



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**Facultad de Tecnología de la Construcción**

**Monografía**

**EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
“SUTIAVA” DE LA CIUDAD DE LEÓN.**

Para optar al Título de Ingeniero Civil

**Elaborado por**

Br. Ricardo Leonel Berrios Navarro

Br. Jaime Eliezer Pérez Hernández

**Tutor**

M.Sc. Ing. José Ángel Baltodano Maldonado

Managua, Febrero 2023



Managua, lunes 13 de febrero, 2023

**M. Sc. Ing. Miguel Antonio Fonseca Chávez**

**Decano F.T.C**

Su despacho

Estimado M. Sc. Ing. Fonseca Chávez.

Por medio de la presente hago constar que he concluido la tutoría del trabajo monográfico titulado **“EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES “SUTIAVA” DE LA CIUDAD DE LEÓN”**, elaborado por los bachilleres, **Ricardo Leonel Berrios Navarro y Jaime Eliezer Pérez Hernández** para optar al título de Ingeniero Civil de la Facultad de Tecnología de la Construcción (FTC) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI)

Es de mi agrado informarle que los bachilleres en mención han desarrollado con plena eficiencia el contenido de la presente investigación, la cual aporta un gran valor científico a la sociedad y a futuros profesionales, es por todo lo anteriormente mencionado que solicito la conformación del jurado examinador que valore el esfuerzo, la dedicación y el empeño empleado por los bachilleres, en el desarrollo de su trabajo monográfico.

Sin más a que referirme, le extiendo un cordial saludo y muchos éxitos en sus labores.

Atentamente.

---

M. Sc. Ing. José Ángel Baltodano Maldonado

e-mail: [jabaltodanoconsultor@yahoo.com](mailto:jabaltodanoconsultor@yahoo.com)

Cel: 77309199.

Tutor

CC: Br. **Ricardo Leonel Berrios Navarro**

Br. **Jaime Eliezer Pérez Hernández**

Archivo cronológico

Sustentantes



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION  
DECANATURA

DEC-FTC-REF-No.73  
Managua, 27 de Mayo del 2021

Bachilleres  
**RICARDO LEONEL BERRIOS NAVARRO**  
**JAIME ELIEZER PEREZ HERNANDEZ**  
Estimados (as) Bachilleres:

Es de mi agrado informarles que el PROTOCOLO de su Tema **MONOGRAFICO**, titulado: **"EVALUACION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SUTIAVA DE LA CIUDAD DE LEON"**. Ha sido aprobado por esta Decanatura.

Asimismo les comunico estar totalmente de acuerdo que el **Ing. José Ángel Baltodano Maldonado**. Sea el tutor de su trabajo final.

La fecha límite, para que presenten concluido su documento final, debidamente revisado por el tutor guía será el **27 Noviembre del 2021**.

Esperando puntualidad en la entrega de la Tesis, me despido.

Atentamente,

  
  
**Dr. Ing. Oscar Gutiérrez Somarriba**  
Decano

CC: Protocolo  
**Tutor- Ing. José Ángel Baltodano Maldonado**  
Archivo\*Consecutivo



## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a la memoria de mi padre Ricardo Berrios Altamirano, a la de mi abuelo Leonel Navarro Cáceres y a la de Magda Eugenia Berrios Altamirano (mi mamá Magda), a ellos dedico todo mi esfuerzo, mi amor y las futuras metas que lograre alcanzar. Siempre serán mis más grandes fuentes de inspiración y los mejores ejemplos de amor y bondad que he conocido.

Gracias por haberme enseñado a amar, por llenarme de amor y hacerme un hombre de fe, los mantendré siempre en mi corazón, siempre estarán en mis mejores recuerdos y por mi fe en Dios sé que algún día nos reencontraremos. Los amare eternamente.

También se lo dedico al amor de mi madre Keren Betuel Navarro Rizo y al de mis hermanas; Keren, Estela y Magda y al importante apoyo de Hernando Escobar.

*Ricardo Berrios.*

## DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo monográfico principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis padres, quienes con mucho amor, entrega y de manera incondicional me han guiado por el camino de la vida, influenciándome de sus buenos valores morales y éticos, y por esa gran labor me siento sumamente agradecido con ellos, han sido mi mayor inspiración y sustento para el desarrollo del presente trabajo, por ello dedico este nuevo logro en mi vida a Felicita Antonia Hernández Urbina y Jaime de la Concepción Pérez Loaisiga, mi mayores ejemplo de vida, es un privilegio para mi ser su hijo, los quiero mucho.

*Jaime E. Pérez H.*

## AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer con toda honestidad a todos los que durante los cinco años de educación formaron parte de nuestro éxito; amigo, familiares y maestros, nuestro mayor agradecimiento es a Dios al que le debemos todo y que por su misericordia nos ha permitido la realización del presente trabajo monográfico y nos ha colmado de muchas bendiciones.

Al apoyo incondicional de nuestros padres, sus consejos, llamados de atención y amor verdadero. Siempre estuvieron ahí cuando los necesitábamos, fueron nuestra inspiración y energía en los momentos de debilidad y nunca les molesto el sacrificio que hicieron por nosotros. De todo corazón gracias por darnos tan inmensurable apoyo.

Un especial agradecimiento a nuestro tutor el ingeniero José Ángel Baltodano Maldonado su responsabilidad, disposición, buena voluntad y por las valiosas e innumerables horas dedicadas al proyecto, siempre con una presencia llena de optimismo, lo cual fue clave para el éxito de este trabajo monográfico, deseamos que Dios lo bendiga siempre y que el amor de su familia lo rodee día a día.

No queremos culminar si mencionar también el apoyo de los trabajadores de laboratorio de agua de occidente de ENACAL, muchas gracias a;

Lic. María José Díaz.

Lic. Rider Sánchez.

Lic. Franklin Calderón.

Lic. Pablo Moreno.

*Ricardo L. Berrios N.*

*Jaime E. Pérez H.*

## **RESUMEN**

El estudio se hizo con el objetivo de evaluar la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Sutiava, del Municipio de León, Departamento de León, entre los meses de Agosto del 2020 y Enero del 2021 para determinar la calidad y eficiencia del tratamiento con respecto al decreto N° 21-2017 Artículo 25, que indica los valores máximos permitidos para las diferentes características de las aguas residuales producto de las actividades domésticas, que se vierten en el alcantarillado sanitario de la ciudad.

Se realizaron dos muestreos de 24 horas uno en la época de invierno y otro en la época de verano, se analizó las condiciones físicas de la planta las cuales presenta un deterioro muy notable, principalmente en la zona del pre tratamiento.

Se constató que el área consta de las suficientes herramientas para el mantenimiento y limpieza de la zona incluso la planta tiene un laboratorio donado por el Gran Ducado Luxemburgo en el año 2002. Sin embargo el personal de mantenimiento consta solamente de 3 personas las cuales aseguran no ser suficiente para poder hacer un mantenimiento de calidad.

La planta fue diseñada para un caudal promedio de 220 l/s en los muestreos realizados reflejaron un caudal promedio de 224 l/s. Se tomaron muestras por cada laguna las cuales fueron analizadas por el Laboratorio de Aguas Residuales Laboratorio Regional- ENACAL – León. Los datos de laboratorio reflejaron valores promedio de DBO de 86.66 mg/L y valores promedio de DQO de 223.43 mg/L siendo la DBO el único de estos dos factores importantes que cumplen con los valores mínimos del decreto N°21-2017.



Para los otros parámetros estipulados en el Artículo 25 del Decreto N<sup>o</sup>21-2017 se encontraron valores de pH entre 7.37 y 7.56, remoción de aceite y grasas de 95.19%, Sólidos Suspendidos Totales con una remoción de 78.42%, Coliformes Fecales con una remoción de 99.00% y Coliformes Totales con remoción de 98.30%.

En lo que respecta al Periodo de Retención Hidráulica de las lagunas demuestra que la planta tiene un periodo de retención de 7 días siendo este un dato mayor al mínimo requerido que es 5 días según las disposiciones de las guías técnicas para el diseño de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamientos de aguas residuales de INAA.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CAPÍTULO I. GENERALIDADES .....</b>   | <b>8</b>  |
| 1.1 Introducción .....   | 8         |
| 1.2 Antecedentes .....   | 9         |
| 1.3. Justificación.....  | 10        |
| 1.4 Objetivos .....  | 13        |
| 4.1 Objetivo general .....   | 13        |
| 4.2 Objetivos específicos:.....  | 13        |
| <b>CAPITULO II. DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO Y SISTEMA EXISTENTE .....</b>                             | <b>14</b> |
| 2.1 Descripción del área de estudio .....  | 14        |
| 2.1.1 Características hidrológicas y geofísicas.....   | 15        |
| 2.1.2 Servicios básicos del municipio de León .....  | 16        |
| 2.1.2.1 Agua potable y saneamiento .....   | 16        |
| 2.1.2.1.1 Principales problemas del acueducto: .....   | 17        |
| 2.1.2.1.2 Aspectos críticos del sistema .....  | 17        |
| 2.1.3 Actividades económicas del municipio de León .....   | 18        |
| 2.2 Descripción de las unidades existentes en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “Sutiava” ..... | 18        |
| Fuente: Elaboración propia. ....   | 19        |
| 2.2.1 Tratamiento preliminar.....  | 19        |
| 2.2.1.1 Obra en el afluente de la PTAR.....  | 20        |
| 2.2.1.2 Canal rectangular de entrada .....   | 20        |
| 2.2.1.3 Canal de rejas .....   | 21        |
| 2.2.1.4 Desarenadores.....   | 22        |
| 2.2.1.4 Tamiz mecánico .....   | 22        |
| 2.2.2 Tratamiento primario .....   | 23        |
| 2.2.2 Tratamiento secundario.....  | 24        |
| <b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>  | <b>25</b> |
| 3.1 Aguas residuales.....  | 25        |
| 3.1.1 Generalidades .....  | 25        |
| 3.1.2 Características de las aguas residuales .....  | 26        |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.1.2.1 Características físicas .....                                  | 26        |
| 3.1.2.1.1 Sólidos suspendidos.....                                     | 26        |
| 3.1.2.1.2 Sólidos disueltos .....                                      | 26        |
| 3.1.2.1.3 Sólidos totales .....  | 27        |
| 3.1.2.1.4 Color.....   | 27        |
| 3.1.2.1.5 Temperatura.....   | 27        |
| 3.1.2.1.6 Olor.....  | 27        |
| 3.1.2.2 Características químicas .....                                 | 28        |
| 3.1.2.2.1 Materia orgánica.....  | 28        |
| 3.1.2.2.2 pH.....  | 28        |
| 3.1.2.2.3 DBO <sub>5</sub> .....                                       | 28        |
| 3.1.2.2.4 DQO .....  | 28        |
| 3.1.2.3 Características biológicas.....                                | 29        |
| 3.1.2.3.1 Algas .....  | 29        |
| 3.1.2.3.2 Virus .....  | 29        |
| 3.1.2.3.3 Bacterias .....  | 29        |
| 3.1.3 Tipo de tratamiento de aguas residuales domésticas .....         | 30        |
| 3.1.3.1 Tratamiento preliminar.....                                    | 30        |
| 3.1.3.2 Tratamiento primario .....                                     | 31        |
| 3.1.3.3 Tratamiento secundario.....                                    | 31        |
| 3.2 Lagunas de estabilización .....                                    | 32        |
| 3.2.1 Generalidades .....  | 32        |
| 3.2.2 Clasificación .....  | 33        |
| 3.2.3 Parámetros de control en lagunas facultativas.....               | 35        |
| 3.2.4 Ventajas y desventajas de las lagunas de estabilización .....    | 35        |
| 3.2.5 Factores que influyen en el proceso.....                         | 37        |
| 3.2.6 Operación y mantenimiento de las lagunas de estabilización ..... | 37        |
| 3.2.6.1 Mantenimiento correctivo .....                                 | 37        |
| 3.2.6.2 Mantenimiento preventivo .....                                 | 38        |
| 3.3 Organismos patógenos .....   | 38        |
| <b>CAPÍTULO IV. DISEÑO METODOLÓGICO .....</b>                          | <b>39</b> |
| 4.1 Tipo de investigación.....   | 39        |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.2 Procedimiento exploratorio y estudios de campo .....  | 39        |
| 4.2.1 I Etapa: Recolección de documentación .....   | 39        |
| 4.2.2 II Etapa: Inspección física de la PTAR y ubicación de puntos de muestreos                     | 40        |
| 4.2.3 III Etapa: Levantamiento de datos .....   | 41        |
| 4.2.3.1 Medición de caudal.....   | 41        |
| 4.2.3.2 Recolección y preparación de muestra .....  | 42        |
| 4.2.3.3 Parámetros físicos-químicos y bacteriológicos evaluados .....                               | 44        |
| 4.2.3.4 Procedimientos y técnicas de medición de parámetros.....                                    | 45        |
| 4.2.3.4.1 Parámetros In situ .....  | 45        |
| 4.2.3.4.2 Parámetros en Laboratorio.....  | 46        |
| 4.2.4 IV Etapa: Análisis y procesamiento de datos .....   | 48        |
| 4.2.4.2 Determinación del tiempo de retención .....   | 48        |
| 4.2.4.2.1 Determinación del balance hídrico .....   | 48        |
| 4.2.4.2.2 Determinación del tiempo de retención hidráulica.....                                     | 49        |
| 4.2.5 V Etapa: Determinación de carga de nutrientes en función del fósforo .....                    | 50        |
| 4.2.6 VI Etapa: Determinación de la carga orgánica .....  | 50        |
| 4.2.6.1 Determinación de la carga orgánica total .....  | 50        |
| 4.2.6.2 Determinación de la carga orgánica superficial.....   | 51        |
| 4.2.6.3 Carga orgánica superficial aplicada real.....   | 52        |
| 4.2.6.4 Remoción esperada de materia orgánica.....  | 52        |
| 4.2.7 VII Etapa: Determinación teórica del volumen aproximado de lodos sedimentados en la PTAR..... | 53        |
| 4.2.8 VIII Etapa: Determinación de las eficiencias en la PTAR .....                                 | 53        |
| 4.2.9 IX Etapa: Regulaciones ambientales.....   | 54        |
| <b>CAPITULO V. RESULTADOS.....</b>  | <b>56</b> |
| 5.1 Evaluación física de la PTAR Sutiava .....  | 56        |
| 5.2 Aporte, distribución y variación de caudales en el afluente de la PTAR.....                     | 56        |
| 5.3 Determinación del caudal de cada laguna facultativa mediante balance hídrico .....              | 61        |
| 5.4 Determinación del periodo de retención hidráulica.....  | 63        |
| 5.5 Determinación de la carga de nutrientes en función del fosforo total .....                      | 64        |
| 5.6 Determinación de la Carga Orgánica .....  | 66        |
| 5.6.1 Determinación de la Carga Orgánica Total .....  | 66        |

|  |           |
|--|-----------|
| 5.6.2 Determinación de la Carga Orgánica máxima superficial.....                       | 68        |
| 5.6.3 Determinación de la Carga Orgánica Superficial Aplicada Real.....                | 69        |
| 5.6.4 Remoción esperada de materia orgánica.....                                       | 70        |
| 5.7 Determinación teórica del volumen aproximado de lodos sedimentados en la PTAR..... | 71        |
| 5.8 Determinación de las eficiencias de la PTAR.....                                   | 71        |
| 5.8 Regulaciones ambientales .....   | 76        |
| <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>   | <b>83</b> |
| Conclusiones.....  | 83        |
| Recomendaciones.....   | 86        |
| <b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>  | <b>88</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>   | <b>91</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Clasificación de lagunas de estabilización .....  | 34 |
| Tabla 2. Parámetros y métodos con los que fueron evaluados.....  | 44 |
| Tabla 3. Rangos y valores máximos permisibles para los vertidos de las aguas residuales provenientes de los sistemas de tratamiento del Alcantarillado Sanitario. .... | 54 |
| Tabla 4. Límite permisible de coliformes fecales.....  | 55 |
| Tabla 5. Registro histórico del caudal promedio diario en el afluente de la PTAR Sutiava .....   | 61 |
| Tabla 6. Caudal de las lagunas mediante balance hídrico .....  | 62 |
| Tabla 7. Periodo de retención hidráulica TRH.....  | 63 |
| Tabla 8. Resultados de fosforo total en el afluente y efluente de la PTAR.....   | 64 |
| Tabla 9. Carga de nutrientes en función del Fósforo vertida al Rio Chiquito.....   | 65 |
| Tabla 10. Carga Orgánica Total en función de DBO <sub>5</sub> .....  | 66 |
| Tabla 11. Carga Orgánica Total en función de DQO.....  | 67 |
| Tabla 12. Carga Superficial Máxima .....   | 68 |
| Tabla 13. Carga orgánica Aplicada Real.....  | 69 |
| Tabla 14. Remoción esperada de materia orgánica.....   | 70 |
| Tabla 15. Eficiencia de la PTAR en la Remoción de la Carga Orgánica .....  | 72 |

|  |    |
|--|----|
| Tabla 16. Eficiencia de la PTAR en la remoción de la carga de nutrientes ..... | 73 |
| Tabla 17. Eficiencia de la PTAR en la remoción de organismos patógenos .....   | 74 |
| Tabla 18. Eficiencia de la PTAR en la remoción de aceites, grasas y SST.....   | 75 |
| Tabla 19. Resumen parámetros evaluados vs decreto 21-2017 .....                | 82 |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|  |    |
|--|----|
| Gráfico 1. Variación del caudal del afluente de la PTAR, estación de invierno .....                    | 57 |
| Gráfico 2. Variación del caudal del afluente de la PTAR, estación de verano.....                       | 57 |
| Gráfico 3. Caudales máximos, Medios y Mínimos en el Afluente.....                                      | 59 |
| Gráfico 4. Comportamiento histórico del caudal promedio diario en el afluente de la PTAR Sutiava ..... | 60 |
| Gráfico 5. Factor de evaporación en el Departamento de León .....                                      | 62 |
| Gráfico 6. Fosforo total en el efluente de la PTAR vs Decreto 21-2017 .....                            | 65 |
| Gráfico 7. Concentración de DBO <sub>5</sub> en el efluente vs Decreto 21-2017 .....                   | 76 |
| Gráfico 8. Concentración de DQO en el efluente vs Decreto 21-2017 .....                                | 77 |
| Gráfico 9. Concentración de Nitrógeno Total en el afluente vs Decreto 21-2017 ..                       | 78 |
| Gráfico 10. Concentración de Fósforo Total en el afluente vs Decreto 21-2017 ...                       | 79 |
| Gráfico 11. Sólidos Suspendidos Totales en el afluente vs Decreto 21-2017 .....                        | 80 |
| Gráfico 12. Aceites y Grasas Totales en el afluente vs Decreto 21-2017 .....                           | 80 |
| Gráfico 13. Coliformes Fecales en el afluente vs Decreto 21-2017.....                                  | 81 |

## ÍNDICE DE IMÁGENES

|  |    |
|--|----|
| Imagen 1. Macro y micro localización .....                                 | 14 |
| Imagen 2. Cobertura del sistema de alcantarillado de la PTAR Sutiava ..... | 19 |
| Imagen 3. Obra en el afluente de la PTAR.....                              | 20 |
| Imagen 4. Canal rectangular de entrada .....                               | 21 |
| Imagen 5. Canal de rejillas de limpieza manual.....                        | 21 |
| Imagen 6. Desarenadores .....  | 22 |
| Imagen 7. Tamiz mecánico .....   | 23 |
| Imagen 8. Lagunas primarias .....  | 23 |
| Imagen 9. Lagunas secundarias .....  | 24 |

# CAPÍTULO I. GENERALIDADES

## 1.1 Introducción

Se estima que en el mundo más del 80 por ciento de las aguas residuales se vierten al medio ambiente sin tratamiento alguno y en países en vías de desarrollo hasta un 95 por ciento. En Nicaragua en los últimos años se ha venido dando solución a los problemas ambientales que han generado la falta de sistemas de tratamiento de aguas residuales, con la construcción de nuevas PTAR en los diferentes municipios del país, acompañados de sistemas novedosos y tecnológicos.

Debido a la antigüedad, muchos sistemas de tratamiento de aguas residuales han venido deteriorándose, generando un mal desempeño al momento de la remoción de cargas de nutrientes y organismo patógenos, dicho deterioro es provocado por varios factores como: La falta de mantenimiento, el aumento de la población, efecto de intemperismo natural, entre otros, lo que genera que los cuerpos receptores se contaminen, es por tal razón que es de vital importancia evaluar la eficiencia de tales sistemas.

La ciudad de León, se encuentra dividida por los ríos: Chiquito, Pochote y Aposento, esto hace posible tener más de un solo sistema de tratamiento de aguas residuales por lo cual, la ciudad presenta 4 cuencas para el tratamiento de las aguas, siendo el sistema central de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de León, la PTAR “Sutiava”, esto debido a que es el sistema más antiguo y el que recibe la mayor cantidad de las aguas servidas de la ciudad de León, cuenta con 2 sistemas de tratamiento en paralelo (lagunas facultativas primarias y secundarias). Esta planta tiene la capacidad de tratar un caudal máximo de 220 lps. La PTAR “Sutiava” vierte las aguas tratadas al Río Chiquito el cual, a su vez también recibe las aguas de la PTAR “El Cocal”, esto ha generado un panorama triste y desolador de lo que antes fue un río limpio y caudaloso, convirtiéndolo prácticamente en una cloaca maloliente y llena de espumas.

En efecto a esto, en este estudio se evalúa la remoción de cargas de nutrientes y organismo patógenos en la planta de tratamiento de aguas residuales “Sutiava” de la ciudad de León, mediante monitoreo de la variación de caudal en el afluente y efluente de la PTAR Sutiava en un periodo de 24 horas, determinación del funcionamiento operacional en base a tiempos de retención, muestreo de las aguas residuales en cada fase de tratamiento de la PTAR para conocer los parámetros de las mismas y compararlos con valores máximos permisibles según el Decreto 21-2017, con el fin de conocer la calidad operacional de cada una de las fases de tratamiento de la planta. Lo que ayudará en un futuro a la realización de mejoras y nuevas medidas para el mantenimiento de la PTAR.

## 1.2 Antecedentes

La ciudad de León dispone de un sistema de alcantarillado sanitario que es dividido entre cuatro cuencas de drenaje, los cuales descargan las aguas residuales de forma independiente en distintos sitios, es decir, cada uno con su planta depuradora. Por tal razón, existen cuatro plantas de tratamiento independientes en la misma ciudad: 1) **PTAR “Sutiava”** con dos módulos de lagunas facultativas, primaria y secundaria dispuestas en serie; 2) **PTAR “El Cocal”** con dos lagunas facultativas primarias y tres lagunas facultativas secundarias; 3) **PTAR “San Carlos”** está compuesta por una Fosa séptica de dos cámaras seguida de zanjas de infiltración; y 4) **PTAR “San Isidro”** compuesta con dos módulos de lagunas facultativas, primarias, secundarias y terciarias. (ENACAL, Manual de Operación y Mantenimiento de la PTAR "San Isidro" de León, 2015).

La PTAR “Sutiava” fue construida en el año 1994 es la planta más antigua de la ciudad, en el año 2002 El Gran Ducado Luxemburgo realizó una donación que consistía en la anexión de dos lagunas facultativas más en el sistema, la donación también incluyó un laboratorio para el monitoreo de la planta y análisis de las muestras.



La planta de tratamiento Sutiava consta de un tratamiento preliminar compuesta por un canal de entrada, dos rejillas metálicas, desarenador y tamiz mecánico, cabe mencionar que esta última unidad está fuera de servicio por más de 7 años.

El tratamiento principal del efluente en la PTAR “Sutiava” es realizado mediante cuatro lagunas facultativas, es decir, dos trenes de tratamiento, cada tren compuesto de laguna primaria y secundaria, estos sistemas aprovechan los procesos naturales para la depuración de los efluentes y pueden alcanzar eficiencias hasta 90% de oxidación bioquímica de materia orgánica.

La última limpieza de lodos en las lagunas facultativas de la PTAR “Sutiava” se realizó en el año 2013 y actualmente no se tiene un dato específico del nivel de lodo que se presenta en la PTAR.

El sitio en que se ubica la planta de tratamiento de aguas residuales “Sutiava” se encuentra en la parte Suroeste de la ciudad de León, con terreno adecuado y buenas condiciones de drenaje por gravedad de las aguas hasta el sitio de tratamiento, la elevación del predio oscila desde los 69 msnm hasta los 75 msnm y su topografía presenta pendiente noroeste-sureste.

En los últimos años la población del barrio Sutiava de la ciudad de León ha venido aumentando al punto de que hoy en día muchas familias se encuentran habitando en zonas aledañas a la PTAR Sutiava.

### **1.3. Justificación**

Conociendo la gran importancia de proporcionar a la población las condiciones de salubridad óptima que contribuyan a la seguridad socio-ambiental, es necesario proveer de adecuados sistemas de recolección y tratamientos de las aguas residuales, con el fin de disminuir la carga de contaminantes que estas presentan y puedan ser vertidas en el cuerpo receptor de agua estimado.

