20, se reflejan en el gráfico 7.

Gráfico 7. Concentraciones de DBO_5 en el efluente general vs Decreto 33-95



Los valores obtenidos de DBO_5, se comportan de manera ascendente a partir del día viernes, dando su mayor cantidad de oxigeno el día domingo, que corresponde a la descarga de mayor carga orgánica debido al periodo de retención que desecha el agua que entra al sistema después de 6.39 días.

De acuerdo al valor máximo encontrado, el día domingo es el que presenta mayor carga orgánica y este proceso puede variar según la temperatura.

5.11 Calculo de Metano por simulación de GEI y método del examen

Se realizó el cálculo de metano, mediante dos métodos, para establecer una comparación entre ambas opciones y verificar, cual es el más acertado, de acuerdo a los resultados obtenidos en los siguientes incisos:

5.11.1 Método del examen

El método del examen es una forma de calcular el metano de manera simple, utilizando valores por defecto que establece el manual de buenas prácticas de la IPCC (2006), este se usa en países donde aún no se han realizado estudios sobre inventarios de GEI.

Tabla 21. Método de examen para producción del CH_4

Unidades de tratamiento	**Población (hab)**	**(D) Carga orgánica (g DBO_5/persona/día)**	**(SBF) Fracción de $DB0_5$ que se sedimenta**	**(FE) Factor de emisión (g CH_4/g DBO_5)**	**(FTA) Fracción de DBO_5 en lodos**	**Emisión de CH_4** (kg ch_4/año)
Laguna primaria	77100	34.29	0.5	0.60	0.8	231586.82
Laguna secundaria	77100	8.69	0.5	0.60	0.8	58708.60
Laguna terciaria	77100	6.76	0.5	0.60	0.8	45676.88
					Total de CH4	**335972.30**

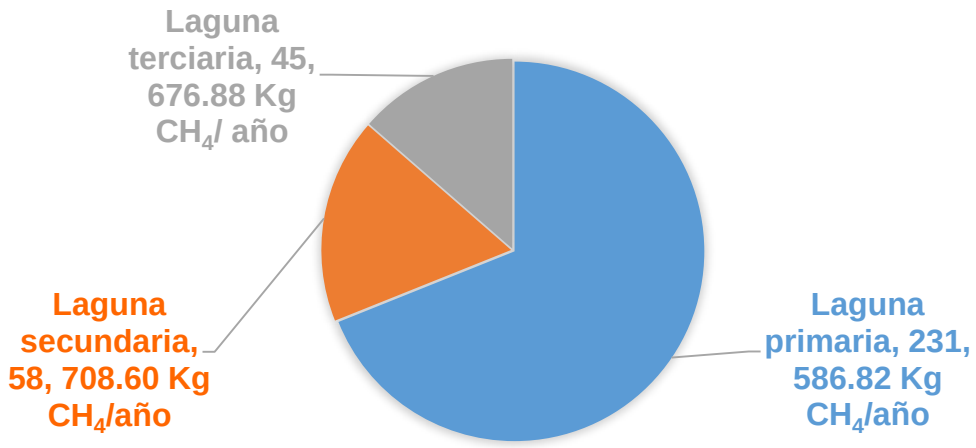
Para el STAR de Matagalpa, se puede utilizar este método aboliendo los datos encontrados en este estudio, para comparar y verificar, cual es el método de conveniencia en cuanto a la realización de nuevos inventarios de GEI.

Este método brinda un dato de emisión de 335, 972.3 kg CH_4/año, que será comparado en el acápite 5.10.2, con el método de recopilación de datos, dando como referencia que el Instituto nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2012) en su documento de inventario nacional de emisiones de gases de efecto de

invernadero, estipula que: "*este método aumenta significativamente los resultados del cálculo de metano debido a la utilización de valores por defectos dados por la misma IPCC, para facilitar los procedimientos de cálculos en países que poseen esta incertidumbre"*.

El gráfico 8, presenta la diferencia de producción de metano en las distintas fases de tratamiento con el método del examen

Gráfico 8. Producción de metano por el método del examen



Se considera que los resultados que presenta el método del examen son exagerados debido a su condición de uso, pero no se equivoca en demostrar que la laguna primaria (laguna anaerobia) es la que más metano produce debido a sus altas concentraciones de carga orgánica y con respecto a las siguientes unidades, emiten menos cantidades de metano debido a la remoción de cargas orgánica que se ha hecho en el proceso del sistema.