Las plantas de tratamientos requieren de supervisión y evaluación periódicas, de la calidad de su operación y su eficiencia, es por ello que en el presente estudio se analizan las condiciones de operación actual de la PTAR “Sutiava”, ubicada en la ciudad de León, el cual servirá para conocer las problemáticas existentes y proponer posibles soluciones a las mismas, con el fin de evitar la continuidad de la contaminación del Río “Chiquito” que es el cuerpo receptor de las aguas tratadas en la PTAR “Sutiava”.

En un estudio de evaluación al río Chiquito realizado en el periodo mayo 2016 - enero 2017 por los profesionales de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Jorge Luis Esquivel Quezada y Martha Lacayo Romero citan que:

Sobresalieron elevados niveles de contaminación por sólidos suspendidos, materia orgánica (aceites y grasas, DBO y DQO, turbidez), nutrientes (amonio, hierro) y metales como el Al, Cr<sup>3+</sup>, Cu, Mn, Se, V y Zn. (Esquivel Estrada & Lacayo Romero, 2020)

“Según CONAGUA, la calidad del agua se encontró deteriorada clasificándola de Contaminadas a Fuertemente Contaminadas para ambos sitios, prevaleciendo la materia orgánica, implicando contaminación por descargas de aguas residuales municipales y de tenerías. Se detectó Cromo hexavalente en mayo en el sitio aguas arriba lo que hace más tóxica el agua de esta zona, y la mayoría de cromo presente está en estado reducido”. (Esquivel Estrada & Lacayo Romero, 2020)

Estos grados de contaminación en el Río “Chiquito” anteriormente expuestos, son un peligro latente para la vida acuática y todo el ecosistema que compone a este recurso hídrico, además de ello, provocan altos niveles de insalubridad para las comunidades que se encuentran ubicadas en las riveras del río como son el barrio Sutiava y el barrio Guadalupe.

Por ello, con esta investigación se da un paso en la determinación del potencial impacto que pueden generar la PTAR Sutiava, para la comunidad y el medio ambiente, lo que puede contribuir al análisis integral de los beneficios y perjuicios generados por este sistema, en el marco del cumplimiento a unos de los objetivos para el desarrollo sostenible, de la agenda 2030 de las Naciones Unidas, objetivo 6, agua y saneamiento, el cual refleja la gran importancia del tener acceso adecuado a aguas limpias para prevenir y contener enfermedades, y esto es mediante el cuidado responsable de los recursos hídricos en el mundo.

En el marco de la reflexión anterior y en consideración de, que la PTAR “Sutiava” es el sistema que más agua vierte al Rio Chiquito, en el presente escrito se evaluará la eficiencia en la remoción de la carga orgánica de la planta de tratamiento de aguas residuales “Sutiava”, tomando en cuenta los parámetros establecidos en el decreto 21-2017, en el capítulo V, artículo 25 (Rangos y valores máximos permisibles para los vertidos de las aguas residuales provenientes de los sistemas de recolección del Alcantarillado Sanitario), con el objetivo de contribuir a que la autoridad encargada de la PTAR, en este caso la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios (ENACAL), disponga de información relacionada a las características del funcionamiento de la planta y que contribuyan a la toma de decisiones, en bienestar del medio ambiente y la comunidad.

Una planta de tratamiento en buen estado y con una adecuada eficiencia, beneficia no solo a la comunidad, sino también a la conservación de los recursos naturales.

## **1.4 Objetivos**

### **4.1 Objetivo general**

- Evaluar el desempeño y eficiencia de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “Sutiava” de la ciudad de León.

### **4.2 Objetivos específicos:**

- i. Determinar las variaciones de caudal en la planta de tratamiento mediante un monitoreo de 24 horas con el fin de comparar su rendimiento en función al caudal de diseño de la PTAR “Sutiava”.
- ii. Determinar el funcionamiento operacional de la planta mediante el periodo de retención teórico y cargas aplicadas, según las disposiciones de las guías técnicas para el diseño de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamientos de aguas residuales de INAA.
- iii. Estimar eficiencias puntuales por cada fase de tratamiento y cargas contaminantes que conforma la PTAR, mediante toma de muestra y posterior análisis de laboratorios, comparando los resultados con los parámetros contemplado en el Arto. No. 25 del Decreto 21-2017
- iv. Analizar las condiciones físicas de la planta y el impacto que estas tienen en el proceso de tratamiento de las aguas residuales, con el fin de recomendar posibles soluciones.

## **CAPITULO II. DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO Y SISTEMA EXISTENTE**

### **2.1 Descripción del área de estudio**

León es la cabecera municipal del departamento de León ubicada en la parte occidental del país entre las coordenadas 12°26' de latitud norte y 86°53' de longitud oeste, situada a 90 kilómetros al suroeste de la capital Managua, siendo la segunda ciudad más poblada de Nicaragua. El municipio tiene una extensión territorial de 820.19 km<sup>2</sup>.

La planta de tratamiento de aguas residuales se encuentra ubicada al suroeste de la ciudad de León, en el sector sur del barrio de Sutiava, sus alrededores están altamente poblados, la entrada principal a la planta se encuentra del costado sur de la Plaza de Sutiava 9 cuadras al sur, 1 ½ cuadra al oeste, en la imagen que se muestra a continuación se muestra la macro y micro localización de la planta.

#### **Imagen 1. Macro y micro localización**



Fuente: Adaptado de Google Earth

### **2.1.1 Características hidrológicas y geofísicas**

El municipio de León posee un clima tropical de sabana con pronunciada estación seca entre los meses de noviembre a abril y una estación lluviosa entre los meses de mayo a octubre, con una temperatura promedio de 27 a 29° C, observándose la más elevada en el mes de Abril y la más baja en los meses de Diciembre a Enero. La humedad relativa promedio se presenta entre 67% cuando se registran las mayores temperaturas y 89% cuando se registran las mayores precipitaciones. Los vientos predominan con dirección de noroeste al sureste con una velocidad entre los 0.5 a 2.6 m/se, con una precipitación promedio anual de 1,385 mm de agua. (INETER, 2015)

El relieve del municipio de León está conformado por un sistema de cauces, el Río Chiquito y Pochote, y sus afluentes, más que ríos son quebradas secas que nacen al pie de Monte de la cordillera de los Maribios que se encuentra al este de la ciudad y drenan al océano pacífico por el oeste, los ríos Chiquitos y Pochotes se secan durante el verano. Otros pequeños ríos del municipio son: Las Salinas y El platanal, circunvalando el perímetro urbano de la Ciudad de León antes de su confluencia abajo del barrio Sutiava. La topografía del municipio es general bastante llana y extensa. No existe en el perímetro municipal de León montañas que por su categoría ameriten tal nombre. Solamente existen alturas medianas como las de Acosasco, Cerro de Santiago, Colina de San Pedro y algunas otras de menor importancia. Hacia la región sur de León existen fuentes de El Limón, Amolonca, Borbollón, Los Pocitos y Santa Rita. (BIBLIOTECA VIRTUAL DE ENACAL, NICARAGUA., 2015)

Es importante destacar que el Río Chiquito antes mencionado es el cuerpo receptor de las aguas tratadas provenientes del efluente de la PTAR SUTIAVA, y de otros sistemas de tratamientos de aguas residuales aguas arriba, actualmente posee un alto grado de contaminación producto de que personas inescrupulosas depositan basura a la orillas del río, además de posibles ineficiencias en las PTAR que

depositan las aguas tratadas en el mismo y esto pone en riesgo las vidas de los pobladores que habitan en las riveras de río.

## **2.1.2 Servicios básicos del municipio de León**

### **2.1.2.1 Agua potable y saneamiento**

ENACAL brinda en la ciudad de León, los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario a través de conexiones domiciliarias, sumando estas un total de 31,940 conexiones de agua potable y 22,424 conexiones de aguas negras (70.21%; de la conexiones de AP, tienen AS), significando eso coberturas del 95.82 y 67.27%, respectivamente. Estas estimaciones se han hecho en base a una población de 200,000; habitante con un grado de hacinamiento de 6 personas/casa. Con lo cual, se ha obtenido la cantidad de 33,334 vivienda, para la ciudad de León. (ENACAL-LEON, 2016)

El sistema de agua potable está compuesto por los siguientes elementos principales:

- Fuentes: 15 pozos perforados. (15,763.71gpm)
- Longitud de la red: 302.824 km
- Tanque de almacenamiento: 04 (2, 860, 000) galones.
- Conexiones domiciliarias legales: 31,940.

El acueducto está dividido en dos zonas hidráulicas:

- Zona baja: Esta se corresponde a la parte noroeste y suroeste de la ciudad. Alimentada por 05 pozos (4,792.59 gpm) y 01 tanque almacenamiento de 860,000 galones.
- Zona alta: La zona atiende a la parte noreste y sureste de la ciudad. Alimentada por 10 pozos (10,971.12 gpm) y 03 tanque con capacidad de almacenar 2, 000,000. Galones.

#### **2.1.2.1.1 Principales problemas del acueducto:**

- Crecimiento desordenado de la ciudad, asentándose la población en sectores muy elevados con respecto a la infraestructura existente.
- Altas pérdidas de agua, tanto, técnicas como comerciales.
- Configuración del sistema: Fuente – Red – Tanque.
- Equipos de producción con muchos años de funcionamiento, con baja eficiencias hidráulicas y energéticas.
- Deficiencia en el Almacenamiento.
- Problema hidráulico en la red de distribución.
- Tubería de conducción y distribución de vieja data.

(ENACAL-LEON, 2016)

#### **2.1.2.1.2 Aspectos críticos del sistema**

- Las descargas de las aguas pluviales y basuras a las tuberías de recolección, provocando obstrucciones en el sistema.
- Sistemas sobre cargados en el tratamiento.
- Red de concreto de vieja data.
- No existe posibilidad de ampliación de las plantas de tratamiento, por las limitantes de terrenos.
- Falta de equipos y repuestos para el mantenimiento, equipos de bombeo AS y sistemas de pretratamiento.
- Alto ingreso de arena, volumen, a los sistemas de tratamiento de las aguas residuales, reduciendo la capacidad de tratamiento de las plantas AS.
- Falta de equipos apropiado para el mantenimiento de las redes AS; que nos permita dar una atención expedita a la población y extraer los materiales sólidos, arena, antes de que ingresen a las plantas de tratamiento.
- La pérdida de tapas de manjoles que representa peligro para la comunidad y el ingreso de materiales sólidos al sistema de alcantarillado sanitario. (ENACAL-LEON, 2016)



### **2.1.3 Actividades económicas del municipio de León**

La producción agropecuaria y ganadera, así como el turismo, las maquilas, PYMES y universidades son los principales rubros del departamento de León. En lo que respecta al cultivo, la ciudad dejó atrás el cultivo del algodón por su caída de precio en los años 90 hoy en día el sector agropecuario está basado en la siembra de maní, ajonjolí, sorgo, maíz y soya.

El sector turismo ha aumentado en la ciudad desde el año 2006 siendo León la segunda ciudad más visitada por turistas en Nicaragua. Los extranjeros suelen gastar alrededor de \$100.00 por día y acostumbran a alojarse por varios días.

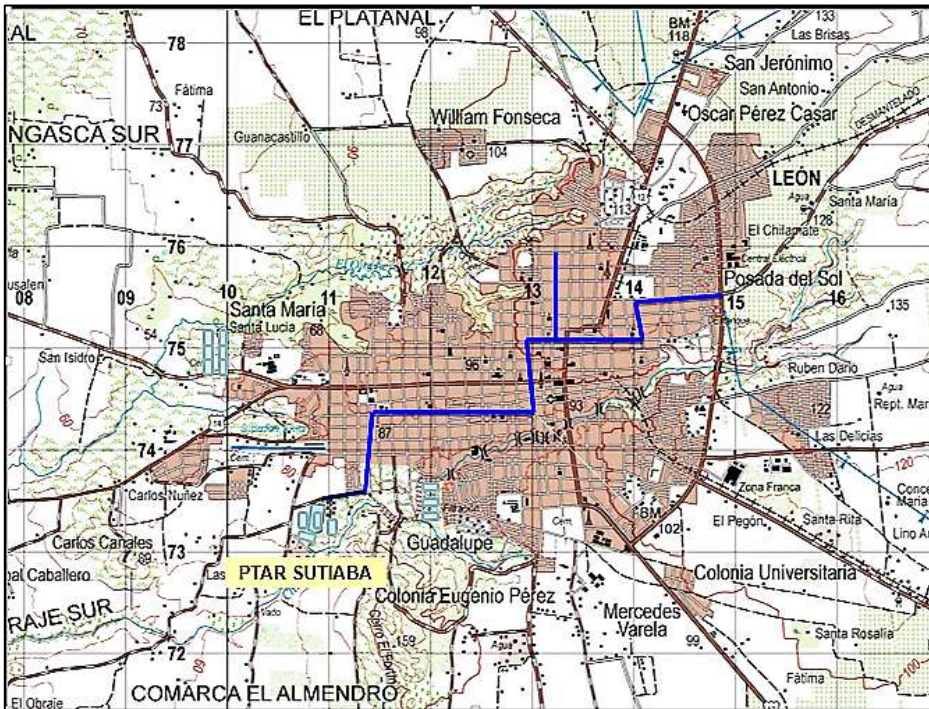
Las universidades dinamizan los negocios y emprendimientos locales también se estima que cerca de 1,500 familias ofrecen el servicio de alquiler de cuartos para estudiantes de otros departamentos.

La ciudad de León actualmente cuenta con dos zonas francas que se dedican a la fabricación de arneses vehiculares para empresas automotrices de alta reputación. Las zonas francas de León generan alrededor de más de 10,000 empleos en la ciudad, siendo esta uno de los principales pilares de la economía de la ciudad.

### **2.2 Descripción de las unidades existentes en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “Sutiava”**

La planta de tratamiento de aguas residuales “Sutiava” es el sistema central de la ciudad, el más antiguo y es el que recoge la mayor parte de las aguas servidas. Cuenta con 2 sistemas de tratamiento en paralelo (tratamiento preliminar, lagunas facultativas primarias y secundarias). Esta planta tiene la capacidad de tratar un caudal máximo de 220 lps, a continuación se describen cada unidades que componen esta planta de acuerdo a criterio de diseño y en vista de sus condiciones actuales.

**Imagen 2.** Cobertura del sistema de alcantarillado de la PTAR Sutiava



Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.1 Tratamiento preliminar

Este proceso es el encargado de preparar las aguas residuales para el inicio del tratamiento, en esta fase se logra la remoción de desechos sólidos, arenas, con el fin de crear las condiciones en las aguas residuales para las próximas unidades de tratamiento e incrementar así la eficiencia del proceso, estas unidades de pretratamiento sirven también para minimizar algunos efectos negativos al tratamiento, tales como: grandes variaciones de caudal y de composición, y la presencia de materiales flotantes como aceites, grasas, plásticos, entre otros. A continuación se muestra cada fase del pretratamiento de la PTAR Sutiava y las condiciones en las que se encuentran.

### 2.2.1.1 Obra en el afluente de la PTAR

La obra de llegada de las aguas provenientes del alcantarillado sanitario a la PTAR, es la encargada de distribuir las aguas en teoría de manera equitativa a ambos sistemas que operan en paralelo, distribuyendo el caudal total en 50% para el sistema A y 50% al sistema B como se muestra en la Imagen 3. Es notorio el deterioro en las compuertas metálicas de la obra de llegada, se encuentran totalmente oxidada e incluso en un extremo ya no existe, lo cual representa un peligro en caso de que alguno de los sistema presente problemas urgentes que requiera cerrar el paso de las aguas para realizar mantenimientos y limpieza en la PTAR.

**Imagen 3.** Obra en el afluente de la PTAR



Fuente: Capturadas in-situ.

### 2.2.1.2 Canal rectangular de entrada

Este se encarga de transportar las aguas que llegan a la PTAR hacia las unidades del tratamiento preliminar, además de ello en esta planta debido a la falta de un dispositivo de medición de caudal como canaletas parshall o vertedero rectangular, el canal de entrada es utilizado para medir el caudal que llega a la planta como se muestra en la Imagen 4, mediante el método del flotador siendo este no muy recomendado pues se expone al operador a fuertes infecciones al manipular estas aguas residuales en estado crudo.

**Imagen 4.** Canal rectangular de entrada



Fuente: Capturadas in-situ.

### **2.2.1.3 Canal de rejas**

En este proceso se realiza la eliminación de desechos sólidos mediante rejas metálicas de limpieza manual, en las cuales se depura todo material flotante, como plásticos, telas, hojas, entre otros, como se muestra en la Imagen 5. Las rejillas metálicas se encuentran en buen estado y el proceso está compuesto por 2 rejillas dispuestas en serie la primera con una abertura entre sus rejas mayores y otra con aberturas menores para lograr un mejor proceso de limpieza de las aguas.

**Imagen 5.** Canal de rejas de limpieza manual



Fuente: Capturadas in-situ.

#### 2.2.1.4 Desarenadores

Como se muestra en la Imagen 6, los desarenadores es el siguiente proceso del tratamiento preliminar luego del canal de rejillas, en él se retienen las arenas que traen las aguas servidas o las aguas superficiales a fin de evitar que ingresen a las lagunas facultativas y se creen cúmulos de arena que impidan el correcto funcionamiento de las mismas. Los desarenadores en la PTAR Sutiava se encuentran en buen estado, al igual que sus compuertas lo cual permite hacer los procesos de limpieza y extracción de lodos cerrando el paso a uno de ellos mientras el otro se encarga de atender las aguas servidas en su totalidad.

**Imagen 6.** Desarenadores



Fuente: Capturadas in-situ.

#### 2.2.1.4 Tamiz mecánico

Esta unidad de pretratamiento es la última del tratamiento preliminar y es el encargado de eliminar fuertes cantidades de sólidos en suspensión, flotante o residuos presentes en las aguas crudas, haciéndolo mediante un proceso de filtración de las aguas sobre el tamiz. Cabe mencionar que esta unidad de pretratamiento se encuentra dañada desde hace ya 7 años, lo que la dejaría prácticamente irre recuperable por falta del mantenimiento en tiempo y forma, incluso ya ha crecido vegetación sobre él como se muestra en la Imagen 7.

### Imagen 7. Tamiz mecánico



Fuente: Capturadas in-situ.

### 2.2.2 Tratamiento primario

El tratamiento primario de la PTAR Sutiava se realiza mediante 2 lagunas facultativas que funcionan en paralelo con un área superficial de 220 x 160 m cada una y una profundidad útil de 1.8 m. la presencia de natas y sólidos suspendidos como también sedimentos en las entradas de cada laguna primaria se pueden observar en la Imagen 8, esto hace menos eficiente el tratamiento, haciendo que la luz solar sea bloqueada por los sólidos en suspensión y dificultando el proceso de fotosíntesis de las algas al fondo para la degradación de la materia orgánica además de ello que los taludes se encuentran totalmente cubierto de vegetación.

### Imagen 8. Lagunas primarias



Fuente: Capturadas in-situ.

### 2.2.2 Tratamiento secundario

Al igual que en el tratamiento primario, el tratamiento secundario se realiza mediante dos lagunas facultativas dispuestas en paralelo entre si y en serie con las lagunas primarias respectivamente, es el último proceso de tratamiento de la PTAR Sutiava, las dimensiones superficiales de las lagunas facultativas secundarias son 160 x 90 m con una profundidad de 1.80 m, en las lagunas secundarias se pueden observar sus taludes completamente cubiertos de vegetación debido a la falta de mantenimiento de la PTAR, la presencia de sólidos en suspensión es considerable menor que los presentes en las lagunas primaria, se pueden apreciar la formaciones de algas acuáticas en la superficies de las aguas como se muestra en la Imagen 9.

**Imagen 9.** Lagunas secundarias



Fuente: Capturadas in-situ.

## ***CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO***

### **3.1 Aguas residuales**

Según la NTON-2006 las aguas residuales se definen como, todas aquellas aguas 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. (ENACAL, NORMA TÉCNICA OBLIGATORIA NICARAGÜENSE PARA REGULAR LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES Y SU REUSO, 2006)

#### **3.1.1 Generalidades**

La generación de aguas residuales es una consecuencia inevitable de las actividades humanas. Estas actividades modifican las características del agua departida contaminándola e invalidando su posterior aplicación para otros usos. (Juan Jose Salas Rodriguez, 2007)

Asimismo, la composición de las aguas residuales verdaderamente domésticas ha cambiado con la entrada en el mercado de una serie de productos nuevos, ahora accesibles al ama de casa, tales como detergentes sintéticos y otros. Así pues, tratar las aguas residuales domésticas de una forma óptima requiere modificaciones de tratamiento. La imagen actual de una planta de tratamiento no es la de grandes depósitos de hormigón, sino la de una serie de procesos unitarios integrados.

Estas operaciones, tanto físicas como químicas en su base, deben diseñarse caso por caso para cada problema de aguas residuales. El técnico que deba enfrentarse a este proceso, debe manejar con soltura estas operaciones unitarias y su integración, estando de esta forma calificado para diseñar las plantas de tratamiento. (R.S.Ramalho, 2007)



## **3.1.2 Características de las aguas residuales**

### **3.1.2.1 Características físicas**

#### **3.1.2.1.1 Sólidos suspendidos**

Son aquellos que son visibles y flotan en las aguas residuales entre superficie y fondo. Pueden ser removidos por medios físicos o mecánicos a través de proceso de filtración o de sedimentación. Se incluyen en esta clasificación las grandes partículas que flotan, tales como arcilla, sólidos fecales, restos de papel, madera en descomposición, partículas de comida y basura, de los cuales un 70% son orgánicos y un 30% inorgánicos. (R.S.Ramalho, 2007)

##### **3.1.2.1.1.1 Sólidos suspendidos sedimentables**

Son los que por tamaño y peso pueden sedimentar al lapso de una hora en un cono Imhoff, siendo en un promedio un 75% orgánicos y un 25% inorgánicos. (R.S.Ramalho, 2007)

##### **3.1.2.1.1.2 Sólidos suspendidos coloidales**

Consisten en limo fino, bacterias partículas causantes de color, virus etc. los cuales no sedimentan si no después de periodos altamente razonables y su efecto global se traduce en el color y la turbiedad de aguas sedimentadas sin coagulación. (R.S.Ramalho, 2007)

##### **3.1.2.1.2 Sólidos disueltos**

Es la denominación que reciben todos los sólidos que quedan retenidos en un proceso de filtración fina. En general, los sólidos disueltos son en un 40% orgánicos y un 60% inorgánicos. (R.S.Ramalho, 2007)

### **3.1.2.1.3 Sólidos totales**

Se incluyen todos los sólidos existentes en las aguas residuales y que en promedio son un 50% orgánico. Es precisamente esta unidad orgánica de los sólidos presentes en las aguas residuales la que es sujeto de degradación y se constituye como requisito para una planta de tratamiento de aguas residuales. La razón del interés de este constituyente es la formación depósitos de lodos y condiciones anaerobias. (R.S.Ramalho, 2007)

### **3.1.2.1.4 Color**

El color es un indicativo de la edad de las aguas residuales. El agua residual reciente suele ser gris; sin embargo, a medida que los compuestos orgánicos son descompuestos por las bacterias, el oxígeno disuelto en el agua residual se reduce y el color cambia a negro. (Perez Sinchi & Mejía Arias, 2016)

### **3.1.2.1.5 Temperatura**

La temperatura del agua residual es por lo general mayor que la temperatura del agua de abastecimiento como consecuencia de la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial. Afecta directamente a las reacciones químicas y las velocidades de reacción, la vida acuática y la adecuación del agua para otros fines. Por ejemplo, el oxígeno es menos soluble en el agua caliente que en la fría. Además, un cambio repentino de temperaturas puede dar como resultado un alto porcentaje de mortalidad de la vida acuática. (Ramalho, 1991)

### **3.1.2.1.6 Olor**

Normalmente, los olores son debidos a los gases producidos por la descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor peculiar algo desagradable, pero más tolerable que el del agua residual séptica. El olor más característico del agua residual séptica es el del sulfuro de hidrogeno producido por los microorganismos anaerobios que reducen los sulfatos a sulfitos. (Brenes, 2017)

### **3.1.2.2 Características químicas**

#### **3.1.2.2.1 Materia orgánica**

En un agua residual de concentración media, un 75% de los sólidos suspendidos y un 40% de los sólidos filtrables son de naturaleza orgánica procedente de los reinos animal y vegetal y de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos.

Los compuestos orgánicos están formados generalmente por una combinación de carbono, hidrógeno y oxígeno y, en algunos casos, nitrógeno. Además, otros elementos importantes que pueden estar presentes son el azufre, el fósforo y el hierro. (RAMIREZ, 2011)

#### **3.1.2.2.2 pH**

El pH es una medida de acidez o alcalinidad que indica la cantidad de iones de hidrógeno presentes en una solución o sustancia. (Perez Sinchi & Mejía Arias, 2016)

#### **3.1.2.2.3 DBO<sub>5</sub>**

La DBO<sub>5</sub> es una medida de la cantidad de oxígeno utilizados por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, bajo condiciones aerobias, en un periodo de 5 días y a 20°C. (R., 2007)

#### **3.1.2.2.4 DQO**

La DQO es un parámetro analítico de contaminación que mide el material orgánico e inorgánico contenido en una muestra líquida mediante oxidación química. (Ramírez-Burgos, Durán Domínguez de Bazúa, García Fernández, Montuy Hernández, & Oaxaca Grande, 2008)

### **3.1.2.3 Características biológicas**

#### **3.1.2.3.1 Algas**

Existen en formas unicelulares, pluricelulares, móviles o inmóviles; no fijan nitrógeno atmosférico, pero lo requieren para sus procesos metabólicos, especialmente en forma inorgánica.

La presencia de las algas en niveles adecuados asegura el funcionamiento de la fase aerobia de las lagunas. Cuando se pierde el equilibrio ecológico, se corre con el riesgo de producir el predominio de la fase anaerobia, que trae como consecuencia una reducción de la eficiencia del sistema. (Cortés, Treviño, & Tomasini, 2017)

#### **3.1.2.3.2 Virus**

Proceden de la excreción, por parte de individuos infectados, ya sean humanos o animales. Poseen la capacidad de adsorberse a sólidos fecales y otras materias particuladas, favoreciendo de esta forma su supervivencia durante tiempos prolongados en las aguas residuales.

Se pueden encontrar virus pertenecientes a distintos grupos: Poliovirus, virus Echo, Coxsackievirus A y E, virus de la hepatitis, agente de Norwalk, Rotavirus, Reovirus, Adenovirus y Parvovirus. (Espigares & Perez, 1985)

#### **3.1.2.3.3 Bacterias**

Organismo unicelular y procariota perteneciente al reino monera, Su aspecto externo es variado, Puede poseer una forma esférica (coco), alargado (bacilo) o helicoidal. Y aunque se pueden encontrar aisladas, cuando las condiciones son favorables se multiplican asexualmente por bipartición y generan colonias. La estructura celular consta de una membrana lipídica en cuyo citoplasma abundan los

ribosomas. Las bacterias carecen de membrana nuclear, por lo que el material genético se halla esparcido por toda la célula; este consta de un único cromosoma circular y, a veces, existe un segundo anillo muy reducido denominado “plásmido”. (Cortés, Treviño, & Tomasini, 2017)

### **3.1.3 Tipo de tratamiento de aguas residuales domésticas**

#### **3.1.3.1 Tratamiento preliminar**

Es el destinado a preparar las aguas residuales para que puedan recibir un tratamiento subsiguiente, sin perjudicar los equipos mecánicos y sin obstruir tuberías y causar depósitos permanentes en tanques. Sirven también para minimizar algunos efectos negativos al tratamiento tales como grandes variaciones de caudal y la presencia de materiales flotantes como aceites, grasas y otros. (ENACAL, NORMA TÉCNICA OBLIGATORIA NICARAGÜENSE PARA REGULAR LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES Y SU REUSO, 2006)

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 comúnmente usadas son:

- Canal de rejas: En general, las rejillas son dispositivos formados por barras metálicas paralelas del mismo espesor e igual espaciamiento. Sirven para: a) Proteger las bombas, registros, tuberías, piezas especiales, etc., de taponamientos y abrasión. b) Evitar la acumulación de basura en las lagunas.

- **Desarenador:** Los desarenadores son tanques que evitan la decantación de arena en las lagunas primarias cerca de la entrada. Protegen al equipo mecánico de la abrasión y el desgaste; reduce la obstrucción de los conductos causada por la deposición de partículas en las tuberías o canales generalmente en los cambios de, dirección y reducen la acumulación de material inerte en los estanques, lo que da lugar a pérdidas en el volumen.
- **Medidor de Caudal:** En cualquier sistema de tratamiento es muy importante conocer el flujo que entra. En las lagunas, los dispositivos más empleados son los vertedores y los canales Parshall que no requieren equipo electromecánico, son de fácil mantenimiento y operación. (CNA, 2007)

### **3.1.3.2 Tratamiento primario**

Tratamiento de aguas residuales mediante un proceso físico-químico que incluya la sedimentación de sólidos en suspensión, u otros procesos en los que la DBO de las aguas residuales que entren, se reduzca, por lo menos, en un 20% antes del vertido, y el total de sólidos en suspensión en las aguas residuales de entrada se reduzca, por lo menos en un 50%. (ENACAL, NORMA TÉCNICA OBLIGATORIA NICARAGÜENSE PARA REGULAR LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES Y SU REUSO, 2006)

### **3.1.3.3 Tratamiento secundario**

Proceso que elimina de las aguas la materia orgánica biodegradable y que no ha sido retirada por el tratamiento primario. Consiste en provocar el desarrollo de microorganismos capaces de asimilar la materia orgánica, tratamiento biológico con sedimentación secundaria u otro proceso, en el que se respeten los requisitos que se establecerán reglamentariamente. (ENACAL, NORMA TÉCNICA OBLIGATORIA NICARAGÜENSE PARA REGULAR LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES Y SU REUSO, 2006)

## **3.2 Lagunas de estabilización**

### **3.2.1 Generalidades**

Las lagunas de estabilización son utilizadas desde la década de los 50 en las regiones de América para el tratamiento de aguas residuales, tanto de origen doméstico, como industriales. Las lagunas son estructuras simples de fácil operación y mantenimiento que se basan en el proceso de auto purificación. Generalmente están constituidas por embalses naturales o artificiales, en tierra, expuestos al aire y al sol, por lo que las condiciones climáticas influyen significativamente en el funcionamiento de este dispositivo de tratamiento. Por esta razón el diseño de las lagunas es posiblemente, de todos los procesos de tratamiento biológico, el menos definido. (Menéndez Gutiérrez & Díaz Marrero , 2006, pág. 4)

Una laguna de estabilización es, básicamente, una excavación en el suelo donde el agua residual se almacena para su tratamiento por medio de la actividad bacteriana con acciones simbióticas de las algas y otros organismos. Cuando el agua residual es descargada en una laguna de estabilización se realiza en forma espontánea un proceso de auto purificación o estabilización natural, en el que tienen lugar fenómenos de tipo físico, químico y biológico. En esta simple descripción se establecen los aspectos fundamentales del proceso de tratamiento del agua que se lleva a cabo en las lagunas de estabilización:

- Es un proceso natural de autodepuración.
- La estabilización de materia orgánica se realiza mediante la acción simbiótica de bacterias, algas, y otros organismos superiores.
- Se presentan, procesos físicos de la remoción de materia suspendida.
- Se efectúan cambios químicos en la calidad del agua que, entre otros aspectos, mantienen las condiciones adecuadas para que los organismos puedan realizar la estabilización, transformación, y remoción de contaminantes orgánicos biodegradables y, en algunos casos, nutrientes.

- Se establecen cadenas tróficas y redes de competencia que permiten la eliminación de gran cantidad de microorganismos patógenos que se encuentran presentes en las aguas, residuales.

Por lo tanto, las lagunas de estabilización se consideran y se pueden proyectar como un método de tratamiento de la materia orgánica y de remoción de los patógenos presentes en el agua residual. (Comisión Nacional del Agua, 2015, pág. 2)

### **3.2.2 Clasificación**

Las lagunas de estabilización pueden clasificarse de diversas formas, ya sea por:

- El tipo de la reacción biológica predominante,
- La duración y frecuencia de la descarga,
- La extensión de la laguna,
- La presencia o ausencia de equipo de aeración, y
- El tipo de células presentes.

La forma más adecuada de clasificar a las lagunas es en función de la reacción biológica dominante. La estabilización de la materia orgánica se realiza ya sea mediante microorganismos que la metabolizan en presencia de oxígeno (aerobios), o bien, por microorganismos fermentativos que lo hacen en ausencia de oxígeno (anaerobios). En este sentido se distinguen los siguientes tres tipos de lagunas:

1. Aerobias: Donde la estabilización de la materia orgánica soluble y la conversión de los nutrientes se realizan en presencia de oxígeno disuelto, el cual se suministra en forma natural o artificial.

2. Anaerobias: La depuración se realiza en ausencia de oxígeno libre (condiciones anóxicas) y/o combinado (anaerobia).



**3. Facultativas:** La estabilización de la materia orgánica se lleva a cabo tanto en condiciones aerobias como anaerobias. Las primeras se mantienen en él, estrato superior de la laguna, mientras que en el inferior, se realiza la degradación anaerobia en ausencia de oxígeno. En algunos casos puede haber aeración artificial en parte de ellas.

**Tabla 1.** Clasificación de lagunas de estabilización

| Tabla                      | Carga Superficial<br>(kg DBO <sub>5</sub> / ha x días) | Profundidad<br>(m) |
|----------------------------|--|--------------------|
| Como lagunas primarias     |  |                    |
| a) Aerobia                 | < 100  | < 1.5              |
| b) Facultativa             | 200 – 1000   | 1.3                |
| c) Anaerobia               | > 1500   | > 2.5              |
| Como lagunas secundarias   |  |                    |
| a) Aerobia                 | < 200  | < 2                |
| b) Facultativa             | 300 – 1200   | 1.5 - 3            |
| c) Anaerobia               | > 1800   | > 2.5              |
| Como lagunas de maduración |  |                    |
| a) Aerobias                | < 300<br>400 - 800                                     | < 2<br>1.5 – 2.5   |
| b) Facultativas            |  |                    |

Fuente: NTON 05 009 – 98

En general, cualquier tipo de laguna se puede utilizar para tratar aguas residuales domésticas. Las lagunas airadas se utilizan normalmente para tratamiento de aguas residuales industriales y domésticas de alta carga, mientras que las no airadas se emplean casi en su totalidad para tratar residuos municipales. Las anaerobias se utilizan para tratamiento de residuos líquidos de origen industrial con elevado contenido de materia orgánica, casi siempre se emplean como el primer paso de un sistema lagunar con alta carga.

El término lagunas de maduración o de pulimento se aplica a aquellas lagunas aerobias ubicadas como el último paso de los sistemas lagunares en serie o a las unidades que mejoran el efluente de otros sistemas de tratamiento biológico. Este tipo de laguna se diseña primordialmente para remover microorganismos patógenos sin necesidad de adicionar agentes químicos desinfectantes. También, se utilizan para nitrificar efluentes. (Comisión Nacional del Agua, 2015, pág. 3)

### **3.2.3 Parámetros de control en lagunas facultativas**

- Temperatura inferior a 28°C.
- Radiación solar.
- Viento.
- Evaporación.
- Precipitación.
- pH entre 7.5-8.5.
- O<sub>2</sub> disuelto.
- Nutrientes.
- Estratificación.
- Flujos.
- Profundidad.
- Seres vivos (bacterias, algas, hongos y protozoos)

### **3.2.4 Ventajas y desventajas de las lagunas de estabilización**

Las ventajas asociadas con el uso de las lagunas de estabilización como sistema de tratamiento son las siguientes (Shelef y Kanarek, 1995; citado por: (Comisión Nacional del Agua, 2015, pág. 4) ):

- Bajo consumo de energía y costo de operación.
- Bajo capital de inversión, especialmente en los costos de construcción.

- Esquemas sencillos de flujo.
- Equipo y accesorios simples y de uso común (número mínimo de tuberías, bombas y aeradores).
- Operación y mantenimiento, simple. No requieren equipos de alta tecnología y, por tanto, no es necesario personal calificado para estas labores.
- Remoción eficiente de bacterias patógenas, protozoarios y huevos de helmintos. Amortiguamiento de picos hidráulicos, de cargas orgánicas y de compuestos tóxicos.
- Disposición del efluente por evaporación, infiltración en suelo o riego.
- En algunos casos, remoción de nutrientes.
- Posibilidad de establecer un sistema de cultivo de algas proteicas para la producción de animales (empleando lagunas de alta tasa).
- Empleo como tanque de regulación de agua de lluvia o de almacenamiento del efluente para reúso.

Las principales desventajas son:

- Altos requerimientos de área.
- Efluente con elevado contenido de algas que al ser descargado en los cuerpos de agua es objetado, generando grandes controversias por su calidad proteica y su potencial de taponamiento del suelo, si se usa en riego.
- Su funcionamiento depende de las condiciones ambientales tales como la temperatura, la irradiación solar, la velocidad del viento, etc., que son propiedades aleatorias.
- Generación de olores desagradables y deterioro de la calidad del efluente por sobrecargas de contaminantes, bajo ciertas condiciones climáticas.
- Contaminación de acuíferos por infiltración, particularmente en lagunas construidas sobre suelos arenosos.
- Pérdidas de agua debido a la evaporación e infiltración, que en zonas de escasez pueden ser importantes.

### **3.2.5 Factores que influyen en el proceso**

Los parámetros para el control del proceso de lagunas de estabilización dependen del tipo de laguna. Los más comunes son: el gasto, el pH, la temperatura, la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto, la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno, los sólidos, las sustancias activas al azul de metileno, las grasas y aceites, el nitrógeno total y amoniacal, el fósforo, los sulfuros, los coliformes totales y fecales, y los huevos de helminto. (Comisión Nacional del Agua, pág. 7)

### **3.2.6 Operación y mantenimiento de las lagunas de estabilización**

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

Dado que el sistema propuesto, fue concebido para funcionar por gravedad, las labores de mantenimiento tanto preventivo, como correctivo, están dirigidas a la preservación de tuberías, pozos de visita, lagunas de estabilización y obras civiles conexas al sistema. El tipo de mantenimiento está en función del momento en el tiempo en que se realiza, así tenemos:

#### **3.2.6.1 Mantenimiento correctivo**

Tiene lugar luego que ocurre una falla o avería, es decir, solo se actuara cuando se presente un error en el sistema. Dentro de las labores de mantenimiento correctivo se incluyen: reparación de tuberías y pozos de visita, reparación de obras civiles conexas al sistema de tratamiento, reconstrucción o conformación de taludes y remoción cíclica de lodos.

### **3.2.6.2 Mantenimiento preventivo**

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

### **3.3 Organismos patógenos**

Organismos, incluidos virus, bacterias o quistes, capaces de causar enfermedades tales como: tifus, cólera o disentería en un receptor; por ejemplo, el hombre.

- Coliformes fecales: Las bacterias coliformes fecales son aquellas que fermentan la lactosa en el intervalo de 44.5 - 45.5 °C, donde crecerá principalmente *Escherichia coli*. La presencia de miembros del grupo coliforme que habitan normalmente en el intestino del hombre y otros animales de sangre caliente, proporciona una indicación sensible de contaminación fecal.

Su presencia en el agua revela la posibilidad de que existan organismos dañinos para el ser humano. Algunas enfermedades generadas por estas bacterias son: cólera, hepatitis infecciosa, gastroenteritis, lepra, sarna y fiebre amarilla, entre otras importantes. (Cortés Martínez, Treviño Cansino, & Tomasini Ortiz, 2017, pág. 18)

## **CAPÍTULO IV. DISEÑO METODOLÓGICO**

### **4.1 Tipo de investigación**

La evaluación a la planta de tratamiento de aguas residuales Sutiava de la ciudad de León, es una investigación de tipo aplicada científica, por cuanto los objetivos de la investigación exigen la recolección de muestras de agua, el visitar la planta y constatar las condiciones físicas, químicas, biológicas e hidráulica de la misma.

El presente estudio es un estudio de corte transversal, en un solo momento temporal es decir estimando, magnitudes, características y variables que afectan el funcionamiento de la planta en un solo momento dado. El carácter específico de la presente investigación es de enfoque mixto por cuanto se analizan variables cualitativas y cuantitativas.

### **4.2 Procedimiento exploratorio y estudios de campo**

#### **4.2.1 I Etapa: Recolección de documentación**

Se realizó la recolección de documentación referente a la investigación que permitió tener un conocimiento previo y perspectiva más clara en relación al tema en cuestión, con el fin de conocer conceptos, terminologías, parámetro y antecedentes. Además permitió conocer la importancia que tiene el desarrollo de esta investigación y el aporte socio-ambiental que tiene el mismo.

- a) La Empresa Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL) de la ciudad de León facilitó información necesaria para la presente Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas residuales, tales como las que se detallan a continuación:
  - Datos y parámetros de diseño de la PTAR Sutiava, como dimensionamiento de cada fase de tratamiento, caudal promedio de diseño, entre otros.

- Historial de actividades de mantenimientos realizados a la PTAR.
  - Distribución de la red de alcantarillado que deposita las aguas servidas en la PTAR.
- b) El personal del Laboratorio Regional de la Empresa Nacional de Acueductos y Alcantarillado (ENACAL) de la ciudad de León, proporcionó información concerniente a antiguos monitoreos realizados a la PTAR donde se detallan resultados de laboratorio, además brindó el acompañamiento necesario para la realización de los muestreos destinados para la presente evaluación, brindando parte de los equipos necesarios para las actividades de muestreo, supervisando y asegurando el correcto procedimiento de toma y traslado de muestra.
- c) La Alcaldía del Departamento de León proporcionó información sobre algunos aspectos de caracterización del municipio.

#### **4.2.2 II Etapa: Inspección física de la PTAR y ubicación de puntos de muestreos**

Se hizo una visita de campo a la PTAR Sutiava donde se dió observación a las actuales condiciones físicas en las que se encuentra y sus alrededores, observando cada unidad de tratamiento que compone la PTAR y los procesos que se desarrollan en ella, para ello fue necesario considerar los siguientes aspectos:

- Reconocimiento del área de trabajo.
- Evaluación de las condiciones física de cada fase de tratamiento de la PTAR.
- Ubicación de los puntos de muestreos y de medición del caudal.
- Preparación de materiales y equipos para muestreo y procesamiento muestras,
- Diagnóstico físico, operacional y del mantenimiento que se le da a la PTAR.

### 4.2.3 III Etapa: Levantamiento de datos

#### 4.2.3.1 Medición de caudal

El monitoreo en el afluente de la PTAR se realizó durante 24 hora tomando lectura en una frecuencia de una hora, cabe mencionar que dicho monitoreo se realizó uno en estación de invierno y otro en estación de verano con el fin de evaluar el comportamiento del caudal en ambas estaciones presentes en el país y obtener así un mejor análisis del comportamiento de las aguas servidas que entran en la PTAR.

Para la realización de los aforos en el afluente de la PTAR se procedió a medir el tirante de agua en un canal rectangular de entrada, con una regla de madera graduada en centímetros, se calculó el tiempo de recorrido del agua en segundos mediante un flotador en una distancia de 5 metros, con la ayuda de un cronómetro, tomando en cuenta el procedimiento anteriormente descrito, para determinar el caudal por hora en el afluente se utilizará la ecuación propuesta por ENACAL la cual se detalla a continuación:

#### **Ecuacion1.** Determinación del caudal del afluente

$$\text{CAUDAL} \left[ \frac{\text{L}}{\text{seg}} \right] = \left[ \text{Factor de forma} * \left( \frac{H[\text{cm}]}{T[\text{seg}]}} \right) \right] * 2$$

Donde:

Factor de forma: (Ancho de canal [cm] \* longitud [cm]) \* 10<sup>3</sup>, [cm<sup>2</sup>].

H: Altura de agua en el canal en un preciso momento, [cm].

T: Tiempo de recorrido del agua, [seg].

\* 2: Hace referencia a que el caudal del afluente es técnicamente distribuido en dos sistemas de tratamiento en paralelo, por lo cual se tomó el caudal general como 2 veces el caudal medido en uno de los sistemas.



#### **4.2.3.2 Recolección y preparación de muestra**

Para la recolección de la muestra se realizó un muestreo de 24 horas en la PTAR Sutiava, con una frecuencia de 1 hora. Esas muestras se tomaron en el afluente de la planta. Además se tomaron muestras en la salida de cada una de las cuatro lagunas facultativas esto para verificar las eficiencias puntuales por cada unidad de tratamiento en base a remoción de cargas de nutrientes, además, se tomó una muestra de agua en la salida general de la planta.

Se efectuaron 2 muestreos de 24 horas cada uno con una frecuencia de muestreo de una hora, uno en estación de invierno los días 06 y 07 de Octubre del 2020 y el otro en estación de verano los días 06 y 07 de Enero del 2021. La toma de muestra se realizó en puntos seleccionados como los más representativos:

- 1) Entrada general.
- 2) Salida de la laguna primaria A
- 3) Salida de la laguna primaria B
- 4) Salida de la laguna secundaria A
- 5) Salida de la laguna secundaria B
- 6) Salida general.

En cada sitio mencionado anteriormente, se tomó 1 muestra compuesta por sitio, con una totalidad de 6 muestras compuestas, cada una con un volumen igual a 1 galón. Estas muestras fueron procesadas en el Laboratorio Regional ENACAL-León, donde se analizaron los parámetros establecidos en el decreto 21-2017 (Ver Tabla 2).

Para cada actividad correspondiente a la toma de muestra, medición del caudal, cálculo de sólidos sedimentables, determinación de pH, temperatura del agua y del aire, es decir todas aquellas actividades realizadas in-situ se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Galones plásticos.
- Baldes plásticos.
- Probetas.
- Marcadores.
- Marking tape.
- Cono Imhoff.
- Termo con hielo.
- Cronómetro.
- Termómetro.
- Regleta graduada en cm.
- Flotador.
- Agua destilada.
- Mascarillas desechables.
- Guantes.
- Botas de hule.
- Libreta de anotación.
- Conductivímetro.
- pH-metro.
- Lámpara.
- Machetes.
- Rastrillo metálico para limpieza de rejillas.

#### 4.2.3.3 Parámetros físicos-químicos y bacteriológicos evaluados

Se realizaron los análisis de las muestras recolectadas en cada uno de los puntos de interés en la PTAR, dicho estudios se realizaron en el Laboratorio Regional ENACAL-León, los cuales se efectuaron con los métodos especificados en la siguiente tabla.

**Tabla 2.** Parámetros y métodos con los que fueron evaluados

|   | Variables                       | Lugar de Medición | Ubicación en la PTAR          | Normas o Métodos                           | Unidades |
|---|---------------------------------|-------------------|-------------------------------|--|----------|
| Parámetros Físicoquímicos y Bacteriológicos | Temperatura                     | In-situ           | Entrada General               | Termometría                                | °C       |
|   | pH                              | In-situ           |                               | SM 4500 H <sup>+</sup> B                   | Adimen.  |
|   | Conductividad                   | In-situ           |                               | SM 2510-B                                  | µS/cm    |
|   | Sólidos sedimentables           | In-situ           | Salida de laguna Primaria A   | SM 2540-F                                  | ml/L     |
|   | Sólidos disueltos totales       | Laboratorio       |                               | SM 2540-C                                  | mg/L     |
|   | Sólidos suspendidos             | Laboratorio       | Salida de laguna Primaria B   | SM 2540-D                                  | mg/L     |
|   | Sólidos totales                 | Laboratorio       |                               | SM 2540-B                                  | mg/L     |
|   | P-PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> | Laboratorio       |                               | SM 4500-P B,E                              | mg/L     |
|   | Aceites y Grasas                | Laboratorio       | Salida de laguna Secundaria A | EPA-821-R-98-002. Method 1664 Rev. A, 1999 | mg/L     |
|   | DBO <sub>5</sub>                | Laboratorio       |                               | SM 5210-B                                  | mg/L     |
|   | DQO                             | Laboratorio       | Salida de laguna Secundaria B | SM 5220-D                                  | mg/L     |
|   | Coliformes Fecales              | Laboratorio       |                               | NMP  | NMP      |
|   | Coliformes totales              | Laboratorio       | Salida General                | NMP  | NMP      |

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.2.3.4 Procedimientos y técnicas de medición de parámetros**

##### **4.2.3.4.1 Parámetros In situ**

###### **4.2.3.4.1.1 Temperatura**

Se determinó conjuntamente con la conductividad, haciendo uso de un conductivímetro SM2510 B que cuenta con un electrodo sensible a la temperatura. Una vez que se introduce el electrodo en la muestra, éste reporta su temperatura cuando alcanza el equilibrio térmico. Los resultados se expresan en °C.

###### **4.2.3.4.1.2 Conductividad**

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

###### **4.2.3.4.1.3 Potencial de Hidrogeno (pH)**

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

###### **4.2.3.4.1.4 Sólidos sedimentables**

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

#### **4.2.3.4.2 Parámetros en Laboratorio**

##### **4.2.3.4.2.1 Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

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

##### **4.2.3.4.2.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

Se realiza a través de la incubación de la muestra a 20 °C por cinco días en la oscuridad, el valor de la DBO<sub>5</sub> 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.

##### **4.2.3.4.2.3 Sólidos Suspendidos Totales**

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

#### **4.2.3.4.2.4 Coliformes fecales**

Este proceso de identificación de Coliformes, se realizó mediante la técnica de tubos de fermentación o números más probables (NMP) publicado por la American Public Health Association (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).

Se comparará los resultados obtenidos en laboratorio de las muestras de Coliformes fecales y totales con respecto al Artículo 24. “Los límites máximos permisibles de Coliformes fecales medidos como número más probable no deberá exceder de 1,000 por cada 100 en el 80% S; de una serie de muestras consecutivas y en ningún caso superior a 5,000 por cada 100 ml del Decreto 21-2017.

#### **4.2.3.4.2.5 Nutrientes**

Según el Decreto 21-2017 en su Artículo 25. Habla que “Los rangos y límites máximos permisibles para el fósforo y el nitrógeno serán fijados por MARENA de acuerdo a las características del cuerpo receptor”.

Y que así mismo MARENA dictara las normas de calidad de los efluentes provenientes de plantas geotérmicas que se vierten a cuerpos receptores. Para las plantas geotérmicas que ya estén en operación MARENA establecerá un plan de cumplimiento de estas normas.