5.11.2 Método de recopilación de datos

Este método a como su nombre lo indica, permite colectar datos específicos de la zona en estudio, para tener inventarios de CH_4 confiables y puedan ser consideradas para futuras investigaciones. Según la IPCC (2006), Nicaragua aplica

para este método en el segundo nivel de acuerdo al árbol de decisiones en el acápite 4.2.6.2.

Para llevar a cabo este método se realizan los siguientes pasos:

1. Se calculó el total de materia orgánica en las aguas residuales, tomando en cuenta la población conectada al sistema, carga orgánica per cápita de cada unidad de tratamiento, que sirve para obtener el total de materia orgánica degradable (ver, tabla 22).

Tabla 22. Total de materia degradable (TOW)

Unidades de tratamiento	Población (hab)	Carga orgánica per cápita	factor de corrección (I)	TOW (Kg DBO_5/año)
Laguna primaria	77, 100	34.31	1	965, 517.21
Laguna secundaria	77, 100	8.69	1	244, 644.07
Laguna terciaria	77, 100	6.76	1	190, 339.82
Efluente	77, 100	4.80	1	135, 163.94

Es evidente que la materia orgánica degradable es muy alta en la laguna primaria ya que estas contienen toda la carga orgánica que depositan los habitantes de Matagalpa, a diferencia de las otras unidades que ya han sufrido una remoción en el sistema.

2. Para obtener el factor de corrección de DBO_5 se verifico a que no estuvieran conectadas industrias y así, utilizar el valor de “1” según ENACAL (2017).

3. Según el cálculo realizado el factor de emisión de CH_4 corresponde a 0.055 kg CH_4/kg DBO_5 siendo este el producto de lo estudiado por el PIENSA (2010), el cual determina que para sistemas de lagunas de estabilización su

factor de corrección para el CH_4 es de 0.22 (MCF_j) y tomando en cuenta lo recomendado por la IPCC (2006) con un valor de 0.25 kg CH_4/kg DBO_5 (B_o).

4. Respecto a la recuperación de metano (R) y el componente orgánico separado (S), el valor por defecto según el manual de buenas prácticas de la IPCC (2006), es cero, porque en Nicaragua no existe un proceso de recuperación como en México y Estado Unidos (Saenz, 1994).

5. Para la fracción de la población del país (U_i) se utilizó 57.3% que corresponde al área urbana, según PIENSA (2005 - 2010).

6. El grado de utilización de sistema de tratamiento (Tij) se obtiene mediante la IPCC (2006), en el cuadro 6.5, usando como relación la ciudad de México, para américa latina, con la población urbana de ingresos bajos, con un valor de 0.8.

La tabla 23, describe cada uno de los valores, con sus unidades correspondientes:

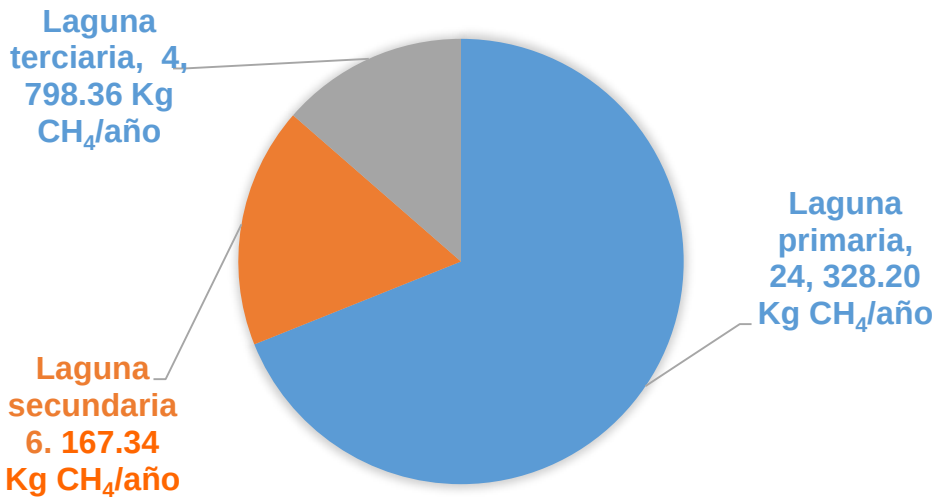
Tabla 23. Simulación de gases de efecto invernadero en el STAR de Matagalpa según IPCC (2006)