Por lo que para poder determinar el rango máximo que se debe de cumplir los nutrientes se analizó con lo reportado en el Decreto 21 – 2017 en su Artículo 26 “de los vertidos provenientes de sistemas de tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico”.

## 4.2.4 IV Etapa: Análisis y procesamiento de datos

### 4.2.4.1 Determinación de caudal del afluente

Para determinar el caudal por hora en el afluente se utiliza la ecuación propuesta por ENACAL la cual se detalla a continuación, considerando que el caudal fue medido mediante el método del flotador en un canal rectangular.

**Ecuacion1.** Determinación del caudal del afluente

$$\text{CAUDAL} \left[ \frac{\text{L}}{\text{seg}} \right] = \left[ \text{Factor de forma} * \left( \frac{H[\text{cm}]}{T[\text{seg}]}} \right) \right] * 2$$

Donde:

Factor de forma: (Ancho de canal [cm] \* longitud [cm]) \* 10<sup>3</sup>, [cm<sup>2</sup>].

H: Altura de agua en el canal en un preciso momento, [cm].

T: Tiempo de recorrido del agua, [seg].

\* 2: Hace referencia a que el caudal del afluente es técnicamente distribuido en dos sistemas de tratamiento en paralelo, por lo cual se tomó el caudal general como 2 veces el caudal medido en uno de los sistemas.

### 4.2.4.2 Determinación del tiempo de retención

#### 4.2.4.2.1 Determinación del balance hídrico

El estudio del Balance Hídrico en hidrología se basa en la aplicación del principio de conservación de masas de agua (también se conoce como ecuación de la continuidad). Este método de medición analiza la entrada y salida de agua de un espacio territorial a lo largo del tiempo. Mediante el estudio del Balance Hídrico es posible hacer una evaluación cuantitativa de los recursos de agua y sus

modificaciones por influencia de las actividades del hombre. (Recuperado de [http://aquabook.agua.gob.ar/461\\_0](http://aquabook.agua.gob.ar/461_0) )

**Ecuación 2.** Determinación del balance hídrico.

$$Q_e = Q_i - 0.001Ae$$

Donde:

Q<sub>e</sub>: Caudal en el efluente de la laguna (m<sup>3</sup>/día)

Q<sub>i</sub>: Caudal medio del afluente (m<sup>3</sup>/día)

A: Área de la laguna (m<sup>2</sup>)

e: Factor de evaporación (mm/día)

Nota: El valor de evaporación fue obtenido en base a los datos de la media anual, proporcionados por la estación meteorológica ubicada en León, según los valores de INETER, Con un rango de análisis en el comportamiento de este factor que va desde el año 2009 al 2020.

#### 4.2.4.2.2 Determinación del tiempo de retención hidráulica

El tiempo de retención hidráulica para cada laguna del sistema se obtuvo en forma teórica, siendo el valor presentado una relación entre el volumen calculado entre el balance hídrico y el caudal afluente promedio como se muestra en la ecuación. (Arthur, 1984)

**Ecuación 3.** Determinación del periodo de retención.

$$TRH = \frac{V_{lag}(m^3)}{Q_{medio}(m^3/dia)}$$



#### 4.2.5 V Etapa: Determinación de carga de nutrientes en función del fósforo

Para la determinación de las cargas nutrientes se hará en función del fósforo mediante la ecuación:

**Ecuación 4.-** Determinación de carga de nutrientes en función del fósforo

$$CN \text{ fósforo} = \text{concentración} \times \text{caudal} \times 0.0864$$

Donde:

Concentración: Valores de concentración de Fósforo en el efluente de la PTAR 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.

#### 4.2.6 VI Etapa: Determinación de la carga orgánica

Para el desarrollo de esta etapa se usarán valores de DBO5 del monitoreo y muestreo de 24 horas realizados en estación de invierno y estación de verano a la planta de tratamiento de aguas residuales "Sutiava" los días 06, 07 de Octubre, 2020, y 06, 07 de Enero, 2021, estos en conjunto con datos de monitoreos anteriores con el fin de comparar con los actuales y establecer valores promedio que permita una mejor descripción de la eficiencia de la planta.

##### 4.2.6.1 Determinación de la carga orgánica total

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

**Ecuación 5.-** Determinación de carga orgánica total

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

Dónde:

Concentración: Valores de DBO<sub>5</sub> en el efluente de diferentes unidades de tratamiento, como son: laguna primaria y laguna secundaria, expresada en mg/l.

Caudal: Caudal promedio expresado en l/s.

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

Una vez obtenidos los valores de concentraciones con respecto a DBO<sub>5</sub> y caudal promedio en el efluente del tratamiento primario y secundario, se procede al cálculo del aporte de carga orgánica que es liberada al río.

#### **4.2.6.2 Determinación de la carga orgánica superficial**

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

Utilizando este método ya que es el que más se adecuado al diseño de las lagunas de Nicaragua, ya que las normativas manejan el diseño con respecto a Yáñez. El CEPIS, a través de los estudios conducidos por Yáñez, propone que esa carga superficial máxima (Csm) se puede estimar a partir de:

**Ecuación 6.-** Carga orgánica superficial máxima

$$Csm = 357.4 * 1.085^{T-20}$$

Donde:

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

#### 4.2.6.3 Carga orgánica superficial aplicada real

Se adquiere mediante los valores de concentración obtenidos a través de los parámetros de DBO<sub>5</sub> caudal promedio y el área real de la laguna, De tal forma, se expresa en la ecuación N° 11:

**Ecuación 7.-** Carga orgánica superficial aplicada

$$Csa = \left[ \frac{(Concentración \times Caudal)}{Area} \text{ de la laguna} \right] * 864$$

Concentración: DBO<sub>5</sub> en distintas unidades de tratamiento [mg/L]

Caudal: Caudal de cada laguna corregido por balance hídrico [L/s]

Área de la laguna: [m<sup>2</sup>]

864: Factor de conversión de mgDBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>-s a kgDBO<sub>5</sub>/Ha-día.

#### 4.2.6.4 Remoción esperada de materia orgánica

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

**Ecuación 8.-** Remoción esperada de carga orgánica

$$Csm = 7.67 + 0.8063 * CSa$$

Donde:

CSa: Carga orgánica superficial a aplicada

#### 4.2.7 VII Etapa: Determinación teórica del volumen aproximado de lodos sedimentados en la PTAR.

**Ecuación 9** – Volumen de lodos sedimentados.

$$VLS = PLP \left[ \frac{l}{hab. año} \right] * Pd[hab] * t[años]$$

Donde:

VLS: Volumen de lodos sedimentados.

PLP: Producción de lodo per cápita.

Pd: Población de diseño de la PTAR

t: Tiempo en años en el que transcurre la acumulación de lodos.

#### 4.2.8 VIII Etapa: Determinación de las eficiencias en la PTAR

El rendimiento o eficiencia de la depuración se valora como la diferencia entre los valores de la concentración del sustrato a la entrada y a la salida de un proceso concreto, o a la salida de una planta depuradora. El rendimiento se puede expresar tanto en términos porcentuales como absolutos, siendo  $S_0$  la concentración de sustrato en el afluente y  $S$  es la concentración de en el efluente, el rendimiento ( $r$ ) o Eficiencia ( $E$ ) del tratamiento de aguas residuales sería en términos porcentuales.

**Ecuación 10** – Eficiencias

$$E(\%) = \left( \frac{S_0 - S}{S_0} \right) * 100$$

Donde:

$S_0$ : Valor del parámetro al ingreso de la PTAR

$S$ : Valor del parámetro a la salida de la PTAR

$E$ : Eficiencia

#### 4.2.9 IX Etapa: Regulaciones ambientales

Se realizaron los análisis para verificar el cumplimiento de los parámetros del efluente con los parámetros de calidad de vertido provenientes de los sistemas de tratamientos de acuerdo al Arto. 25 establecido en el Decreto 21-2017 que se cita a continuación:

Artículo 25. Rangos y valores máximos permisibles para los vertidos de las aguas residuales provenientes de los sistemas de tratamiento del Alcantarillado Sanitario. Los vertidos de las aguas residuales provenientes de los sistemas de tratamiento del Alcantarillado Sanitario a los cuerpos receptores, deberán cumplir los rangos y valores máximos permisibles siguientes: (LA GACETA, DIARIO OFICIAL, 2017)

**Tabla 3.** Rangos y valores máximos permisibles para los vertidos de las aguas residuales provenientes de los sistemas de tratamiento del Alcantarillado Sanitario.

| Parámetros                         | Rangos y Valores Máximos permisibles |
|------------------------------------|--------------------------------------|
| pH                                 | 6-9                                  |
| Sólidos Suspendidos Totales (mg/l) | 100                                  |
| Sólidos Sedimentables (ml/l)       | 1                                    |
| Aceites y Grasas Totales (mg/l)    | 20                                   |
| DBO <sub>5</sub> (mg/l)            | 110                                  |
| DQO(mg/l)                          | 220                                  |
| Nitrógeno Total                    | 45                                   |
| Fósforos Totales                   | 15                                   |

Fuente: Decreto 21-2017

Además de ello se compararán los valores de Coliformes Fecales con lo establecido en el Decreto 21-2017 en su artículo 24 que se cita a continuación:

Artículo 24. Límite Permisible de Coliformes Fecales. El límite máximo permisible de Coliformes Fecales se regirá por medio del Principio de Gradualidad, con el objetivo de lograr la aplicación de la 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). Se establecen los siguientes límites y periodos de tiempo: (LA GACETA, DIARIO OFICIAL, 2017)

**Tabla 4.** Límite permisible de coliformes fecales

| <b>Periodo de Tiempo</b>  | <b>2017-2022</b> | <b>2023-2026</b> | <b>2027-2029</b> |
|---------------------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>Coliformes Fecales</b> | $1 \times 10^5$  | $1 \times 10^4$  | $1 \times 10^3$  |

Fuente: Decreto 21-2017

## **CAPITULO V. RESULTADOS**

### **5.1 Evaluación física de la PTAR Sutiava**

Mediante una observación directa de las condiciones físicas de la planta, en cada una de sus fases de tratamiento, se observó las siguientes problemáticas:

1. Exceso de vegetación en toda el área que comprende la planta.
2. Taludes de las lagunas facultativas recubiertos de vegetación.
3. Tamices mecánicos en mal estado.
4. La falta de un mecanismo adecuado para la medición y monitoreo del caudal de efluente.
5. Presencia de cúmulos de sólidos sedimentados en las lagunas facultativas primarias.
6. Falta de cercado en ciertas zonas del perímetro de la PTAR.
7. Problema de socavación en la estructura de salida de la PTAR, debido a ruptura en el tubo de conducción de las aguas tratadas hacia el cuerpo receptor.
8. Ausencia de compuertas en las estructura de entrada de las aguas residuales de la PTAR, para hacer las debidas limpiezas.

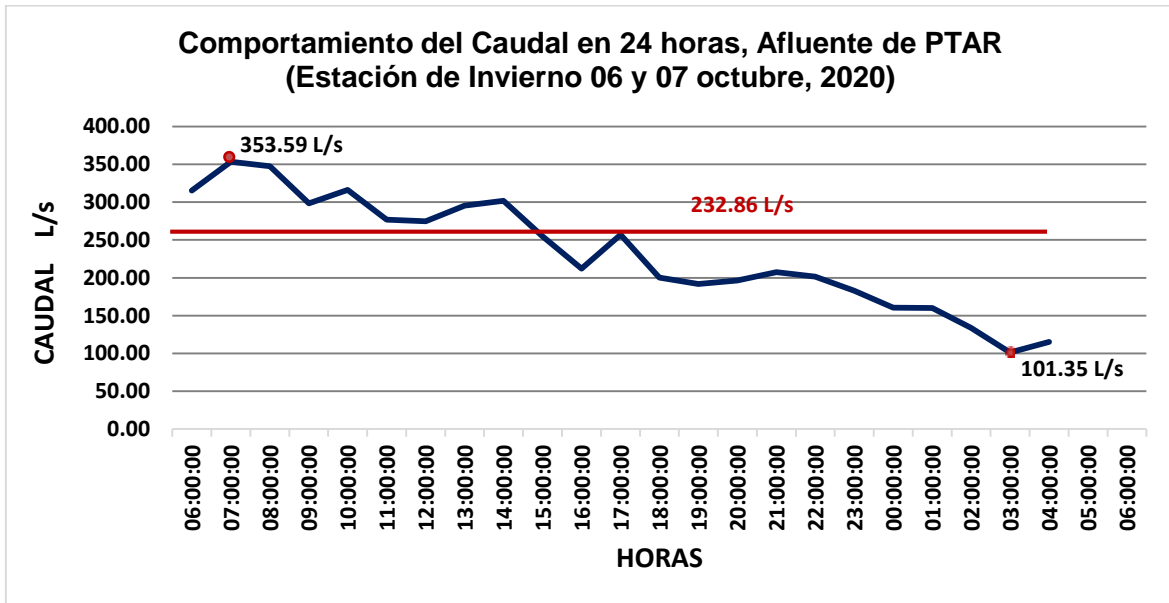
### **5.2 Aporte, distribución y variación de caudales en el afluente de la PTAR**

El caudal promedio diario, es un valor muy importante para iniciar una evaluación, ya que es tomado en cuenta para todas las mediciones de los parámetros y es la base para este estudio. Se toma el caudal promedio diario ya que las lagunas al ser sistemas con extensiones grandes de área, no son susceptibles a cambios bruscos de caudal instantáneo.

En los siguientes gráficos, se muestran los resultados de los aforos de caudales realizados para el presente estudio en ambas estaciones climáticas presentes en el país, el primer aforo el 6 de octubre del 2020 y el segundo realizado el 6 de enero del 2021, efectuado durante 24 horas con una frecuencia de 1 hora entre cada medición, obteniendo los caudales afluente y efluente de la PTAR, se muestra el

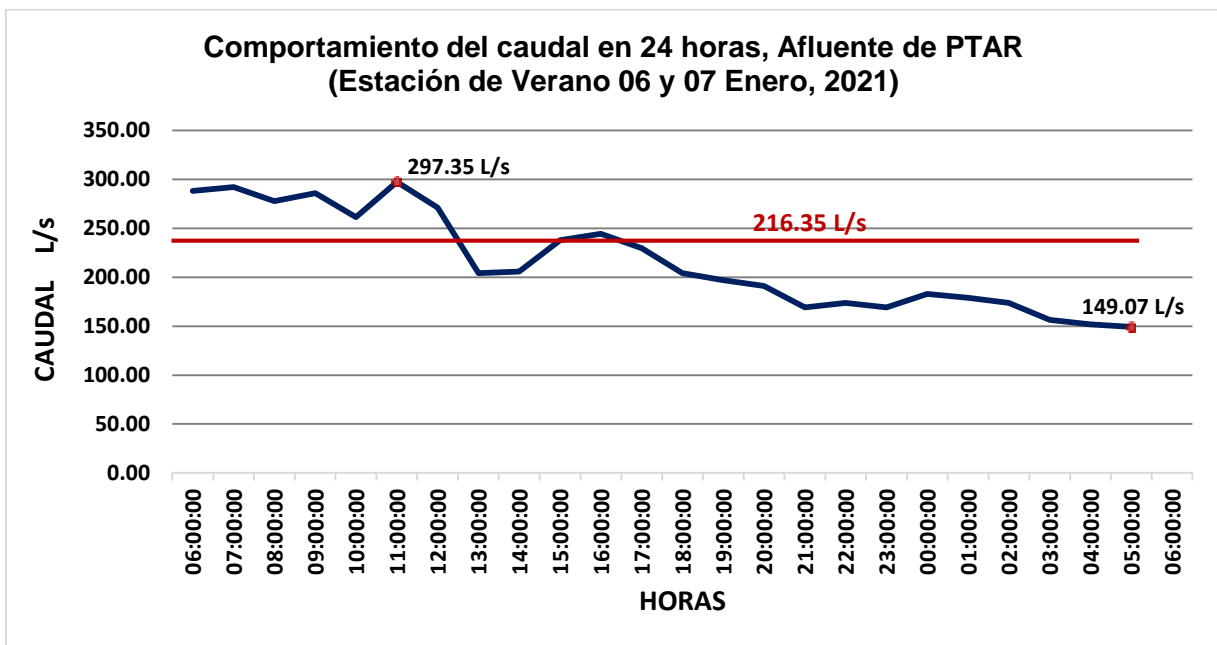
comportamiento en las variaciones de caudal en el afluente a lo largo de los días de aforo.

**Gráfico 1.** Variación del caudal del afluente de la PTAR, estación de invierno



Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 2.** Variación del caudal del afluente de la PTAR, estación de verano.



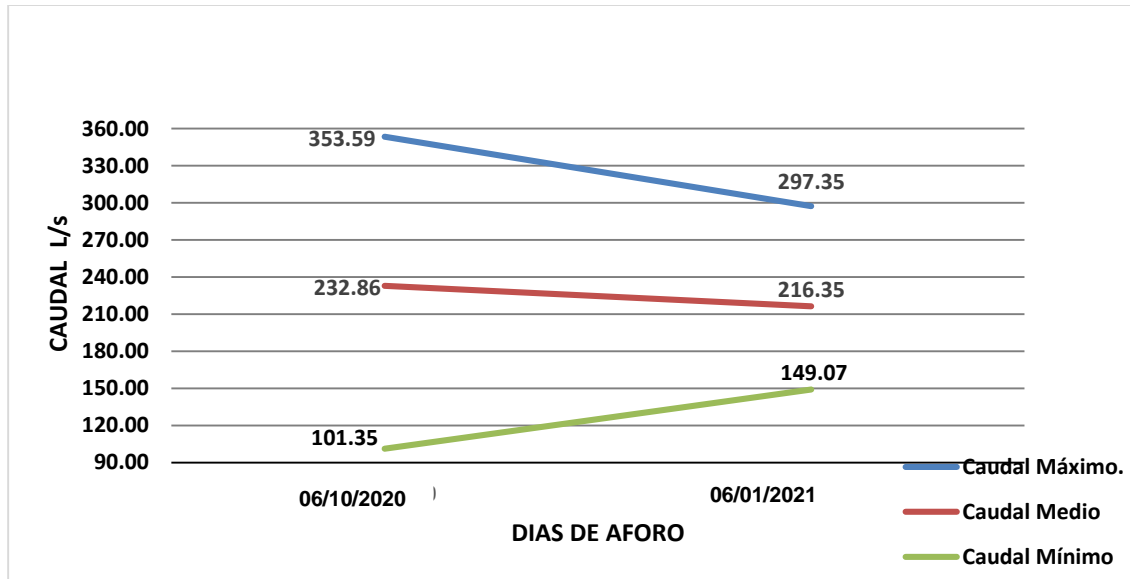
Fuente: Elaboración propia.



Como puede observarse en los gráficos 1 y 2, el caudal por día que entra a la laguna presenta considerables variaciones, pues oscila entre los 100 a 360 l/día en estación de invierno (gráfico 1) y entre los 140 a 300 l/día en estación de verano (gráfico 2). Es importante mencionar, que la laguna está construida con base en un caudal promedio de diseño de 220 l/día, el cual se ve excedido en la estación de invierno, en verano se mantiene por debajo del margen de diseño, como puede observarse en los gráficos 1 y 2.

De acuerdo a la interpretación de los gráficos anteriores, se visualiza los caudales en el afluente procedente del alcantarillado sanitario, conociendo las horas de mayor y menor demanda; en el caso de las horas de mayor demanda se registró un periodo de intervalos 07:00 a.m. –11:00 a.m considerando ambos escenarios, días soleados y días lluviosos, sin embargo de acuerdo al seguimiento de la variable caudal el pico se registra a las 07:00 a.m en estación de invierno y a las 11:00 a.m en estación de verano, esto debido a las variadas labores domésticas y cotidianas de la población (bañarse, uso de servicio higiénico, lavado de traste, ropa, entre otros) además de ello las condiciones climáticas en estación de invierno condicionan este análisis. En el caso de las horas de menor demanda se comprende en un periodo entre (00:00 a.m. – 06:00 a.m.), donde la actividad domestica particular se reduce al máximo, alcanzando los valores mínimos en el intervalos de 03:00 a.m – 05:00 a.m. es importante mencionar que el factor climatológico condicionó ambos monitoreos ya que fueron suspendidas las últimas mediciones de caudal (entiéndase las lecturas de las 5:00 a.m y las 6:00 a.m) debido a fuertes lluvias que impedían el correcto levantamiento de datos.

**Gráfico 3.** Caudales máximos, Medios y Mínimos en el Afluyente.

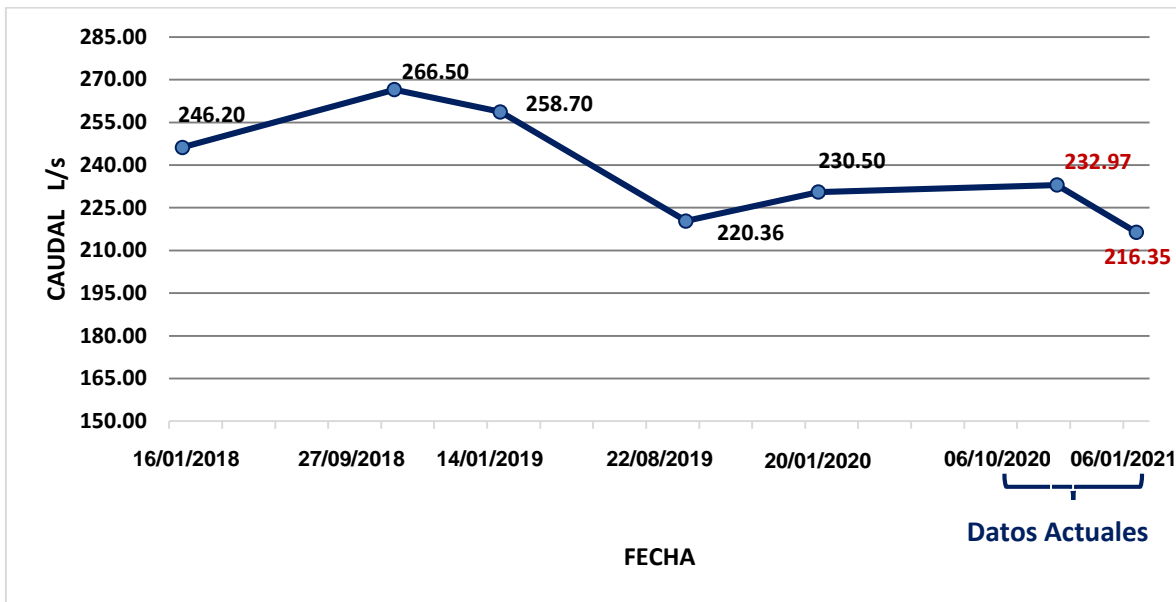


Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 3, se puede observar el comportamiento de los caudales máximos, medios y mínimos en el afluyente de la PTAR, obtenidos en los aforos realizados para fin del presente estudio los días 06/10/2020 el primer aforo y el segundo el 06/01/2021 como se muestra en el gráfico, donde se puede observar un pequeño incremento en los valores de caudales máximos y medios en el aforo realizado en estación de invierno, con respecto al realizado en estación de verano, lo cual podría ser un indicativo de que partes de las aguas pluviales se infiltran en las redes de recolección de las aguas residuales, por lo cual ocasiona variación de caudales en el afluyente de la PTAR Sutiava.

En los aforos realizados, los caudales en el afluyente de la PTAR oscilan entre 101.35 L/s ± 353.59 l/s, registrando un caudal promedio general de 224.61 l/s, siendo este valor mayor al caudal de diseño de la PTAR que es de 220 l/s.

**Gráfico 4.** Comportamiento histórico del caudal promedio diario en el afluente de la PTAR Sutiava



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico anterior se muestra como se ha comportado el caudal promedio diario desde el año 2018 hasta las mediciones de caudales del segundo semestre del año 2020 y el primer semestre del año 2021, siendo estos 2 últimos los realizados con el fin del desarrollo de la presente investigación. Como se observa en el gráfico 4, el caudal promedio diario que entra a la PTAR Sutiava ha venido disminuyendo al pasar del tiempo desde el 2018 a la fecha, es una disminución aguda que varía desde los 266.50 l/s registrados en el segundo semestre del año 2018 el cual es el caudal más alto en el presente registro, hasta los 216.35 l/s registrados en el primer semestre del año 2021, lo cual refleja una posible variación al consumo de agua potable o aun reajuste en el sistema de recolección de las aguas residuales que llegan a la PTAR Sutiava, en el municipio de León.

**Tabla 5.** Registro histórico del caudal promedio diario en el afluente de la PTAR Sutiava

| Fecha de aforo de caudales         | Caudal Promedio en el Afluente |          |
|------------------------------------|--------------------------------|----------|
|                                    | [L/s]                          | [m3/día] |
| <b>Actual 6/10/2020 y 6/1/2021</b> | 224.61                         | 19406.3  |
| <b>ENACAL 2019</b>                 | 239.53                         | 20695.4  |
| <b>ENACAL 2018</b>                 | 256.35                         | 22148.6  |

Fuente: Elaboración propia.

Para efecto de la presente evaluación a la planta de tratamiento de aguas residuales Sutiava, se determinó el caudal medio promedio en el afluente de la PTAR de ambos monitoreos realizados los días 6/10/2020 y 6/1/2021, el cual se refleja en la Tabla 4, donde se compara con los caudales medios promedios proporcionados por el registro histórico de ENACAL de la PTAR, donde al igual que en el gráfico 4 se observa la disminución en el caudal que entra a la planta desde el 2018 a la actualidad.

### **5.3 Determinación del caudal de cada laguna facultativa mediante balance hídrico**

Para mantener el sistema continuo de aguas residuales en las lagunas, la medición de infiltración y evaporación tiene importancia para la evaluación, y sobre todo para mantener el equilibrio del balance de caudales en el sistema de lagunas. Tan importante es procurar una carga orgánica adecuada como lograr un balance hídrico apropiado; cuanto más grande se haga una laguna, más se va del lado de la seguridad desde el punto de vista de carga orgánica, pero más se compromete el sistema desde el punto de vista del balance hídrico. (Burga, 2004).

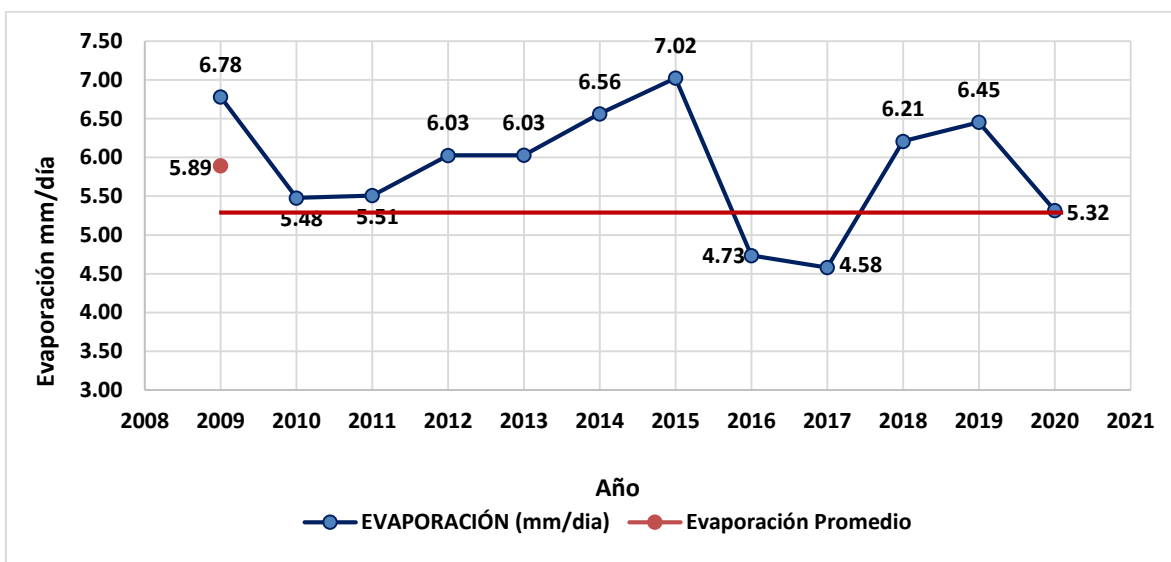
**Tabla 6.** Caudal de las lagunas mediante balance hídrico

| Unidad De Tratamiento                          | CPD Afluyente PTAR [M3/Día] | Factor Evaporación [mm/Día] | Área De La Laguna [M2] | Caudal De La Laguna Por Balance Hídrico |        |
|--|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|---|--------|
|  |                             |                             |                        | [m³/Día]                                | [l/s]  |
| Laguna Primaria A                              | 9702.9                      | 5.89                        | 25520                  | 9552.55                                 | 110.56 |
| Laguna Primaria B                              | 9702.9                      | 5.89                        | 25520                  | 9552.55                                 | 110.56 |
| Laguna Secundaria A                            | 9529.4                      | 5.89                        | 14400                  | 9467.70                                 | 109.58 |
| Laguna Secundaria B                            | 9529.4                      | 5.89                        | 14400                  | 9467.70                                 | 109.58 |
| <b>Caudal Del Efluente Por Balance Hídrico</b> |                             |                             |                        | <b>219.16</b>                           |        |

Fuente: Elaboración propia.

El dato promedio de evaporación fue tomado de los parámetros de evaporación media de la estación meteorológica de León, siendo los valores proporcionados por el instituto nacional de estudios territoriales INETER, dicho promedio resulta de un registro que vas desde el año 2009 al año 2020, con datos debidamente corregidos y fueron obtenidos mediante el método de pana, para entender mejor este procedimiento observar el Gráfico 5.

**Gráfico 5.** Factor de evaporación en el Departamento de León



Fuente: Elaboración propia.

Se tuvo en cuenta el cálculo de balance hídrico, para conocer el caudal en el efluente de cada laguna y así saber cuánto influye la evaporación en la reducción de su flujo, notando en la Tabla 6 una reducción de caudal en cada laguna facultativa, tanto en las lagunas primarias como en las lagunas secundarias, siendo mayor la reducción del caudal en las lagunas primarias debido a que estas lagunas poseen más área con respecto a las lagunas secundarias, también se muestra el caudal en el efluente de la PTAR Sutiava por balance hídrico, el cual se obtiene mediante la suma de los caudales corregidos por balance hídrico de las 2 lagunas secundarias las cuales desembocan en una misma salida general de la PTAR. Es importante mencionar que el balance hídrico solo se aplica en lagunas facultativas y de maduración, ya que en las anaerobias no es posible, debido a que generalmente la superficie es cubierta de una nata, que evita en forma importante la evaporación.

#### 5.4 Determinación del periodo de retención hidráulica

El período de retención hidráulica es fundamental en la reducción de cargas orgánicas y agentes patógenos, en la Tabla 7 se muestran los resultados de periodos de retención de cada laguna facultativa de la PTAR Sutiava.

**Tabla 7.** Periodo de retención hidráulica TRH

| Unidad De Tratamiento | Área Transversal [m <sup>2</sup> ] | Profundidad Útil [M] | Largo De Laguna [m <sup>2</sup> ] | Volumen [m <sup>3</sup> ] | Caudal De Laguna [m <sup>3</sup> /Día] | TRH [Días] |
|-----------------------|------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|---------------------------|--|------------|
| Laguna Primaria A     | 199.08                             | 1.8                  | 220                               | 43797.6                   | 9552.55                                | 4.58       |
| Laguna Primaria B     | 199.08                             | 1.8                  | 220                               | 43797.6                   | 9552.55                                | 4.58       |
| Laguna Secundaria A   | 152.28                             | 1.8                  | 160                               | 24364.8                   | 9467.70                                | 2.57       |
| Laguna Secundaria B   | 152.28                             | 1.8                  | 160                               | 24364.8                   | 9467.70                                | 2.57       |
| <b>TOTAL</b>          |                                    |                      |                                   |                           |  | <b>7</b>   |

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior, se tiene como resultado un periodo de retención hidráulica en las lagunas primarias de 5 días y posteriormente en las lagunas secundarias un TRH de 3 días, conociendo que hay un sistema de tratamiento de aguas residuales con 2 fases en paralelo, compuesto cada uno por una laguna facultativa primaria y una laguna facultativa secundaria dispuestas en serie, se determina un periodo de retención hidráulica total en la PTAR Sutiava de 7 días, el cual se calcula como la suma del TRH de una laguna primaria más el TRH de una laguna secundaria ya que en el efluente de la PTAR todo el sistema en sus 2 fases en paralelo convergen en una misma salida general.

Cumpliendo con las disposiciones de las guías técnicas para el diseño de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamientos de aguas residuales de INAA las cuales establecen que, el tiempo de retención hidráulico para lagunas facultativas deberá estar dentro de un rango de 5 a 30 días.

### 5.5 Determinación de la carga de nutrientes en función del fosforo total

Los organismos dependen del fosforo, que es esencial para su crecimiento (y puede ser el nutriente limitador del crecimiento); las descargas de aguas residuales brutas o tratadas, drenaje agrícola o ciertos residuos industriales a un cuerpo de agua, puede estimular el crecimiento de micro y macro organismos acuáticos fotosintéticos en grandes cantidades, lo cual puede alterar el balance de la vida en este medio. (Sierra, 2013)

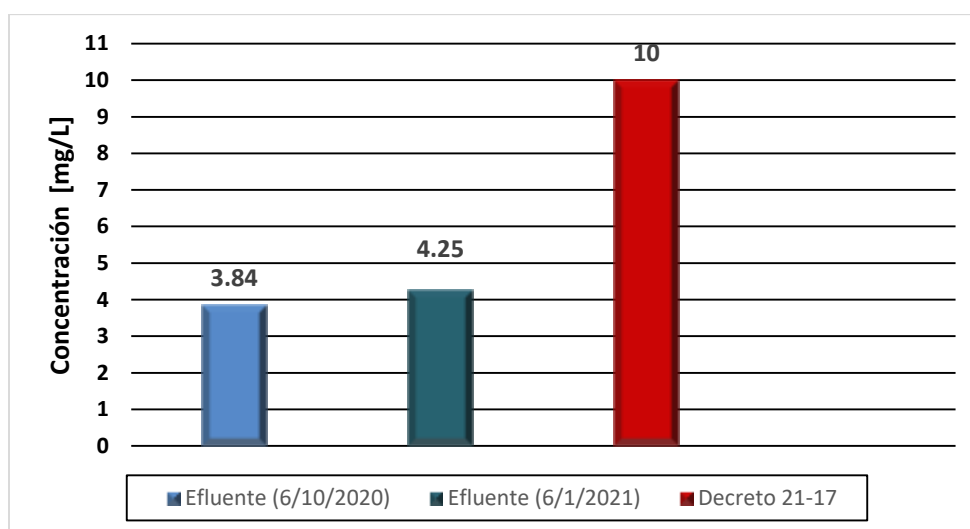
**Tabla 8.** Resultados de fosforo total en el afluente y efluente de la PTAR

| Resultados de Fosforo Total |                  |          |          |
|-----------------------------|------------------|----------|----------|
| Sitio del Muestreo          | Días de muestreo |          |          |
|                             | 6/10/2020        | 6/1/2021 | Promedio |
| Afluente [mg/L]             | 4.24             | 6.92     | 5.58     |
| Efluente [mg/L]             | 3.84             | 4.25     | 4.04     |
| Decreto 21-17 [mg/L]        | 10               | 10       | 10       |

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se muestran los resultados de laboratorio regional ENACAL-León de fósforo total presentes en el afluente y efluente de la PTAR Sutiava, además se compara con el valor máximo permisible que estipula el Decreto 21-17, en su artículo 26, como se observa en la Tabla 8, los valores de Fosforo presente en el efluente de la PTAR se encuentra por debajo del permisible, cumpliendo de manera eficiente con este parámetro, este análisis se puede observar más detalladamente en el Gráfico 6 que se muestra a continuación:

**Gráfico 6.** Fosforo total en el efluente de la PTAR vs Decreto 21-2017



Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla se muestra el valor de carga de nutrientes que son vertidas a las aguas de Rio Chiquito, provenientes del efluente de la PTAR Sutiava.

**Tabla 9.** Carga de nutrientes en función del Fósforo vertida al Rio Chiquito.

| Carga de Nutrientes en el Efluente de la PTAR |                            |                          |                     |
|---|----------------------------|--------------------------|---------------------|
| Sitio de Análisis                             | Caudal promedio de la PTAR | Concentración de Fosforo | Carga de Nutrientes |
|   | [L/s]                      | [mg/L]                   | [Kg/día]            |
| Efluente                                      | 224.60                     | 4.04                     | 78.48               |

Fuente: Elaboración propia.



Como se puede observar en la Tabla 9. La carga de fósforo Total vertida al Rio Chiquito en kg por día es de 78.48, lo que implica una alta concentración de este nutriente proporcionada por la PTAR Sutiava al rio. Actualmente debido a la cantidad considerable en la carga de nutrientes que es vertida al Rio Chiquito, ha provocado un proceso de eutrofización en sus aguas lo cual contribuye al crecimiento de algas que impiden el paso de la luz solar, evitando de esta forma la fotosíntesis que ayuda a la producción de oxígeno para la vida en el ecosistema. En cierta forma este fenómeno incide en la descomposición de las aguas, lo cual conlleva a la producción de gases y malos olores en el ambiente siendo sumamente perjudicial para los poblados aledaños al rio.

## 5.6 Determinación de la Carga Orgánica

Para la determinación de la carga orgánica se utilizó el promedio de los valores obtenidos de DBO<sub>5</sub> y DQO en ambos monitoreos realizados a la PTAR Sutiava con el fin del desarrollo del Presente estudio, en el laboratorio regional de ENACAL-León.

### 5.6.1 Determinación de la Carga Orgánica Total

**Tabla 10.** Carga Orgánica Total en función de DBO<sub>5</sub>

| <b>Carga orgánica total en efluente por cada unidad de tratamiento con respecto a DBO<sub>5</sub></b> |                             |                              |  |
|---|-----------------------------|------------------------------|--|
| <b>Unidad de tratamiento</b>  | <b>Concentración [mg/L]</b> | <b>Caudal Promedio [L/s]</b> | <b>Carga Orgánica Total [Kg BDO<sub>5</sub>/día]</b> |
| <b>Entrada General</b>  | 291.65                      | 224.60                       | 5659.71  |
| <b>Laguna Primaria A</b>  | 56.00                       | 110.29                       | 533.65   |
| <b>Laguna Primaria B</b>  | 60.70                       | 110.29                       | 578.43   |
| <b>Laguna Secundaria A</b>  | 53.15                       | 109.16                       | 501.28   |
| <b>Laguna Secundaria B</b>  | 58.10                       | 109.16                       | 547.97   |
| <b>Salida General</b>   | 59.40                       | 218.32                       | 1120.46  |

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se muestran resultados de la carga orgánica total por unidades de tratamiento, además la carga orgánica total que entra a la PTAR así como también la carga orgánica total que sale de la misma y es vertida en el Rio Chiquito, es importante hacer una comparación de la COT en el efluente de la laguna primaria A (533.65 Kg DBO<sub>5</sub>/día) con la COT en el efluente de la Laguna Secundaria A (501.28 Kg DBO<sub>5</sub>/día) y de igual forma con las lagunas facultativas B (Primaria y secundaria) de la PTAR, donde se puede observar una disminución en la carga de contaminante presente en las aguas, esto indica que el sistema posee un porcentaje de eficiencia en su operación la cual se analizará detalladamente más adelante. De igual manera es importante observar en la tabla anterior la reducción de carga orgánica total que se vierte al Rio Chiquito, con respecto a la carga orgánica total presente en el afluente de la PTAR.

**Tabla 11.** Carga Orgánica Total en función de DQO

| <b>Carga orgánica total en efluente por cada unidad de tratamiento con respecto a DQO</b> |                             |                              |  |
|---|-----------------------------|------------------------------|--|
| <b>Unidad de tratamiento</b>  | <b>Concentración [mg/L]</b> | <b>Caudal Promedio [L/s]</b> | <b>Carga Orgánica Total [Kg DQO/día]</b> |
| <b>Entrada General</b>  | 578.10                      | 224.60                       | 11218.51                                 |
| <b>Laguna Primaria A</b>  | 111.80                      | 110.29                       | 1065.38                                  |
| <b>Laguna Primaria B</b>  | 121.85                      | 110.29                       | 1161.16                                  |
| <b>Laguna Secundaria A</b>  | 124.45                      | 109.16                       | 1173.75                                  |
| <b>Laguna Secundaria B</b>  | 113.95                      | 109.16                       | 1074.71                                  |
| <b>Salida General</b>   | 135.95                      | 218.32                       | 2564.41                                  |

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 11 muestra los valores de Carga orgánica Total en función de DQO presentes en el afluente y efluente de la PTAR así también como en la salida de cada unidad de tratamiento que la compone, donde se muestran considerables reducciones en la COT con respecto a las unidades que las anticipa, lo cual refleja la operación en la reducción de carga de contaminantes de la PTAR en las aguas residuales.

La DBO<sub>5</sub> es la cantidad de oxígeno que los microorganismos principalmente, bacterias, hongos y plancton, consumen durante el proceso de degradación de materia orgánica contenida en una muestra. La DQO es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. Para una muestra dada de agua residual, el valor de DQO siempre ha de ser mayor que el de BDO<sub>5</sub>.

### 5.6.2 Determinación de la Carga Orgánica máxima superficial

Según Vanegas y Reyes (2017), este modelo consiste en determinar la carga máxima de materia orgánica por unidad de superficie, que puede soportar una laguna en condiciones predominantemente facultativas.

En estos modelos estadísticos, para lagunas facultativas, se predice la carga superficial removida conociendo la carga superficial aplicada. La discrepancia en los resultados varía entre los 15 y 25 Kg DBO<sub>5</sub>/Ha-día removidos, siendo la del CEPIS la que predice mayores eficiencias en la remoción de la DBO<sub>5</sub>, hasta del 85%.

**Tabla 12.** Carga Superficial Máxima

| <b>Carga Orgánica Superficial Máxima Csm</b> |  |
|--|--|
| <b>Unidad de tratamiento</b>                 | <b>Resultado<br/>[kg. DBO<sub>5</sub>/ Ha-día]</b> |
| <b>Laguna Primaria A</b>                     | 420.74   |
| <b>Laguna Primaria B</b>                     | 420.74   |
| <b>Laguna Secundaria A</b>                   | 420.74   |
| <b>Laguna Secundaria B</b>                   | 420.74   |

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se muestran los resultados de Carga superficial máxima, calculados mediante Método de (CEPIS), Yáñez (1992), (Ecuación 10), considerando una temperatura en el mes más frío de 22° C. para la ciudad de León según valores proporcionados por INETER.

Los datos presentes se compara con la carga superficial aplicada real para determinar si en las lagunas de la PTAR Sutiava se alcanzan o sobre pasan valores máximo de carga orgánica.

### 5.6.3 Determinación de la Carga Orgánica Superficial Aplicada Real

**Tabla 13.** Carga orgánica Aplicada Real

| <b>Carga orgánica superficial aplicada real (Csa)</b> |                                  |   |                               |                               |
|---|----------------------------------|---|-------------------------------|-------------------------------|
| <b>Unidad de tratamiento</b>                          | <b>Concentración DBO5 [mg/L]</b> | <b>Caudal Promedio en las lagunas [L/s]</b> | <b>Área de la laguna [m2]</b> | <b>Csa [kg. DBO5/ Ha-día]</b> |
| <b>Laguna Primaria A</b>                              | 111.80                           | 110.29                                      | 25520                         | 417.47                        |
| <b>Laguna Primaria B</b>                              | 121.85                           | 110.29                                      | 25520                         | 455.00                        |
| <b>Laguna Secundaria A</b>                            | 124.45                           | 109.16                                      | 14400                         | 815.10                        |
| <b>Laguna Secundaria B</b>                            | 113.95                           | 109.16                                      | 14400                         | 746.33                        |

Fuente: Elaboración propia.

Los valores que se muestran en la tabla anterior de carga orgánica superficial aplicada (Csa), fueron calculados mediante la ecuación 11, en la cual se considera un factor de conversión de mgDBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>-s a kgDBO<sub>5</sub>/Ha-día igual a 864.

De acuerdo a los resultados de la tabla anterior, la laguna primaria A recibe una Csa de 417.47 kg. DBO<sub>5</sub>/Ha-día, el cual es menor que la Carga superficial máxima Csm que se detalla en la Tabla 12; Esto quiere decir que la laguna primaria A todavía no alcanza los valores máximos de carga superficial y funciona correctamente con la carga superficial que actualmente contiene, lo cual la hace trabajar con procesos predominantemente facultativos.

Lo contrario sucede con la laguna primaria B la cual su Csa es ligeramente mayor a la Csm, lo cual indica que se encuentra operando con carga superficial aplicada por encima a la máxima, lo que la hace requerir de una mayor área para un mejor funcionamiento; Ya que según Vanegas y Reyes (2017), los valores de Csm son

inversamente proporcional al dimensionamiento de la laguna, de tal manera que a menor Csm, se requiere de una mayor área de la laguna. Para ambas lagunas secundarias A y B, la carga superficial aplicada real está muy por encima a la carga superficial máxima calculada la cual se muestra en la Tabla 12. Debido a esto, en las lagunas primarias se presenta la acumulación de materias flotantes y la aparición de malos olores siendo estos los principales indicadores de un mal funcionamiento en lagunas facultativas, así lo afirma Rolim (1999).

#### 5.6.4 Remoción esperada de materia orgánica

**Tabla 14.** Remoción esperada de materia orgánica

| <b>Remoción Esperada de Materia Orgánica</b> |  |
|--|--|
| <b>Unidad de Tratamiento</b>                 | <b>Resultados<br/>[kg. DBO<sub>5</sub>/ Ha-<br/>día]</b> |
| <b>Laguna Primaria A</b>                     | 344.28   |
| <b>Laguna Primaria B</b>                     | 374.53   |
| <b>Laguna Secundaria A</b>                   | 664.89   |
| <b>Laguna Secundaria B</b>                   | 609.44   |

Fuente: Elaboración propia.

La remoción esperada de materia orgánica que se muestra por unidad de tratamiento en la tabla anterior se calculó mediante la ecuación 12, bajo el método Yanes CEPIS (1980), este parámetro indica la cantidad de materia orgánica que se espera sea tratada o removida en la superficie de las lagunas en condiciones potencialmente facultativas. Cabe recalcar, que existe una relación entre la carga orgánica y carga superficial, ya que la primera es el producto de la concentración de DBO<sub>5</sub>, en el caudal de las unidades de tratamiento; y la otra es la relación de la concentración de DBO<sub>5</sub>, el caudal y la superficie de las lagunas. Especificando que, la carga superficial es el área donde se va a degradar cierta cantidad de la materia orgánica, que está contenida en la laguna. Se debe tener en cuenta, que uno de los principales factores del aumento en los niveles de carga orgánica, es el crecimiento poblacional y este es un problema cuando no se tiene certeza de cuanto

es la magnitud de ese crecimiento, debido a la carencia de un censo de usuarios actualizado.

### **5.7 Determinación teórica del volumen aproximado de lodos sedimentados en la PTAR.**

Para este análisis se tomaron en cuenta los valores de producción de lodo per cápita, la cual según *Guías técnicas para el diseño de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamiento de aguas residuales* del INAA en la pág. 136, se considera un aporte de  $40 \text{ l/hab.año}$  y recomienda que el periodo de extracción de lodos del sistema sea entre 5 y 10 años, además de ello se consideró la población de diseño de la PTAR, y el tiempo durante el cual ha ocurrido la acumulación de lodos en la planta, para ello se ha utilizado la ecuación 9.

$$\begin{aligned} VLS &= \frac{40 \text{ l}}{\text{hab. año}} * 173,866[\text{hab}] * 12[\text{años}] = 83,455,680 \text{ l} * \frac{0.001 \text{ m}^3}{\text{l}} \\ &= 83,455.68 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

En el cálculo anterior se muestra el volumen aproximado de lodos sedimentados presente en toda la PTAR, el cual se ha acumulado durante los años en los cuales no se le ha dado mantenimiento a la PTAR, esto implica deficiencia en el proceso, por cuanto los volúmenes y la profundidad útil son menores en las lagunas facultativas y esto afecta el periodo de retención que deberían cumplir las aguas en todo el sistema.

### **5.8 Determinación de las eficiencias de la PTAR**

Para el presente análisis se tomaran en cuenta en conjunto con los datos de ambos monitoreos realizados en la PTAR Sutiava para este estudio, los datos del registro histórico proporcionados por la Empresa Nacional de acueductos y Alcantarillado (ENACAL), con los cuales se podrá tener una mejor representación del

comportamiento operacional de la PTAR en función a la eficiencia que presente en la remoción de las cargas contaminantes.

**Tabla 15.** Eficiencia de la PTAR en la Remoción de la Carga Orgánica

| Eficiencias en la Remoción de Carga Orgánica |                  |               |                |                |               |                |
|--|------------------|---------------|----------------|----------------|---------------|----------------|
| FECHA  | DBO <sub>5</sub> |               |                | DQO            |               |                |
|  | Entrada (mg/L)   | Salida (mg/L) | Eficiencia (%) | Entrada (mg/L) | Salida (mg/L) | Eficiencia (%) |
| R. Histórico<br>16/1/2018                    | 248              | 194           | 21.77          | 589            | 194           | 67.06          |
| R. Histórico<br>27/9/2018                    | 318              | 40.8          | 87.17          | 678            | 289           | 57.37          |
| R. Histórico<br>14/1/2019                    | 363              | 71            | 80.44          | 811            | 352           | 56.60          |
| R. Histórico<br>22/8/2019                    | 305              | 87            | 71.48          | 639            | 216           | 66.20          |
| R. Histórico<br>20/1/2020                    | 296              | 95            | 67.91          | 557            | 241           | 56.73          |
| <b>R. ACTUAL<br/>6/10/2020</b>               | 220              | 40.4          | 81.64          | 511            | 83            | 83.76          |
| <b>R. ACTUAL<br/>6/1/2021</b>                | 363.3            | 78.4          | 78.42          | 645            | 189           | 70.70          |
| <b>Promedio</b>                              | <b>301.90</b>    | <b>86.66</b>  | <b>69.83</b>   | <b>632.86</b>  | <b>223.43</b> | <b>64.70</b>   |

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla anterior, se muestran las eficiencias totales de la PTAR en la remoción de la carga orgánica en función de BDO<sub>5</sub> y la remoción de la carga en función de DQO, a lo largo de un periodo que va desde el 2018 al primer semestre del año 2021, siendo estos 2 últimos registros los realizados para el desarrollo de la presente evaluación. En la remoción de carga en función de DBO<sub>5</sub> se tiene un promedio de eficiencia de 69.83% y por otro lado la remoción de carga en función de DQO se tiene una eficiencia de 64.70%, esto se logra con un tiempo de retención hidráulica total en el sistema de tratamiento de 8 días.