Unidades de tratamiento	(TOW) Total de materia orgánica en aguas residuales (kg DBO_5/año)	(S) Componente orgánico separado (kg DBO_5/año)	(Ui) Fracción de la población del grupo de ingresos	(Tij) Grado de utilización de vía sistema de tratamiento	(Efj) Factor de emisión (kg CH_4/kg DBO_5)	(R) Cantidad de CH_4 recuperada (kg CH_4/año)	Emisión de CH_4 (kg CH_4/año)
Laguna primaria	964945.09	0.00	0.573	0.8	0.055	0.00	24328.20
Laguna secundaria	244619.17	0.00	0.573	0.8	0.055	0.00	6167.34
Laguna terciaria	190320.34	0.00	0.573	0.8	0.055	0.00	4798.36
						Total CH4	**35293.89**

Nota: Total de materia orgánica en aguas residuales

El cálculo del metano se realizó de acuerdo a la carga orgánica en función del $DB0_5$, este procedimiento es el más eficaz al realizar estudios del CH_4, ya que por su mayoría de variables es más exacto en su cálculo (para mayor detalle de la producción de CH_4 ver gráfico 9).

Gráfico 9. Produccion de metano anual según metodo de recopilacion de datos



La tabla 23, presenta la producción de metano por cada fase de tratamiento, teniendo en cuenta que producen un 69% del metano la laguna primaria debido a que estas son lagunas anaeróbicas y el agua entra en ellas de manera cruda donde la DBO_5 es de 300.75 mg/L por lo tanto se sedimenta más materia que favorece la producción del metano.

La laguna secundaria produce 17% del metano calculado por el método de nivel 2 de la IPCC (2006) ya que en esta fase del tratamiento entra con un tratamiento primario donde su DBO_5 corresponde a 76.50 mg/L. Es esta la causa del menor porcentaje de producción de metano.

La laguna terciaria es agua de mejor calidad, el DBO_5 es equivalente a 59.83 mg/L por ende la producción del metano es mínima comparada con las lagunas primarias quienes son las productoras de metano por excelencia según PIENSA (2006), sin embargo, el tratamiento terciario produce 14% de CH_4.

Según el informe del PIENSA-UNI 2005-2010, el valor de metano producido para Matagalpa anualmente es de 308, 177.15 kg CH_4/año un valor conservador con respecto al obtenido de 38, 717.19 kg CH_4/año, la diferencia se debe a que el PIENSA incluye valores de los distintos sistemas de tratamientos rurales tales como: letrinas, fosas sépticas, zonas urbanas del departamento, la población conectada al sistema de tratamiento de aguas residuales, entre otras fuentes generadoras de CH_4.

Comparando los dos métodos utilizados, para la estimación de gases, comprenderemos que es más acertado el método de recopilación de datos, debido a que se puede sustituir en él, la mayoría de los valores acorde a los que presenta el país de estudio, mientras que el método del examen, es más específico con los datos a estudiar.

Líder en Ciencia y Tecnología

CAPÍTULO VI

Conclusiones y recomendaciones



"Solo nosotros los humanos producimos basura que la naturaleza no puede digerir."

-Charles Moore.

Capítulo VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.12 Conclusiones

- El resultado de la determinación de los valores percápita de carga orgánica, nutrientes y patógenos en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR) en la ciudad de Matagalpa, dio inicio con la determinación del caudal en 5 aforos consecutivos de 24 horas cada uno, realizados desde el 22 al 27 de junio del año 2017, dando como resultado un caudal percápita en el afluente que varía entre 52 - 153 L/s con un promedio de 101.75 L/s y en el efluente se registro un caudal promedio de 137.25 L/s.

- Los periodos de retención se ven afectados por la sobre carga hidráulica en el STAR y su comportamiento es confirmado con la bibliografía internacional.