Las eficiencias de la PTAR en la remoción de cargas de nutrientes como fosforo total y nitrógeno total se reflejan en la tabla que se muestra a continuación:

**Tabla 16.** Eficiencia de la PTAR en la remoción de la carga de nutrientes

| Eficiencias en la Remoción de Carga de Nutrientes |                        |               |                |                      |               |                |
|---|------------------------|---------------|----------------|----------------------|---------------|----------------|
| FECHA   | Nitrógeno Total (mg/L) |               |                | Fosforo Total (mg/L) |               |                |
|   | Entrada (mg/L)         | Salida (mg/L) | Eficiencia (%) | Entrada (mg/L)       | Salida (mg/L) | Eficiencia (%) |
| R. Histórico<br>16/1/2018                         | 390                    | 120           | 69.23          | 5.58                 | 4.59          | 17.74          |
| R. Histórico<br>27/9/2018                         | 205                    | 63            | 69.27          | 4.91                 | 5.52          | -12.42         |
| R. Histórico<br>14/1/2019                         | 323                    | 90            | 72.14          | 6.19                 | 4.86          | 21.49          |
| R. Histórico<br>22/8/2019                         | 258                    | 84            | 67.44          | 4.78                 | 4.51          | 5.65           |
| R. Histórico<br>20/1/2020                         | 296                    | 95            | 67.91          | 4.51                 | 3.84          | 14.86          |
| <b>R. ACTUAL<br/>6/10/2020</b>                    | 220                    | 40.4          | 81.64          | 4.24                 | 3.84          | 9.43           |
| <b>R. ACTUAL<br/>6/1/2021</b>                     | 363.3                  | 78.4          | 78.42          | 6.92                 | 4.25          | 38.58          |
| <b>Promedio</b>                                   | <b>293.61</b>          | <b>81.54</b>  | <b>72.29</b>   | <b>5.30</b>          | <b>4.49</b>   | <b>13.62</b>   |

Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en el presente cuadro, los valores de eficiencias en la remoción de cargas de nutrientes en función del nitrógeno total son ligeramente altos, teniendo un promedio en eficiencia del 72.29 % lo cual es muy importante ya que el nitrógeno reduce el oxígeno disuelto en las aguas siendo este el medio de vida para la reproducción de microorganismos encargados en el proceso de biodegradación de materia orgánica, además que es toxico para los ecosistemas acuáticos y de no remover la mayor parte de nitrógeno el Rio Chiquito sufriría grandes consecuencias.

Además se puede observar en la tabla anterior la remoción de carga de nutrientes en función del fosforo donde a diferencia que en función del nitrógeno, las eficiencias acá son bastante bajas, pero es interesante observar las



concentraciones de fósforo de igual manera son bajas en estas aguas residuales que ingresan en la PTAR es por ello que en este caso, la eficiencia promedio reflejada de 13.62 % no es sinónimo de ineficiencia en el sistema de tratamiento.

**Tabla 17.** Eficiencia de la PTAR en la remoción de organismos patógenos

| <b>Eficiencias en la Remoción de Organismos Patógenos</b> |                                |                               |                           |                                |                               |                           |
|---|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| <b>FECHA</b>  | <b>Coliformes Fecales</b>      |                               |                           | <b>Coliformes Totales</b>      |                               |                           |
|   | <b>Entrada<br/>(NMP/100ml)</b> | <b>Salida<br/>(NMP/100ml)</b> | <b>Eficiencia<br/>(%)</b> | <b>Entrada<br/>(NMP/100ml)</b> | <b>Salida<br/>(NMP/100ml)</b> | <b>Eficiencia<br/>(%)</b> |
| R. Histórico<br>16/1/2018                                 | 1.30E+07                       | 1.30E+05                      | 99.00                     | 5.40E+07                       | 5.40E+05                      | 99.00                     |
| R. Histórico<br>27/9/2018                                 | 1.30E+07                       | 7.90E+05                      | 93.92                     | 5.40E+07                       | 3.50E+06                      | 93.52                     |
| R. Histórico<br>14/1/2019                                 | 1.70E+07                       | 1.30E+05                      | 99.24                     | 3.50E+07                       | 5.40E+05                      | 98.46                     |
| R. Histórico<br>22/8/2019                                 | 9.20E+06                       | 7.90E+05                      | 91.41                     | 2.40E+07                       | 1.10E+06                      | 95.42                     |
| R. Histórico<br>20/1/2020                                 | 3.50E+07                       | 2.40E+05                      | 99.31                     | 9.20E+07                       | 1.60E+06                      | 98.26                     |
| <b>R. ACTUAL<br/>6/10/2020</b>                            | <b>2.20E+07</b>                | <b>7.90E+05</b>               | <b>96.41</b>              | <b>5.40E+07</b>                | <b>2.40E+06</b>               | <b>95.56</b>              |
| <b>R. ACTUAL<br/>6/1/2021</b>                             | <b>2.40E+07</b>                | <b>2.40E+05</b>               | <b>99.00</b>              | <b>5.40E+07</b>                | <b>9.20E+05</b>               | <b>98.30</b>              |
| <b>Promedio</b>   | <b>1.90E+07</b>                | <b>4.44E+05</b>               | <b>96.90</b>              | <b>5.24E+07</b>                | <b>1.51E+06</b>               | <b>96.93</b>              |

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 17 refleja las eficiencias de la PTAR en la remoción de coliformes fecales y totales, estos organismos patógenos son provenientes principalmente del intestino humano y animales de sangre caliente, es decir, el principal medio contaminante de transporte son las heces fecales, presentes en suelos, semillas, vegetación y en el agua misma, en la PTAR Sutiava las eficiencias en la remoción de estos organismos para el caso de las coliformes fecales presenta un promedio de 96.90% y para el caso de remoción de coliformes totales del 96.93 por ciento.

Es importante analizar que las cargas presentes en la entrada de la PTAR son considerablemente altas, si bien es cierto que su eficiencia es buena, los valores que se reportan en la salida de la PTAR siguen estando por encima del límite

permisible, según el Decreto 21-17 , el cual estable en su Arto. 22 un límite máximo permisible de  $1 \cdot 10^5$  NMP/100ml, esto podría ser consecuencia del aumento en el caudal de la PTAR, debido al crecimiento poblacional, conexiones ilegales, entre otros, lo cual hace que la PTAR opere por encima de su capacidad de diseño.

**Tabla 18.** Eficiencia de la PTAR en la remoción de aceites, grasas y SST.

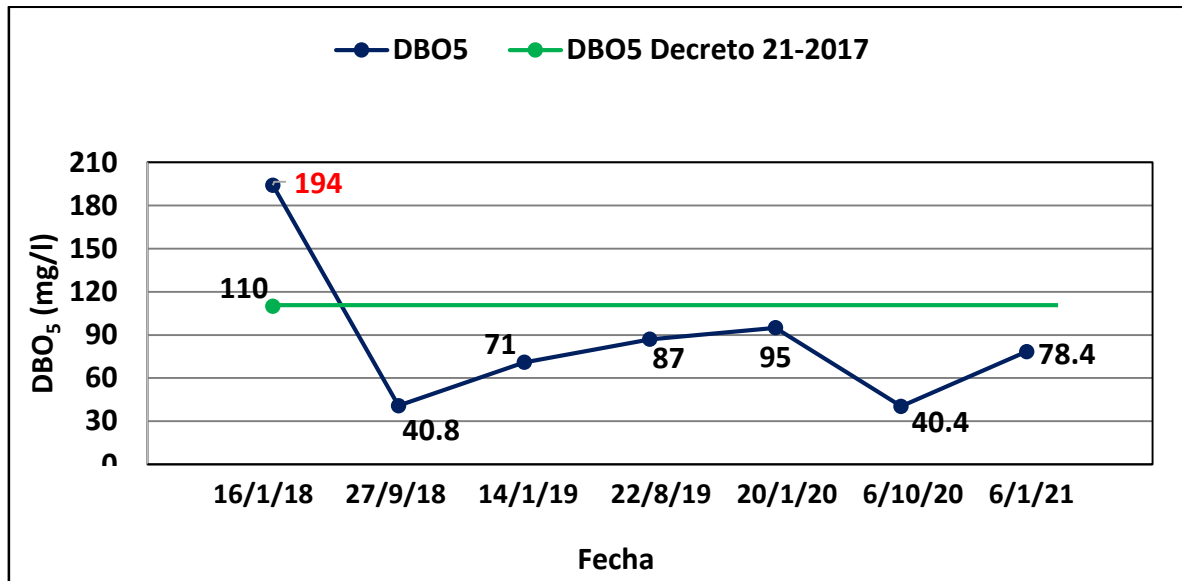
| Eficiencias en la Remoción de SST, Aceites y Grasas |                  |               |                |                |               |                |
|---|------------------|---------------|----------------|----------------|---------------|----------------|
| FECHA   | Aceites y Grasas |               |                | SST            |               |                |
|   | Entrada (mg/L)   | Salida (mg/L) | Eficiencia (%) | Entrada (mg/L) | Salida (mg/L) | Eficiencia (%) |
| R. Histórico<br>16/1/2018                           | 66               | 2.1           | 96.82          | 390            | 120           | 69.23          |
| R. Histórico<br>27/9/2018                           | 62               | 1.8           | 97.10          | 205            | 63            | 69.27          |
| R. Histórico<br>14/1/2019                           | 67.6             | 3.6           | 94.67          | 323            | 90            | 72.14          |
| R. Histórico<br>22/8/2019                           | 87.6             | 7.4           | 91.55          | 258            | 84            | 67.44          |
| R. Histórico<br>20/1/2020                           | 72.6             | 5.8           | 92.01          | 296            | 95            | 67.91          |
| R. ACTUAL<br>6/10/2020                              | 75               | 5.2           | 93.07          | 220            | 40.4          | 81.64          |
| R. ACTUAL<br>6/1/2021                               | 74.8             | 3.6           | 95.19          | 363.3          | 78.4          | 78.42          |
| <b>Promedio</b>                                     | <b>72.23</b>     | <b>4.21</b>   | <b>94.34</b>   | <b>293.61</b>  | <b>81.54</b>  | <b>72.29</b>   |

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se analizan los parámetros aceites y grasas y los sólidos suspendidos totales en cuanto a qué tan eficiente es la PTAR para removerlos, ya que la presencia de estos parámetros en el sistema lagunar, traería consigo múltiples afectaciones en el proceso de operación de la PTAR como el dificultar la transferencia de oxígeno, formar natas sobre las lagunas que eviten la remoción de carga orgánica superficial y degradando así la condición potencialmente facultativas de las lagunas.

## 5.8 Regulaciones ambientales

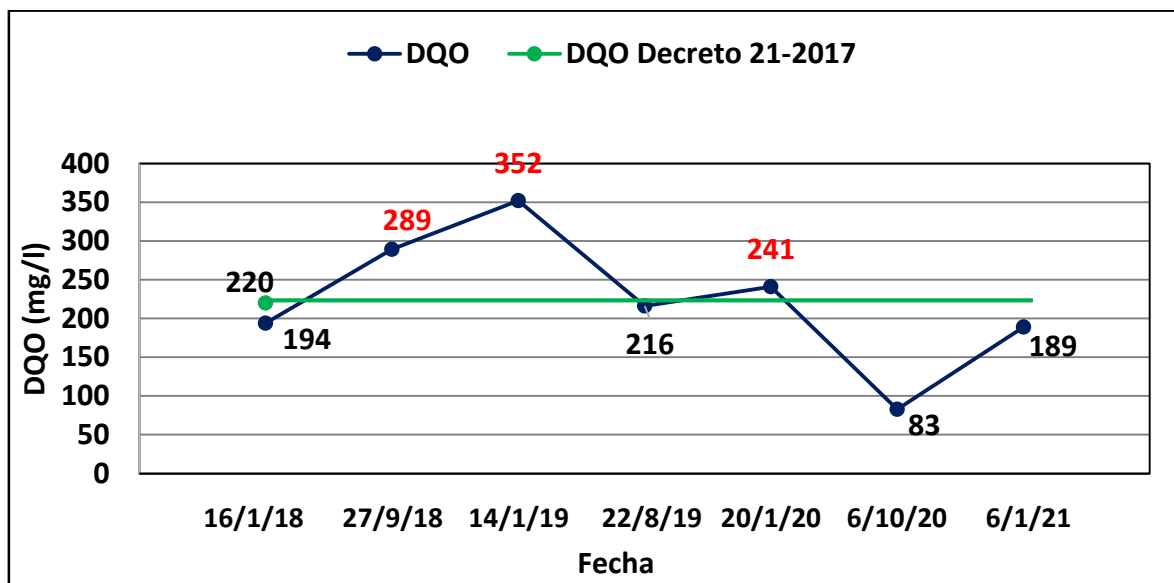
Gráfico 7. Concentración de DBO<sub>5</sub> en el efluente vs Decreto 21-2017



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico anterior se muestran los resultados de DBO<sub>5</sub> en el efluente general de la PTAR, con datos del registro histórico de monitoreos realizados a la planta de tratamiento Sutiava, siendo los últimos dos valores los obtenidos mediante los monitoreos realizados con el fin de la presente evaluación, en comparación con el valor máximo permisible según el Decreto 21-2017 en su artículo 25. Se puede apreciar que las mayorías de los valores de DBO<sub>5</sub> cumplen lo cual indica que las aguas vertidas al río Chiquito presentan características de poco contaminadas, verificando el buen funcionamiento de la PTAR en el proceso de remoción de carga orgánica en función de DBO<sub>5</sub>, el valor mostrado en rojo en el gráfico anterior indica que no cumple con el máximo establecido por el Decreto 21-2017.

**Gráfico 8.** Concentración de DQO en el efluente vs Decreto 21-2017

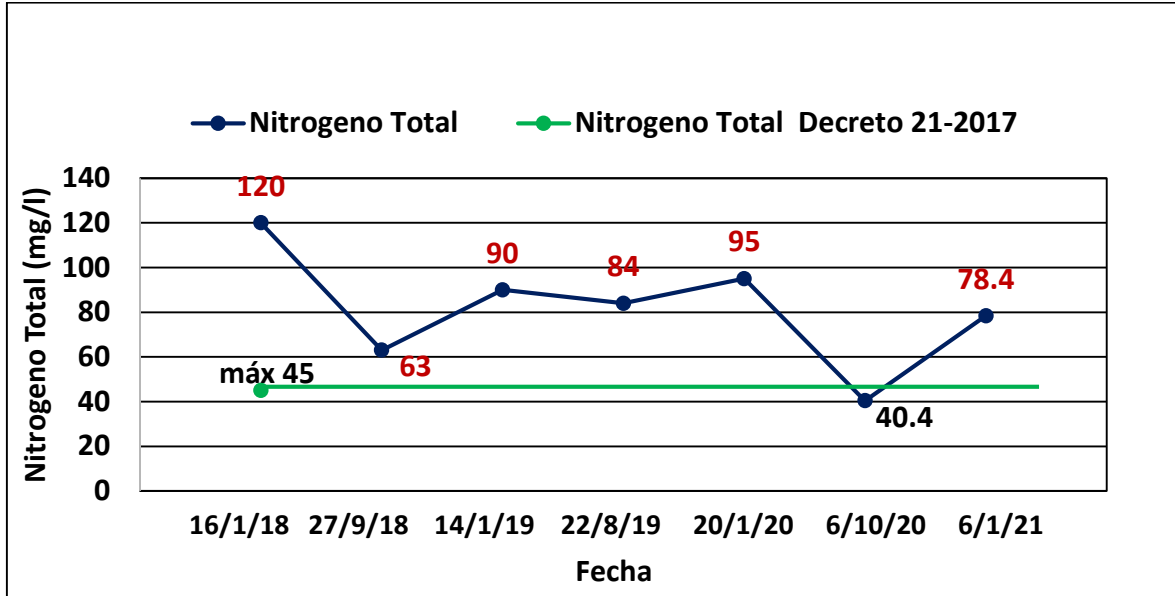


Fuente: Elaboración propia.

De igual forma que el DBO<sub>5</sub>, en el análisis de la DQO según el registro histórico y datos actuales de la PTAR Sutiava obtenidos en distintos tiempos y condiciones climatológicas para hacer más amplio el análisis, se evaluó el comportamiento de este parámetro con respecto a la normativa del Decreto 21-2017, donde existe un incumplimiento en 3 de los 7 datos que se tiene de la planta, los 2 datos más recientes cumplen según las normativas. Conociendo que la DQO es toda sustancia orgánica como inorgánica susceptible de ser oxidada, mediante procesos químicos con ayuda de un oxidante, los valores en el grafico anterior en incumplimiento, pudieran ser producto de la presencia de sustancias provenientes de desechos industriales que se filtraron a la red de alcantarillado ocasionando un incremento en los valores de DQO, así como también el exceso de algas verdes en las lagunas facultativas, por falta de mantenimiento y limpieza de las lagunas.

En el Gráfico 9 que se presenta a continuación se muestran los valores de concentración de Nitrógeno Total presente en el afluente de la PTAR Sutiava, los cuales se comparan con los valores máximos permisibles para los vertidos de las aguas tratadas a cuerpo receptores según el Decreto 21-2017.

**Gráfico 9.** Concentración de Nitrógeno Total en el afluente vs Decreto 21-2017

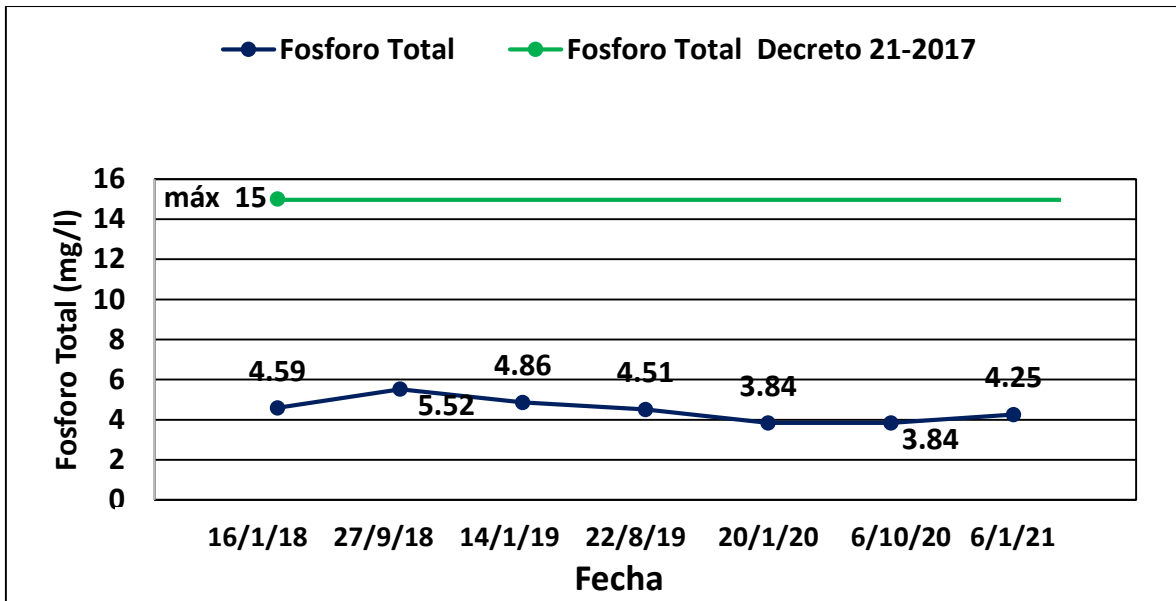


Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico anterior se puede observar que la mayoría de los valores de nitrógeno total presente en el afluente no cumplen con lo estipulado en el Decreto 21-2017, esto indica que los altos niveles de nitrógenos con los que se vierten las aguas al río Chiquito son muy peligrosos para la vida acuática ya que afecta seriamente a la respiración de los peces e invertebrados acuáticos ocasionando un decremento en la diversidad animal y vegetal, además de ello, con respecto al funcionamiento de la planta, el crecimiento excesivo de las plantas acuáticas y algas, pueden obstaculizar las entradas de las lagunas y bloquear la luz solar evitando que lleguen a aguas más profundas haciendo de esa manera que el tratamiento de las aguas servidas sea ineficiente.

El nitrógeno presente en las aguas residuales generalmente es introducido a través de drenajes y por los fertilizantes, debido a que fertilizantes químicos y estiércol de animales son aplicados comúnmente a las cosechas para agregar nutrientes, lo cual puede causar que durante intensas lluvias ocurran escurrimientos y lleguen estos componentes al alcantarillado sanitario ocasionando problemas serios a los sistemas de tratamientos,

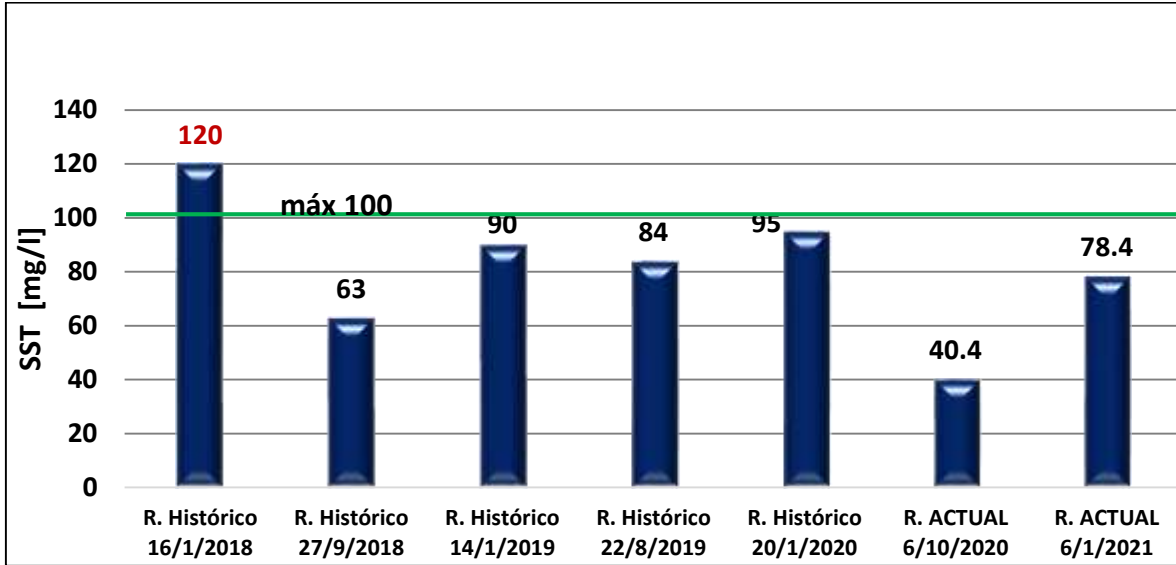
**Gráfico 10.** Concentración de Fósforo Total en el afluente vs Decreto 21-2017



Fuente: Elaboración propia.

El en gráfico anterior se puede apreciar los valores de fósforo total presentes en las aguas de efluente de la PTAR Sutiava, los cuales cumplen según el Decreto 21-2017 en su Arto. 25, estando muy por debajo del valor máximo permisible, este nutriente a diferencia que el nitrógeno total se encuentra en estas aguas en menor cantidad, Normalmente en las aguas del medio ambiente hay mucho más nitrógeno que fósforo, y varias de las especies acuáticas han evolucionado para vivir en estas condiciones, sin embargo si esta proporción se altera, los organismos reducen su capacidad de crecimiento y mantenimiento de sus funciones vitales, entre más nitrógeno y más fósforo significa menos oxígenos en las aguas, por un proceso conocido como eutrofización del aguas, que consiste en una sobre fertilización que produce el crecimiento desmedidos de algunas especies de alga que se quedan en la superficie de las aguas impidiendo el paso de la luz solar a las aguas del fondo, de manera que las algas presentes ahí no puedan realizar el proceso de fotosíntesis.

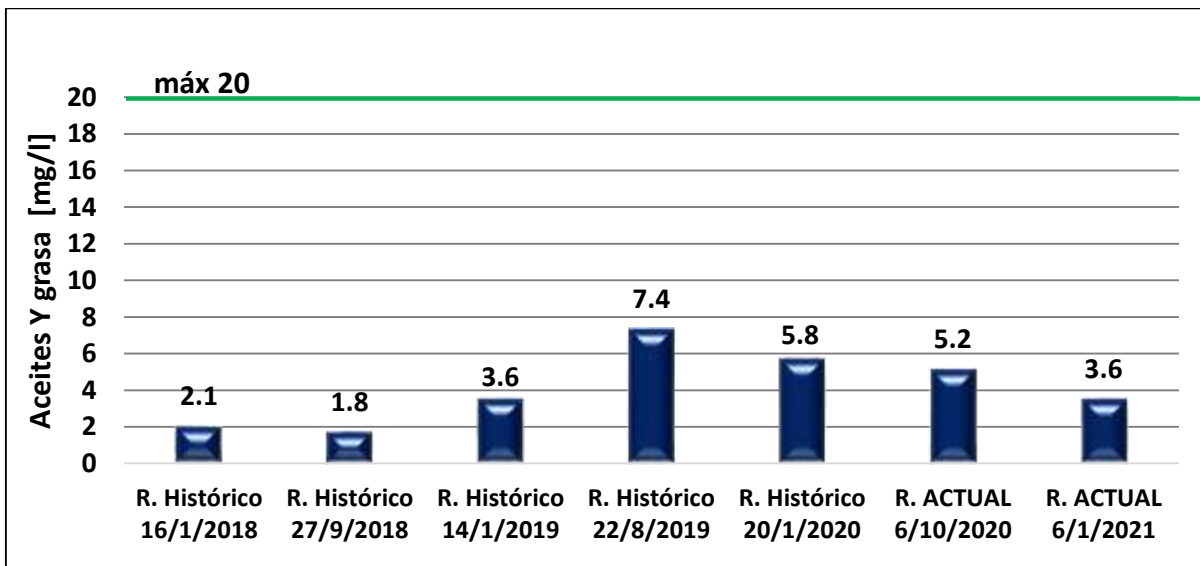
**Gráfico 11.** Sólidos Suspendidos Totales en el afluente vs Decreto 21-2017



Fuente: Elaboración propia.

Los Sólidos Suspendidos Totales (SST), presentes en las aguas de efluente de la PTAR Sutiava en los últimos años, han sido por debajo del límite máximo permisible según el Decreto 21-2017 como se muestra en el gráfico 11.

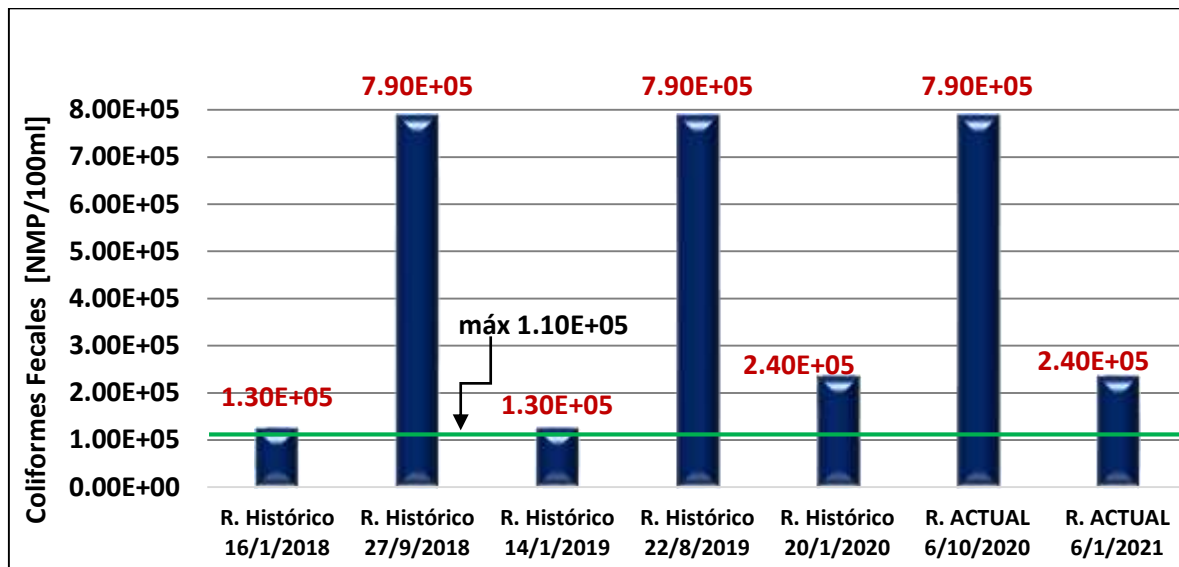
**Gráfico 12.** Aceites y Grasas Totales en el afluente vs Decreto 21-2017



Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 12 se muestran los valores de aceites y grasas presentes en las aguas que se vierten al cuerpo receptor en este caso el Rio Chiquito, provenientes de la PTAR Sutiava, siendo estos valores muy menores al límite máximo permisible establecido en el Decreto 21-2017, cumpliendo con este parámetro eficientemente con el desempeño del tratamiento en la PTAR.

**Gráfico 13.** Coliformes Fecales en el afluente vs Decreto 21-2017.



Fuente: Elaboración propia.

Las coliformes fecales son bacterias del genero Escherichia y también de especies de Klebsiella, Enterobacter y Critobacter. Frecuentemente su origen es fecal y representa una importante fuente de infección es por ello que la eliminación en los procesos de tratamiento sanitario es de suma importancia antes de ser vertidos a ríos, lagos o lagunas donde el ser humano interactúe con estas aguas, ya que la infección con estas bacterias ocasionan enfermedades como hepatitis, diarrea, el cólera entre otras. En el Gráfico 13 se puede apreciar los valores de coliformes fecales en NPM/100ml presentes en el efluente de la PTAR, estando todo ellos por encima del límite máximo permisible que estable el Decreto 21-2017 en su Arto. 25, como se puede apreciar son valores muy altos, lo que indica una fuerte carga contaminante al Rio Chiquito donde son vertidas estas aguas.



**Tabla 19.** Resumen parámetros evaluados vs decreto 21-2017

| <b>PARAMETROS</b>                         | <b>DECRETO<br/>21-2017</b> | <b>VALORES<br/>IN-SITU</b> | <b>OBSERVACION</b> |
|---|----------------------------|----------------------------|--------------------|
| <b>pH</b>                                 | 6 - 9´                     | 7.37                       | CUMPLE             |
| <b>Solidos Suspendidos Totales (mg/l)</b> | 100                        | 81.54                      | CUMPLE             |
| <b>Solidos Sedimentables (ml/l)</b>       | 1                          | 2.98                       | NO CUMPLE          |
| <b>Aceites y Grasas Totales (mg/l)</b>    | 20                         | 4.21                       | CUMPLE             |
| <b>DBO<sub>5</sub> (mg/l)</b>             | 110                        | 86.66                      | CUMPLE             |
| <b>DQO(mg/l)</b>                          | 220                        | 223.43                     | NO CUMPLE          |
| <b>Nitrógeno Total</b>                    | 45                         | 81.54                      | NO CUMPLE          |
| <b>Fósforos Totales</b>                   | 15                         | 4.49                       | CUMPLE             |

En la tabla anterior se muestran un resumen de los parámetros evaluados para efecto del presente estudio y la comparación de los mismos con respecto al decreto 21-2017, observando en ella cuales de los parámetros cumplen y cuales no con respecto a dicha normativa.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **Conclusiones**

En base a todo el análisis expuesto anteriormente sobre las condiciones hidráulicas, físicas y biológicas de la PTAR Sutiava en el departamento de León, se puede concluir que:

Las variaciones de caudales en el afluente de la PTAR a lo largo de los dos días monitoreados, son significativos teniendo caudales máximos que varían de 300 a 360 l/s siendo las horas de máxima demanda las comprendidas entre las 7 y 11 a.m, caudales mínimos que varían entre los 100 a 150 l/s los cuales se alcanzan entre las 3 a 5 am, resultando de ambos monitoreos un caudal promedio diario de 224.61 l/s, el cual excede en un 2.1% el caudal promedio de diseño de la PTAR Sutiava siendo este de 220 l/s, esto indica que el sistema de tratamiento se encuentra ligeramente excedido en cuanto a su capacidad máxima, por diferentes causas como: el crecimiento poblacional y mayor consumo de agua potable y conexiones ilegales a la red de alcantarillado sanitario. La variación existente entre el caudal de afluente y efluente de la PTAR se da por factores como la evaporación y las posibles infiltraciones en el fondo de las lagunas al subsuelos esto debido a la antigüedad del sistema y el poco mantenimiento que se le da.

La planta de tratamiento de aguas residuales Sutiava con sus actuales dimensiones y el aporte de caudal que ingresa a la misma, cuenta con 7 días de período en las que el sistema retiene las aguas residuales en todas sus unidades de tratamiento en general, se obtuvieron los valores de cuatro días y medio para la laguna primaria y dos días y medio para la laguna secundaria, es decir que en 7 días la PTAR hace el proceso de remoción de sólidos, carga orgánica, nutriente y organismos patógenos, siendo este periodo de retención hidráulica mayor al mínimo establecido según las disposiciones de las guías técnicas para el diseño de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamientos de aguas residuales de INAA las cuales

establecen que, el tiempo de retención hidráulico para lagunas facultativas deberá estar dentro de un rango de 5 a 30 días.

La eficiencia de la PTAR Sutiava en la remoción de carga orgánica en función de  $DBO_5$  es en promedio de 69.83%, a pesar de no ser una eficiencia alta, los valores con las que la PTAR vierte las aguas tratadas al río Chiquito cumplen según los parámetros establecidos en el Decreto 21-2017, en el caso de la DQO la eficiencia promedio es de 64.70% siendo muy baja pues varios de los valores analizados no cumplen según el Decreto 21-2017, esto podría deberse a la alta presencia de carga inorgánica en las aguas. La eficiencia de la PTAR en la remoción de carga de Nutrientes en función del Fósforo Total es en promedio de 13.62%, a pesar de ser una eficiencia considerablemente baja los valores de Fosforo total en el efluente cumplen con el Decreto 21-2017, esto debido a que los valores de Fósforo Total presentes en las aguas crudas son bajos. En el caso de la remoción de nutriente en función del Nitrógeno Total la eficiencia promedio es de 72.29% siendo aún insuficiente, puesto que al comparar los valores de nitrógeno total en las aguas del efluente de la PTAR con los parámetros del Decreto 21-2017 estos no cumplen pues son mayores al límite máximo establecido, esto indica un grave peligro para las aguas del río Chiquito pues los altos niveles de nitrógeno vertidos por la PTAR ha empezado en él un proceso de eutrofización.

En cuanto a remoción de organismos patógenos en función de coliformes fecales la PTAR mostro una eficiencia promedio de 96.90%, lo cual indica que las unidades de tratamiento presentan condiciones favorables para la remoción de estos organismos, sin embargo la carga que ingresa a la planta es alta, lo cual a pesar de tener las condiciones para ser removida en gran manera estos valores presentes en el efluente de la PTAR no cumplen con la norma de vertido de aguas provenientes del sistema de tratamiento al cuerpo receptor presente en el Decreto 21-2017, vertiéndose aguas al río Chiquito altamente contaminadas con coliformes, convirtiendo al río en una potencial fuente de propagación de enfermedades como diarrea, el cólera, entre otras.

Es notoria la falta de mantenimiento preventivo y correctivo en la PTAR Sutiava, existen unidades del tratamiento preliminar que se encuentran en mal estado desde hace mucho tiempo, los taludes de las lagunas facultativas tanto primarias como secundarias se encuentran totalmente cubiertos de vegetación, existen cúmulos de sedimentos en las entradas de ambas lagunas primarias, hay formación de natas en algunos bordes de las lagunas, en el efluente de la PTAR hay grandes formaciones de espumas. El crecimiento poblacional en los alrededores de donde está ubicada la PTAR Sutiava es notorio lo cual puede representar un problema en cuanto a condiciones de salubridad y seguridad para los mismos pobladores pues la planta como tal no cuenta con buena obra de cercamiento perimetral lo cual hace vulnerables a los menores de edad.

## Recomendaciones

Con el fin de que la PTAR Sutiava mejore las eficiencias generales y puntuales por cada fase de tratamiento, en el proceso de remoción de cargas contaminantes y desechos sólidos, se deberá de considerar lo siguiente:

1. Realizar los mantenimientos preventivos y correctivos periódicamente, tanto en el tratamiento preliminar como en los tratamientos primarios y secundarios, ya que la falta de mantenimiento es notorio sobre todo en las lagunas, con taludes totalmente cubiertos por vegetación lo que reduce la eficiencia del sistema de tratamiento, además de ello atender los lodos sedimentados en las lagunas, puesto que los cúmulos de sedimento son visibles sobre todo en las lagunas facultativas primarias.
2. Disponer de más personal capacitado para la disposición del mantenimiento de la PTAR, ya que actualmente se consta nada más de 3 personas las cuales no son suficiente para el área que comprende toda la Planta.
3. Construir una unidad para la medición de caudal que sea más eficiente y segura, ya que actualmente se realiza mediante el canal de entrada a través del método del flotador, con el fin de lograr un mejor monitoreo de la variación de caudal en el afluente de la PTAR.
4. Habilitar los tamices mecánicos que actualmente se encuentran descompuesto, para evitar que siga ingresando desechos sólidos a las lagunas facultativas que dificultan el tratamiento.
5. Desarrollar capacitaciones a operadores, ingenieros municipales y responsables en el monitoreo, para que se pueda dar seguimiento de: catastro de conexiones, medición de caudales, cargas, y medición de la acumulación de lodos.

6. Realizar catastro de usuarios con el fin de contar con datos actualizados que puedan justificar la actual aportación de caudal a la PTAR Sutiava verificando así la conexión de nuevos usuarios, conexiones ilegales a la red de alcantarillado, y así mismo evaluar la existencia de conexión de industrias en el sistema.
7. Realizar mejoras en obras de cercamiento perimetral en la Planta así como también de disponer de mejor vigilancia debido a que la población ha crecido en zonas aledañas a ella, lo cual representa un peligro para la vida, ya que se pudo observar personas cruzando sobre la propiedad de la PTAR para pasar de un poblado a otro.
8. Planificar la ampliación del sistema de tratamiento de forma que pueda balancear su eficiencia conforme al aumento de la población y sus conexiones al alcantarillado o el reducir el aporte de caudal a la PTAR mediante la construcción de un nuevo sistema de tratamiento que se encargue de cierto porcentaje de las aguas del alcantarillado.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Arthur, J. (1984). Notes on the design and operation and waste stabilization ponds in warm climates of Developing countries.

Betanco, M. A. (2018). EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE CARGA DE NUTRIENTES Y PATÓGENOS DEL NUEVO SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE SOMOTO. . Managua: Universidad Nacional de Ingeniería.

BIBLIOTECA VIRTUAL DE ENACAL, NICARAGUA. (2015). Caracterización Municipal de León. Managua.

Brenes, R. C. (2017). Evaluación de la Remoción de Carga Orgánica del Nuevo Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la ciudad de Somoto, Madriz, Nicaragua. Managua.

Burga, J. A. (2004). Evaluación y rediseño del sistema de lagunas de estabilización de la Universidad de Piura. Piura.

Comisión Nacional del Agua. (2015). MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO. Tlalpan, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Comisión Nacional del Agua. (s.f.). Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Lagunas de Estabilización. Tlalpan, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Cortés Martínez, F., Treviño Cansino, A., & Tomasini Ortiz, A. C. (2017). Dimensionamiento de lagunas de estabilización. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

ENACAL. (2006). NORMA TÉCNICA OBLIGATORIA NICARAGÜENSE PARA REGULAR LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES Y SU REUSO.

ENACAL. (2015). Manual de Operación y Mantenimiento de la PTAR "San Isidro" de León.

ENACAL-LEON. (2016). Situación actual de los servicios de agua potable y alcantarillado de la ciudad de León. León.

Esquivel Estrada, J. L., & Lacayo Romero, M. (2020). Evaluación del impacto de las aguas residuales domésticas y semi-industriales sobre la calidad Físico-química del Río Chiquito, León. Torreón Universitario, 1.

<https://www.significados.com/ph/>. (s.f.).

INETER. (2015).

INIDE. (2005). VIII CENSO POBLACIONAL Y IV DE VIVIENDAS. MANAGUA.

Juan José Salas Rodríguez, J. R. (2007). Manual De Tecnologías No Convencionales Para La Depuración De Aguas Residuales.

LA GACETA, DIARIO OFICIAL. (2017). REGLAMENTO EN EL QUE SE ESTABLECEN LAS DISPOSICIONES PARA EL VERTIDO DE AGUAS RESIDUALES. MANAGUA: ASAMBLEA NACIONAL DE LA REPUBLICA DE NICARAGUA.

Menéndez Gutiérrez, C., & Díaz Marrero, M. (2006). LAGUNAS DISEÑO, OPERACIÓN Y CONTROL.

Oficial, L. G. (2017). Decreto No. 21-2017.

Perez Sinchi, K. L., & Mejía Arias, F. d. (2016). EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. Lima.

R., M. O. (2007). DEMANDA BIOQUÌMICA DE OXÌGENO 5 días, INCUBACIÒN. Colombia.

R.S.Ramalho. (2007). Tratamiento De Aguas Residuales.

Ramalho, R. (1991). Tratamientos de aguas residuales.

RAMIREZ, K. P. (2011). CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES DEL TRATAMIENTO PRIMARIO EN POZAS DE OXIDACION DE DISTRITO DE. HUANCAYO, PERU.



Ramírez-Burgos, L. I., Durán Domínguez de Bazúa, M., García Fernández, J. A., Montuy Hernández, R., & Oaxaca Grande, M. (2008). DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO. Mexico D.F.

Sierra, C. A. (2013). Evaluación analítica para la determinación del fosforo total en aguas por el método del ácido ascórbico. Cartagena.

# ANEXOS

## Anexo I. Ficha de campo para el aforo de caudales.

| Planta de tratamiento de aguas residuales: _____          |               |                         |            |                     |       |                |                           |                               |                  |               |               |          |
|---|---------------|-------------------------|------------|---------------------|-------|----------------|---------------------------|-------------------------------|------------------|---------------|---------------|----------|
| Localidad: _____  |               |                         |            | Departamento: _____ |       |                |                           |                               |                  |               |               |          |
| Duración del monitoreo: _____                             |               |                         |            | Fecha: _____        |       |                |                           |                               |                  |               |               |          |
| Direccion de la PTAR: _____                               |               |                         |            | Codigo LAR: _____   |       |                |                           |                               |                  |               |               |          |
| Punto de muestreo: _____                                  |               |                         |            | Factor: _____       |       |                |                           |                               |                  |               |               |          |
| MEDICIONES DE CAMPO                                       |               |                         |            |                     |       |                |                           |                               |                  |               |               |          |
| HORA<br>(tiempo de la<br>toma de la<br>muestra<br>simple) | T° Agua<br>°C | pH Agua<br>Adimensional | OD<br>mg/L | CE                  | Us/cm | S Sed.<br>ML/L | Altura del<br>liquido. Cm | Tiempo de<br>recorrido<br>Seg | CAUDAL<br>Lt/seg | T° aire<br>°C | T.D.S<br>mg/L | Turbidez |
| 6:00:00 a. m.   |               |                         |            |                     |       |                |                           |                               |                  |               |               |          |
| 7:00:00 a. m.   |               |                         |            |                     |       |                |                           |                               |                  |               |               |          |
| 8:00:00 a. m.   |               |                         |            |                     |       |                |                           |                               |                  |               |               |          |
| 9:00:00 a. m.   |               |                         |            |                     |       |                |                           |                               |                  |               |               |          |
| 10:00:00 a. m.  |               |                         |            |                     |       |                |                           |                               |                  |               |               |          |
| 11:00:00 a. m.  |               |                         |            |                     |       |                |                           |                               |                  |               |               |          |
| 12:00:00 p. m.  |               |                         |            |                     |       |                |                           |                               |                  |               |               |          |
| 1:00:00 p. m.   |               |                         |            |                     |       |                |                           |                               |                  |               |               |          |
| 2:00:00 p. m.   |               |                         |            |                     |       |                |                           |                               |                  |               |               |          |
| 3:00:00 p. m.   |               |                         |            |                     |       |                |                           |                               |                  |               |               |          |
| 4:00:00 p. m.   |               |                         |            |                     |       |                |                           |                               |                  |               |               |          |
| 5:00:00 p. m.   |               |                         |            |                     |       |                |                           |                               |                  |               |               |          |
| 6:00:00 p. m.   |               |                         |            |                     |       |                |                           |                               |                  |               |               |          |
| 7:00:00 p. m.   |               |                         |            |                     |       |                |                           |                               |                  |               |               |          |
| 8:00:00 p. m.   |               |                         |            |                     |       |                |                           |                               |                  |               |               |          |
| 9:00:00 p. m.   |               |                         |            |                     |       |                |                           |                               |                  |               |               |          |
| 10:00:00 p. m.  |               |                         |            |                     |       |                |                           |                               |                  |               |               |          |
| 11:00:00 p. m.  |               |                         |            |                     |       |                |                           |                               |                  |               |               |          |
| 12:00:00 a. m.  |               |                         |            |                     |       |                |                           |                               |                  |               |               |          |
| 1:00:00 a. m.   |               |                         |            |                     |       |                |                           |                               |                  |               |               |          |
| 2:00:00 a. m.   |               |                         |            |                     |       |                |                           |                               |                  |               |               |          |
| 3:00:00 a. m.   |               |                         |            |                     |       |                |                           |                               |                  |               |               |          |
| 4:00:00 a. m.   |               |                         |            |                     |       |                |                           |                               |                  |               |               |          |
| 5:00:00 a. m.   |               |                         |            |                     |       |                |                           |                               |                  |               |               |          |
| 6:00:00 a. m.   |               |                         |            |                     |       |                |                           |                               |                  |               |               |          |
| Xpromedio   |               |                         |            |                     |       |                |                           |                               |                  |               |               |          |
| Xmáximo   |               |                         |            |                     |       |                |                           |                               |                  |               |               |          |
| Xmínimo   |               |                         |            |                     |       |                |                           |                               |                  |               |               |          |

## Anexo II. Monitoreo en Estación de Invierno.

| Planta de tratamiento de aguas residuales: SUTIAVA |                 |                              |         |        |       |             |                        |                         |               |            |            |          |
|--|-----------------|------------------------------|---------|--------|-------|-------------|------------------------|-------------------------|---------------|------------|------------|----------|
| Localidad:   | León            | Department León              |         |        |       |             |                        |                         |               |            |            |          |
| Duración del monitoreo:                            | 24 Horas        | Fecha: 6 y 7 de Octubre 2020 |         |        |       |             |                        |                         |               |            |            |          |
| Dirección de la PTAR:                              |                 | Código LAR: _____            |         |        |       |             |                        |                         |               |            |            |          |
| Punto de muestreo:                                 | Entrada general | Factor: 30                   |         |        |       |             |                        |                         |               |            |            |          |
| MEDICIONES DE CAMPO                                |                 |                              |         |        |       |             |                        |                         |               |            |            |          |
| HORA (tiempo de la toma de la muestra simple)      | T° Agua °C      | pH Agua Adimensional         | OD mg/L | CE     | Us/cm | S Sed. ML/L | Altura del líquido. Cm | Tiempo de recorrido Seg | CAUDAL Lt/seg | T° aire °C | T.D.S mg/L | Turbidez |
| 6:00:00 a. m.                                      | 28.60           | 7.72                         |         | 585.00 | 6.00  | 32.00       | 32.00                  | 6.09                    | 315.27        | 25.00      | 386.00     |          |
| 7:00:00 a. m.                                      | 28.50           | 7.11                         |         | 675.00 | 12.00 | 32.00       | 32.00                  | 5.43                    | 353.59        | 27.00      | 446.00     |          |
| 8:00:00 a. m.                                      | 28.60           | 7.28                         |         | 731.00 | 4.00  | 33.00       | 33.00                  | 5.70                    | 347.37        | 30.00      | 482.00     |          |
| 9:00:00 a. m.                                      | 29.00           | 7.04                         |         | 731.00 | 1.00  | 30.00       | 30.00                  | 6.03                    | 298.51        | 29.00      | 482.00     |          |
| 10:00:00 a. m.                                     | 28.90           | 7.21                         |         | 714.00 | 4.00  | 29.00       | 29.00                  | 5.50                    | 316.36        | 30.00      | 471.00     |          |
| 11:00:00 a. m.                                     | 29.00           | 7.77                         |         | 695.00 | 3.00  | 30.00       | 30.00                  | 6.50                    | 276.92        | 31.00      | 459.00     |          |
| 12:00:00 p. m.                                     | 29.20           | 7.43                         |         | 634.00 | 4.00  | 27.00       | 27.00                  | 5.90                    | 274.58        | 31.00      |            |          |
| 1:00:00 p. m.                                      | 29.20           | 7.63                         |         | 682.00 | 2.00  | 26.00       | 26.00                  | 5.28                    | 295.45        | 31.00      |            |          |
| 2:00:00 p. m.                                      | 29.40           | 7.46                         |         | 692.00 | 2.00  | 27.00       | 27.00                  | 5.37                    | 301.68        | 31.00      |            |          |
| 3:00:00 p. m.                                      | 29.20           | 7.44                         |         | 766.00 | 1.00  | 26.00       | 26.00                  | 6.12                    | 254.90        | 31.00      |            |          |
| 4:00:00 p. m.                                      | 29.00           | 7.06                         |         | 672.00 | 1.00  | 22.00       | 22.00                  | 6.22                    | 212.22        | 31.00      |            |          |
| 5:00:00 p. m.                                      | 28.40           | 6.90                         |         | 716.00 | 3.00  | 27.00       | 27.00                  | 6.30                    | 257.14        | 27.00      |            |          |
| 6:00:00 p. m.                                      | 28.50           | 6.91                         |         | 739.00 | 1.00  | 20.00       | 20.00                  | 5.99                    | 200.33        | 27.00      |            |          |
| 7:00:00 p. m.                                      | 28.40           | 7.13                         |         | 729.00 | 3.00  | 23.00       | 23.00                  | 7.19                    | 191.93        | 26.00      |            |          |
| 8:00:00 p. m.                                      | 28.60           | 7.25                         |         | 675.00 | 4.00  | 23.00       | 23.00                  | 7.03                    | 196.30        | 26.00      |            |          |
| 9:00:00 p. m.                                      | 28.50           | 7.02                         |         | 615.00 | 2.00  | 24.00       | 24.00                  | 6.94                    | 207.49        | 26.00      |            |          |
| 10:00:00 p. m.                                     | 28.30           | 7.18                         |         | 634.00 | 0.00  | 25.00       | 25.00                  | 7.44                    | 201.61        | 25.00      |            |          |
| 11:00:00 p. m.                                     | 28.20           | 7.16                         |         | 680.00 | 4.00  | 25.00       | 25.00                  | 8.19                    | 183.15        | 25.00      |            |          |
| 12:00:00 a. m.                                     | 27.90           | 7.50                         |         | 905.00 | 2.00  | 22.00       | 22.00                  | 8.22                    | 160.58        | 25.00      |            |          |
| 1:00:00 a. m.                                      | 28.30           | 7.29                         |         | 588.00 | 2.00  | 22.00       | 22.00                  | 8.25                    | 160.00        | 25.00      |            |          |
| 2:00:00 a. m.                                      | 28.40           | 7.26                         |         | 490.00 | 1.00  | 22.00       | 22.00                  | 9.87                    | 133.74        | 25.00      |            |          |
| 3:00:00 a. m.                                      | 28.00           | 7.71                         |         | 434.00 | 1.00  | 20.00       | 20.00                  | 11.84                   | 101.35        | 24.00      |            |          |
| 4:00:00 a. m.                                      | 28.50           | 7.86                         |         | 420.00 | 0.00  | 18.00       | 18.00                  | 9.37                    | 115.26        | 25.00      |            |          |
| 5:00:00 a. m.                                      |                 |                              |         |        |       |             |                        |                         |               |            |            |          |
| 6:00:00 a. m.                                      |                 |                              |         |        |       |             |                        |                         |               |            |            |          |
| Xpromedio  | 28.63           | 7.32                         |         | 660.96 | 2.74  | 25.43       | 25.43                  | 6.99                    | 232.96        | 27.52      |            |          |
| Xmáximo  |                 |                              |         |        |       |             |                        |                         | 353.59        |            |            |          |
| Xmínimo  |                 |                              |         |        |       |             |                        |                         | 101.35        |            |            |          |