- Las concentraciones de fósforo y DBO_5 se encuentran en el rango establecido por el decreto 33 – 95, excepto los Coliformes fecales, ya que no existe una norma legislada adecuada en Nicaragua, por eso el sistema no cumple la normativa del decreto actual 21 – 2017 aunque tampoco los cumplía con el decreto 33 – 95, esto mismo se ha reportado en todos los sistemas lagunares de Nicaragua y Honduras (Oakley, 2005) ya que una norma que se enfoca solamente en cierta concentración de coliformes fecales, no es satisfactoria para la situación real del país, estos son solamente un indicador y no un patógeno y fue desarrollado originalmente para proteger la salud publica en agua potable.

- El valor de carga orgánica total del sistema es de 4, 205.57 kg DBO_5/día y a medida que disminuye las concentraciones de DBO_5 disminuye el valor de carga orgánica, junto a la emisión de CH_4 en el sistema.

- Se emplearon dos métodos para la estimación de CH_4 en el sistema, que suman un valor de 35, 293.89 kg CH_4/ año utilizando el método de simulación de gases de efecto invernadero y con respecto al método del examen 335, 972.30 kg CH_4/año siendo estos valores aún menores que los obtenidos por otros

organismos debido a que utilizan métodos no centralizados en lagunas de estabilización.

5.13 Recomendaciones

Para que el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Matagalpa sea sostenible a largo plazo, se deberá de tomar en cuenta lo siguiente:

- Contar con una bitácora de registros de caudales de afluente y efluente del sistema, para llevar en tiempo y forma el comportamiento del caudal en el STAR, facilitando los cálculos para la extracción de muestras (muestra tipo compuestas), así, con el análisis de laboratorio plantear nuevas alternativas de mejoras para los años próximos.

- Usar equipos Esterilizados para cada extracción de muestras, para tener un resultado de laboratorio más acertado.

- Desarrollar planes de limpieza y seguridad, contra el ganado bovino, para evitar daños a las estructuras del sistema.

- Capacitar una cuadrilla para la estimación de GEI, a través de cámaras estáticas y a si tener un control in situ de GEI que sirva para la ejecución de un inventario de gases y valorar las emisiones provenientes de las lagunas.

- Realizar un estudio de calidad del aire para determinar el índice de contaminación por parte de las lagunas.

Líder en Ciencia y Tecnología

CAPÍTULO VII

- Bibliografía



"Nuestro pasado, nuestro presente y futuro, dependen absolutamente de lo que hagamos ahora."
-Sylvia Earle.

Capítulo VII BIBLIOGRAFIA

Bibliografía

Cortes Martinez, F., Luevanos Rojas, A., Luevanos Rojas, R., Uranga Sifuentes, A. C., Avila Garza, C. M., & Gonzalez Barrios, J. L. (2011). Diseño de Lagunas de estabilizacion en serie con diferentes configuaraciones. (Caso comarcalagunera estado de Durango, Mexico). Matanzas, Cuba.

Arthur, J. (1984). Notes on the desig and operation and waste stabilization ponds in wam climates of Developing countries. Technical paper Number 7 E.U.A.

Allen, D.E. (2007). Spatial and temporald variation of nitrous oxide and methane flux between subtropical mangrove sediments and the atmosphere.

Banco Central de Nicaragua. (2017). Cabecera municipal de Matagalpa. BCN. Managua, Nicaragua.

Chavarria, K. (19 de Enero de 2017). Proyecto de resiclaje se asientan en municipios. El Nuevo Diario, págs. http://www.elnuevodiario.com.ni/nacionales/415812-proyectos-reciclaje-se-asientan-municipios/.

Cortés, M., Treviño, C., & Tomasini, O. (2017). Dimensionamiento de lagunas de estabilización. Mexico: IMTA.

Empresa Nicaraguense de Acueductos y Alcantalillados. (2005). Plantas de tratamiento de aguas residuales de nicaragua. 6/11/2005. ENACAL. Managua - Nicaragua.

Espigares, G., & Perez, L. (1985). Aspectos sanitarios del estudio de las aguas. Granada.: Universidad de Granada. Servicio de Publicaciones.