### Anexo III. Monitoreo en Estación de Verano

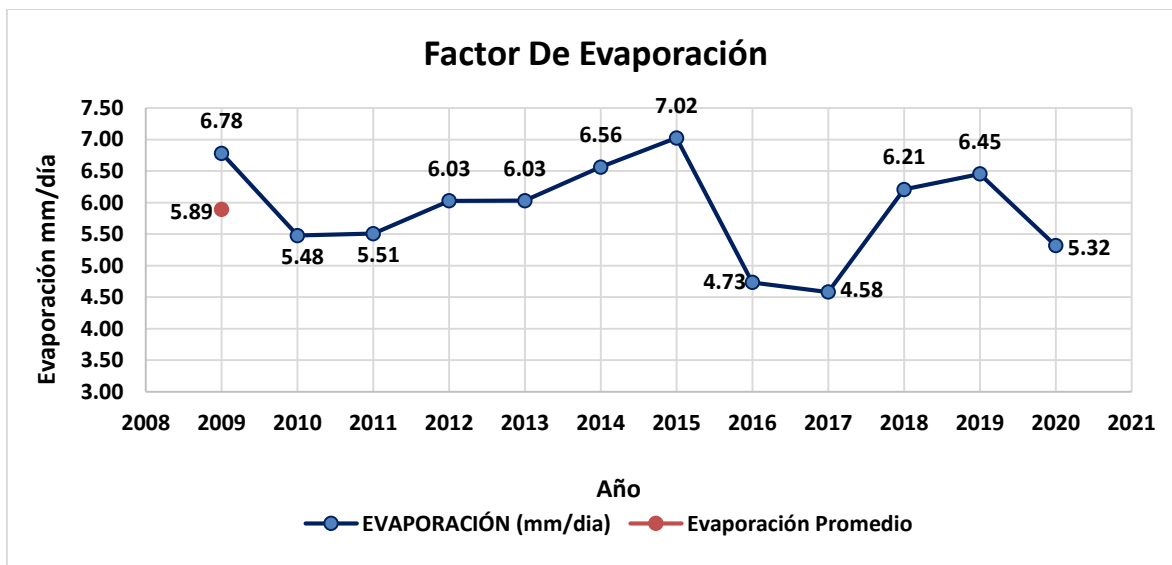
| Planta de tratamiento de aguas residuales: SUTIAVA |                 |                      |               |                     |       |             |                        |                         |               |            |            |          |
|--|-----------------|----------------------|---------------|---------------------|-------|-------------|------------------------|-------------------------|---------------|------------|------------|----------|
| Localidad:   | León            |                      | Departamento: | León                |       |             |                        |                         |               |            |            |          |
| Duración del monitoreo:                            | 24 Horas        |                      | Fecha:        | 6 y 7 de Enero 2021 |       |             |                        |                         |               |            |            |          |
| Dirección de la PTAR:                              |                 |                      | Código IAR:   |                     |       |             |                        |                         |               |            |            |          |
| Punto de muestreo:                                 | Entrada general |                      | Factor:       | 30                  |       |             |                        |                         |               |            |            |          |
| MEDICIONES DE CAMPO                                |                 |                      |               |                     |       |             |                        |                         |               |            |            |          |
| HORA (tiempo de la toma de la muestra simple)      | T° Agua °C      | pH Agua Adimensional | OD mg/L       | CE                  | Us/cm | S Sed. ML/L | Altura del líquido, Cm | Tiempo de recorrido Seg | CAUDAL Lt/seg | T° aire °C | T.D.S mg/L | Turbidez |
| 6:00:00 a. m.                                      | 28.00           | 7.67                 | 0.25          | 578.00              | 5.00  | 27.00       | 5.62                   | 288.26                  | 22.00         | 385.00     |            |          |
| 7:00:00 a. m.                                      | 28.50           | 7.64                 | 0.45          | 691.00              | 5.00  | 28.00       | 5.75                   | 292.17                  | 23.00         | 461.00     |            |          |
| 8:00:00 a. m.                                      | 28.20           | 7.60                 | 0.48          | 823.00              | 3.00  | 26.00       | 5.62                   | 277.58                  | 25.00         | 549.00     |            |          |
| 9:00:00 a. m.                                      | 27.70           | 7.59                 | 0.83          | 875.00              | 2.00  | 26.00       | 5.48                   | 285.71                  | 29.00         | 583.00     |            |          |
| 10:00:00 a. m.                                     | 28.50           | 7.51                 | 0.30          | 808.00              | 4.00  | 28.00       | 6.43                   | 261.28                  | 30.00         | 539.00     |            |          |
| 11:00:00 a. m.                                     | 28.50           | 7.50                 | 0.35          | 793.00              | 3.00  | 28.00       | 5.65                   | 297.35                  | 31.00         | 529.00     |            |          |
| 12:00:00 p. m.                                     | 28.40           | 7.40                 | 0.30          | 801.00              | 5.00  | 28.00       | 5.75                   | 271.30                  | 31.00         | 534.00     |            |          |
| 1:00:00 p. m.                                      | 28.50           | 7.40                 | 0.31          | 838.00              | 1.00  | 22.00       | 6.47                   | 204.02                  | 32.00         | 559.00     |            |          |
| 2:00:00 p. m.                                      | 28.80           | 7.38                 | 0.28          | 829.00              | 3.00  | 22.00       | 6.41                   | 205.93                  | 32.00         | 553.00     |            |          |
| 3:00:00 p. m.                                      | 28.70           | 7.33                 | 0.30          | 846.00              | 1.00  | 25.00       | 6.31                   | 237.72                  | 31.00         | 564.00     |            |          |
| 4:00:00 p. m.                                      | 28.40           | 7.34                 | 0.31          | 761.00              | 1.00  | 24.00       | 5.89                   | 244.48                  | 30.00         | 507.00     |            |          |
| 5:00:00 p. m.                                      | 28.20           | 7.37                 | 0.26          | 810.00              | 2.00  | 25.00       | 6.53                   | 229.71                  | 29.00         | 540.00     |            |          |
| 6:00:00 p. m.                                      | 28.30           | 7.44                 | 0.34          | 864.00              | 4.00  | 22.00       | 6.47                   | 204.02                  | 28.00         | 576.00     |            |          |
| 7:00:00 p. m.                                      | 27.80           | 7.36                 | 0.39          | 835.00              | 3.00  | 22.00       | 6.70                   | 197.01                  | 28.00         | 557.00     |            |          |
| 8:00:00 p. m.                                      | 27.50           | 7.37                 | 0.38          | 839.00              | 4.00  | 22.00       | 6.91                   | 191.03                  | 27.00         | 559.00     |            |          |
| 9:00:00 p. m.                                      | 28.10           | 7.40                 | 0.34          | 761.00              | 3.00  | 22.00       | 7.80                   | 169.23                  | 26.00         | 507.00     |            |          |
| 10:00:00 p. m.                                     | 27.80           | 7.42                 | 0.32          | 774.00              | 2.00  | 22.00       | 7.60                   | 173.68                  | 26.00         | 516.00     |            |          |
| 11:00:00 p. m.                                     | 27.50           | 7.25                 | 0.30          | 781.00              | 1.00  | 22.00       | 7.81                   | 169.01                  | 25.00         | 521.00     |            |          |
| 12:00:00 a. m.                                     | 27.60           | 7.26                 | 0.30          | 741.00              | 1.00  | 20.00       | 6.56                   | 182.93                  | 25.00         | 494.00     |            |          |
| 1:00:00 a. m.                                      | 27.40           | 7.28                 | 0.32          | 752.00              | 0.00  | 20.00       | 6.70                   | 179.10                  | 25.00         | 501.00     |            |          |
| 2:00:00 a. m.                                      | 27.20           | 7.21                 | 0.28          | 745.00              | 0.00  | 20.00       | 6.91                   | 173.68                  | 25.00         | 497.00     |            |          |
| 3:00:00 a. m.                                      | 27.50           | 7.46                 | 1.30          | 619.00              | 0.00  | 20.00       | 7.68                   | 156.25                  | 24.00         | 413.00     |            |          |
| 4:00:00 a. m.                                      | 27.80           | 7.58                 | 1.60          | 446.00              | 0.00  | 20.00       | 7.90                   | 151.90                  | 23.00         | 297.00     |            |          |
| 5:00:00 a. m.                                      | 27.4            | 7.64                 | 1.8           | 443.00              | 0.00  | 20.00       | 8.05                   | 149.07                  | 23.00         | 295.00     |            |          |
| 6:00:00 a. m.                                      |                 |                      |               |                     |       |             |                        |                         |               |            |            |          |
| Xpromedio  | 28.00           | 7.43                 | 0.51          | 752.21              | 2.21  | 23.29       | 6.62                   | 218.35                  | 27.08         | 501.50     |            |          |
| Xmáximo  |                 |                      |               |                     |       |             |                        | 297.35                  |               |            |            |          |
| Xmínimo  |                 |                      |               |                     |       |             |                        | 149.07                  |               |            |            |          |

## Anexo IV. Análisis del factor de Evaporación.

Análisis del Factor de Evaporación del Departamento de León.

NOTA: Los datos que se muestran a continuación fueron proporcionados por el Instituto Nacional de Estudios Territoriales INETER

| INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES<br>DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA |        |         |        |        |        |        |        |        |            |         |           |                     |                        |                      |
|---|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|---------|-----------|---------------------|------------------------|----------------------|
| RESUMEN METEOROLÓGICO ANUAL   |        |         |        |        |        |        |        |        |            |         |           |                     |                        |                      |
| Estación: AEROP.GODOYJ /  |        |         |        |        |        |        |        |        |            |         |           | Código: 64043       |                        |                      |
| Departamento: LEON  |        |         |        |        |        |        |        |        |            |         |           | Municipio: LEON     |                        |                      |
| Latitud: 12°25'36"  |        |         |        |        |        |        |        |        |            |         |           | Longitud: 86°54'48" |                        |                      |
| Años: 1985-2020   |        |         |        |        |        |        |        |        |            |         |           | Elevación: 60 msnm  |                        |                      |
| Parámetro: Evaporación Pana (mm)  |        |         |        |        |        |        |        |        |            |         |           | Tipo: HMP           |                        |                      |
| Año   | Enero  | Febrero | Marzo  | Abril  | Mayo   | Junio  | Julio  | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre           | Evaporación Anual (mm) | Evaporación (mm/día) |
| 2009  | 234.9  | 274.7   | 323.2  | 297.9  | 228.4  | 140.1  | 182.8  | 184.4  | 154.5      | 148.6   | 128.7     | 178.7               | 2,474.9                | 6.78                 |
| 2010  | 234.4  | 218.1   | 257.6  | 228.4  | 177.3  | 115.0  | 114.9  | 129.8  | 113.0      | 127.3   | 119.6     | 163.9               | 1,999.3                | 5.48                 |
| 2011  | 199.8  | 230.2   | 263.8  | 245.8  | 185.7  | 112.6  | 127.8  | 151.0  | 114.7      | 99.1    | 121.7     | 158.4               | 2,010.8                | 5.51                 |
| 2012  | 217.9  | 234.9   | 320.5  | 192.0  | 142.0  | 137.4  | 198.3  | 171.3  | 155.5      | 114.1   | 135.5     | 180.4               | 2,199.8                | 6.03                 |
| 2013  | 232.9  | 247.9   | 287.0  | 259.2  | 196.1  | 143.9  | 160.9  | 155.8  | 103.8      | 149.9   | 114.3     | 149.1               | 2,200.8                | 6.03                 |
| 2014  | 185.3  | 235.3   | 283.1  | 284.3  | 221.3  | 176.2  | 270    | 194.2  | 147.2      | 108.3   | 124.7     | 165.7               | 2,395.6                | 6.56                 |
| 2015  | 223.2  | 217.5   | 310.8  | 281.9  | 283.3  | 199.4  | 217.0  | 227.5  | 178.2      | 127.7   | 116.9     | 180.6               | 2,564.0                | 7.02                 |
| 2016  | 224.9  | 286.2   | 333.2  | 244.6  | 181.5  | 138.1  | 170.7  | 149.0  | -          | -       | -         | -                   | 1,728.2                | 4.73                 |
| 2017  | -      | -       | 287.3  | 270.7  | 158.5  | 135.7  | 156.0  | 144.9  | 124.3      | 109.3   | 123.5     | 161.8               | 1,671.8                | 4.58                 |
| 2018  | 193.6  | 226.1   | 292.7  | 258.1  | 163.5  | 148.1  | 183.0  | 201.8  | 145.5      | 107.4   | 151.1     | 195.0               | 2,265.9                | 6.21                 |
| 2019  | 232.7  | 235.8   | 335.5  | 266.5  | 180.5  | 164.6  | 187.6  | 182.8  | 161.2      | 119.3   | 121.3     | 168.2               | 2,356.0                | 6.45                 |
| 2020  | 219.0  | 254.0   | 104.0  | 273.4  | 199.7  | 136.1  | 162.8  | 129.8  | 123.0      | 88.3    | 99.7      | 150.9               | 1,940.7                | 5.32                 |
| Suma  | 2398.6 | 2660.7  | 3398.7 | 3102.8 | 2317.8 | 1747.2 | 2131.8 | 2022.3 | 1520.9     | 1297.3  | 1357.0    | 1852.5              | 25807.6                | 70.71                |
| Promedio  | 218.1  | 241.9   | 283.2  | 258.6  | 193.2  | 145.6  | 177.7  | 168.5  | 138.3      | 117.9   | 123.4     | 168.4               | 2150.6                 | 5.89                 |
| Max   | 234.9  | 286.2   | 335.5  | 297.9  | 283.3  | 199.4  | 270.0  | 227.5  | 178.2      | 149.9   | 151.1     | 195.0               | 2564.0                 | 7.02                 |
| Min   | 185.3  | 217.5   | 104.0  | 192.0  | 142.0  | 112.6  | 114.9  | 129.8  | 103.8      | 88.3    | 99.7      | 149.1               | 1671.8                 | 4.58                 |



## Anexo V. Resultados de Laboratorio.

### 1era Parte.

| Departamento     | Municipio | Laboratorio   | Región | Planta de Tratamiento o Efluentes Indst. | Punto Captac.       | Fecha de Muestreo | Caudal lts/seg | Temp. Aire °C | Temp. Agua °C | Cond. Elec. uS/cm |
|------------------|-----------|---------------|--------|--|---------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|-------------------|
| <b>6/10/2020</b> |           |               |        |  |                     |                   |                |               |               |                   |
| León             | León      | Regional León | II     | SUTIAVA                                  | Entrada General     | 6/10/2020         | 232.86         | 27.6          | 28.6          | 664               |
| León             | León      | Regional León | II     | SUTIAVA                                  | Salida Primaria A   |                   |                | 25            | 30.1          | 562               |
| León             | León      | Regional León | II     | SUTIAVA                                  | Salida Primaria B   |                   |                | 25            | 29.7          | 573               |
| León             | León      | Regional León | II     | SUTIAVA                                  | Salida Secundaria A |                   |                | 25            | 30.3          | 580               |
| León             | León      | Regional León | II     | SUTIAVA                                  | Salida Secundaria B |                   |                | 25            | 31.0          | 561               |
| León             | León      | Regional León | II     | SUTIAVA                                  | Salida General      |                   | 204.12         | 25            | 30.4          | 574               |
| <b>6/1/2021</b>  |           |               |        |  |                     |                   |                |               |               |                   |
| León             | León      | Regional León | II     | SUTIAVA                                  | Entrada General     | 6/1/2021          | 216.35         | 27.1          | 28.0          | 752               |
| León             | León      | Regional León | II     | SUTIAVA                                  | Salida Primaria A   |                   |                | 23            | 26.3          | 836               |
| León             | León      | Regional León | II     | SUTIAVA                                  | Salida Primaria B   |                   |                | 23            | 28.9          | 850               |
| León             | León      | Regional León | II     | SUTIAVA                                  | Salida Secundaria A |                   |                | 23            | 29.0          | 823               |
| León             | León      | Regional León | II     | SUTIAVA                                  | Salida Secundaria B |                   |                | 23            | 27.9          | 840               |
| León             | León      | Regional León | II     | SUTIAVA                                  | Salida General      |                   | 189.02         | 23            | 29.4          | 835               |

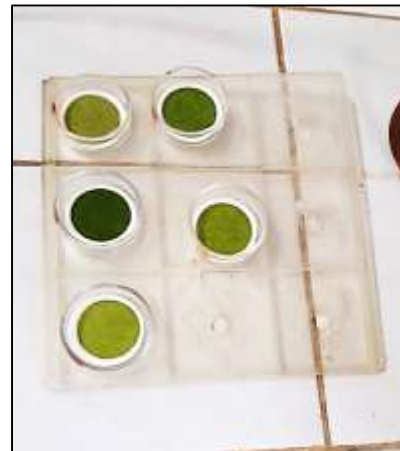
### 2da. parte

| pH               | Oxi. Disuelto mg/lts | S. Sedim. mg/lts | TDS mg/lts | S. Totales mg/lts | S. Susp. mg/lts | D.B.O mg/lts | D.Q.O mg/lts | P-PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> mg/L | Aceite y Grasa mg/lts | Colf. Totales NMP/100ml | Colf. Fecales NMP/100ml |
|------------------|----------------------|------------------|------------|-------------------|-----------------|--------------|--------------|--------------------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| <b>6/10/2020</b> |                      |                  |            |                   |                 |              |              |                                      |                       |                         |                         |
| 7.30             |                      | 2.21             | 443        | 898               | 284             | 220          | 511          | 4.24                                 | 75                    | 5.4E+07                 | 2.2E+07                 |
| 7.42             |                      |                  | 375        | 532               | 63              | 40.2         | 71           |                                      |                       | 5.4E+06                 | 3.5E+06                 |
| 7.67             |                      |                  | 382        | 589               | 119             | 44.4         | 86           |                                      |                       | 3.5E+06                 | 7.0E+05                 |
| 7.57             |                      |                  | 387        | 528               | 58              | 31.1         | 86           |                                      |                       | 5.4E+06                 | 2.4E+06                 |
| 8.41             |                      |                  | 374        | 560               | 87              | 45.6         | 93           |                                      |                       | 1.1E+06                 | 7.9E+05                 |
| 7.83             |                      |                  | 383        | 532               | 85              | 40.4         | 83           | 3.64                                 | 5.2                   | 2.4E+06                 | 7.9E+05                 |
| <b>6/10/2020</b> |                      |                  |            |                   |                 |              |              |                                      |                       |                         |                         |
| 7.43             |                      | 2.24             | 507        | 959               | 274             | 363.3        | 645          | 6.915                                | 74.8                  | 5.4E+07                 | 2.4E+07                 |
| 7.51             |                      |                  | 557        | 567               | 74              | 71.8         | 153          |                                      |                       | 5.4E+06                 | 3.4E+06                 |
| 7.44             |                      |                  | 567        | 583               | 79              | 77           | 158          |                                      |                       | 5.4E+06                 | 2.4E+06                 |
| 7.81             |                      |                  | 549        | 587               | 88              | 75.2         | 183          |                                      |                       | 1.1E+06                 | 4.9E+05                 |
| 7.62             |                      |                  | 560        | 601               | 65              | 70.6         | 135          |                                      |                       | 9.2E+05                 | 3.5E+05                 |
| 7.56             |                      |                  | 567        | 572               | 96              | 78.4         | 189          | 4.248                                | 3.6                   | 9.2E+05                 | 2.4E+05                 |

**Anexo VI. Laboratorio de la PTAR Sutiava.**



**Anexo VII. Análisis en el Laboratorio de la PTAR Sutiava.**





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN  
SECRETARIA

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION** hace constar que:

BERRIOS NAVARRO RICARDO LEONEL

Carné: **2015-1266U** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **97-15** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERIA CIVIL**, y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los seis días del mes de febrero del año dos mil veinte y tres.

Atentamente,



MSc. Ana Rosa López Olivas  
Secretario de Facultad





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN  
SECRETARIA

SECRETARÍA DE FACULTAD

**F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**

El Suscrito Secretario de la FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION hace constar que:

**PÉREZ HERNÁNDEZ JAIME ELIEZER**

Carné: 2015-0607U Turno: Diurno Plan de Asignatura: 97-15 de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de INGENIERIA CIVIL, y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los seis días del mes de febrero del año dos mil veinte y tres.

Atentamente



---

MSc. Ana Rosa López Olivas  
Secretario de Facultad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION  
SECRETARIA DE FACULTAD

HOJA DE MATRICULA  
AÑO ACADEMICO 2023

No. Recibo 22806

No. Inscripción 4

NOMBRES Y APELLIDOS: **BERRIOS NAVARRO RICARDO LEONEL**

CARRERA: INGENIERIA CIVIL

CARNET: 2015-1266U

TURNO: Diurno

PLAN DE ESTUDIO: 97-2015



SEMESTRE: PRIMER SEMESTRE  
2023

FECHA: 06/02/2023

| No. | ASIGNATURA   | GRUPO | AULA | CRED. | F | R |
|-----|--------------|-------|------|-------|---|---|
| 1   | ULTIMA LINEA |       |      |       |   |   |

F:Frecuencia de inscripciones de Asignatura R: Retiro de Asignatura.

CPEREZ  
GRABADOR

  
FIRMA Y SELLO  
DEL FUNCIONARIO  


FIRMA DEL  
ESTUDINTE

CC: ORIGINAL ESTUDIANTE COPIA: EXPEDIENTE

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 06-Feb-2023



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION  
SECRETARIA DE FACULTAD**

**HOJA DE MATRICULA  
AÑO ACADEMICO 2023**

No. Recibo 22807

No. Inscripción 4

NOMBRES Y APELLIDOS: **PEREZ HERNANDEZ JAIME ELIEZER**

CARRERA: INGENIERIA CIVIL

CARNET: 2015-0607U

TURNO: Diurno

PLAN DE ESTUDIO: 97-2015

SEMESTRE: PRIMER SEMESTRE  
2023

FECHA: 06/02/2023

| No. | ASIGNATURA   | GRUPO | AULA | CRED. | F | R |
|-----|--------------|-------|------|-------|---|---|
| 1   | ULTIMA LINEA |       | <    |       |   |   |

F: Frecuencia de inscripciones de Asignatura R: Retiro de Asignatura.

CPEREZ  
GRABADOR

  
**FIRMA Y SELLO  
DEL FUNCIONARIO**  


FIRMA DEL  
ESTUDINTE

CC: ORIGINAL ESTUDIANTE COPIA: EXPEDIENTE

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 06-Feb-2023