Gamez, S. (2005). Aguas residuales, caracteristicas, tratamiento y calidad de efluentes: lagunas de estabilizacion para el tratamiento de aguas residuales domesticas. (CIEMA-UNI). Managua - Nicaragua.

GIZ. (2012). Diagnostico general de 35 sistemas de tratamiento de agua residuales de ENACAL. Managua.

Huttunen, J.T. (2001). Greenhouse gases in non oxygenated and artificially oxigenatted Eutrophird lakes during winter stratification.

Instituto Nicaraguenses de Acueductos y Alcantarillados, I. N. (2004). Guias tecnicas para el diseño de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamiento de aguas residuales. INAA. Managua - Nicaragua.

Instituto Nacional de estadisticas y censos. (2003). Instituto Nacional de Estadistic y Censos.. Managua, Nicaragua: www.inec.gob.ni. INEC.Managua - Nicaragua.

Instituto Nacional de Estadisticas y Sensos I. N. (2012). actualizacion del inventario nacional de emisiones de gases de efecti invernadero 1990 - 2010, para las categorias de energia y procesos industriales. INECC. Mexico D. F.

IPCC, G. I. (2006). Directrices del IPCC de 2006 paea los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

Instituto de Toxicologia de la Defensa, I. d. (2016). Protocolo de toma de muestras de agua residual. ITOXDEF. España.

Instituto de credito de la reconstruccion, K. F. (2016). Historia del proyecto de Agua de MAtagalpa y Jinotega. KFW, Matagalpa - Nicaragua

Korsak, L. (2007). Curso de tratamiento de aguas residuales. Managua, Nicaragua.

Lasso, A. P. (2010). Cámaras estáticas para la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero en lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Cali, Colombia.: Universidad del Valle.

Lopez, E. G. (1985). AGUAS RESIDUALES. Obtenido de https://www.google.com.ni/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwidx-O9j5LUAhXB0iYKHX9gA7MQFghxMAY&url=http%3A%2F%2Fcidta.usal.es%2Fcursos%2FEDAR%2Fmodulos%2FEdar%2Funidades%2FLIBROS%2Flogo%2Fpdf%2FAguas_Residuales_composicion.

Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales. (2008). Segunda Comunicacion nacional ante la convencion de marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climatico. MARENA, M. d Managua, Nicaragua.

Martinez Tijerino, G., & Julio. (2002). factibilidad tecnica-economica del sistema de alcantarillado sanitario para la ciudad de Juigalpa. Managua - nicaragua.

NTON. (05 009 – 98). Norma Tecnica Obligatoria Nucaraguense. Managua - Nicaragua.

Oakley, S. M. (2005). Manual de diseño, construccion, Operacion y mantenimiento, monitoreao y sostenibilidad. Honduras.

Oakley, S. M. (2005). Manual de diseño, construccion, Operacion y mantenimiento, monitoreao y sostenibilidad. lagunas de estabilizacion de Honduras. Universidad Estatal de California.

Programa de Investigacion, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente. (2005). Inventario nacional de gases de efecto invernadero sector desechos. PIENSA, P. d. Managua, Nicaragua.

Rolim. (2000). Tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades.

Saenz, F. R. (1994). modernizacion y avances en el uso de aguas negras para la irrigacion. Intercambio de aguas- Uso urbano y riego. Washington D.C.

Simon Eggleston, L. B. (2006). Directrices del IPCC para los Gases de Efecto Invernadero. Impreso en Francia.

Organización de las Naciones Unidas para la Educacion, la ciencia y la Cultura. (1981). Metodo de calculo para el balance hidrico. UNESCO, 1. España.

Vanegas, C., Reyes, R., & Gámez, S. (2005). Definición del modelo de cálculo de la Carga Superficial Máxima (CSM) para el diseño de lagunas de Estabilización Facultativa de la zona del pacífico de Nicaragua. . Managua, Nicaragua.

Yanez Cossio, F. (26 de 05 de 1990). Reduccion de organismos patogenos y diseño de lagunas de estabilizacion en paises en desarrollo. Obtenido de CEPIS: http://www.cepis.org.pe/bvsacd/scan2/015767/015767.pdf

Zuniga, Y. (2013). Programa de control de vertidos industriales y plantas de tratamiento de aguas residuales.