

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA

"EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO ACTUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR PARA DETERMINAR LA REMOCIÓN DE LA CARGA MICROBIANA EN LA DESCARGA HACIA EL TRATAMIENTO TERCIARIO"

TESIS DE GRADO

CARLOS ANDRES GONZÁLEZ PANIAGUA
CARNET 10122-13

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, SEPTIEMBRE DE 2018
CAMPUS CENTRAL

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA

"EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO ACTUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR PARA DETERMINAR LA REMOCIÓN DE LA CARGA MICROBIANA EN LA DESCARGA HACIA EL TRATAMIENTO TERCIARIO"

TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA

POR
CARLOS ANDRES GONZÁLEZ PANIAGUA

PREVIO A CONFERÍRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, SEPTIEMBRE DE 2018
CAMPUS CENTRAL

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.

VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO

VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO

VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS

SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

DECANA: MGTR. KAREN GABRIELA MORALES HERRERA DE ZUNIGA

VICEDECANO: MGTR. OSMAN CARRILLO SOTO

SECRETARIA: MGTR. MARYA ALEJANDRA ORTIZ PATZAN

DIRECTOR DE CARRERA: DR. MARIO RENE SANTIZO CALDERON

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

MGTR. ANNA MARGARITA RIOS GONZALEZ

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

MGTR. FÁTIMA ANTONETHE CASTANEDA MENA

MGTR. JOSE ANTONIO ROSAL CHICAS

MGTR. JOSÉ MANUEL CASTAÑEDA ORELLANA

Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante CARLOS ANDRES GONZÁLEZ PANIAGUA, Carnet 10122-13 en la carrera LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA, del Campus Central, que consta en el Acta No. 02237-2018 de fecha 24 de septiembre de 2018, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

"EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO ACTUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR PARA DETERMINAR LA REMOCIÓN DE LA CARGA MICROBIANA EN LA DESCARGA HACIA EL TRATAMIENTO TERCIARIO"

Previo a conferírsele el título de INGENIERO QUÍMICO en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 28 días del mes de septiembre del año 2018.



MGTR. MARYA ALEJANDRA ORTIZ PATZAN, SECRETARIA
INGENIERÍA
Universidad Rafael Landívar





Universidad
Rafael Landívar
Tradición Jesuita en Guatemala

Facultad de Ingeniería

Teléfono: (502) 24262626

Directo: (502) **24262628**

Campus Central, Vista Hermosa III, Zona 16

Guatemala, Ciudad. 01016

Guatemala, 26 de Junio del 2018

Magister
Alejandra Ortiz
Secretaria de Facultad
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Mgtr. Ortiz:

Por este medio me dirijo a usted deseándole todas sus actividades se estén llevando con total éxito.

El motivo de la presente es para informarle que he tenido la oportunidad de revisar el informe final de Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO ACTUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR PARA DETERMINAR LA REMOCIÓN DE LA CARGA MICROBIANA EN LA DESCARGA HACIA EL TRATAMIENTO TERCIARIO**, del estudiante Carlos Andrés González Paniagua, quién se identifica con número de carnet 10122-13.

Que después de haber revisado el informe final y de acuerdo con los requerimientos establecidos por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Landívar doy como **APROBADO** dicho trabajo.

Para los usos que al interesado le convengan,
Me suscribo de Ud.

Atentamente,

Mgtr. Anna Margarita Ríos González

Asesor de Tesis

Universidad Rafael Landívar

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Por haberme acompañado, guiado e iluminado a lo largo de toda la carrera.

A MI MADRE

Por siempre estar a mi lado, apoyarme y darme todo su amor. Por haberme dado las mejores enseñanzas en la vida y ser mi modelo que seguir. ¡Muchas gracias, espero estés orgullosa!

A MI ABUELA

Por ser mi segunda madre, siempre estar dispuesta a darme una mano cuando lo necesito y haber cuidado siempre de mí.

A MI ASESORA

Por la motivación, apoyo y paciencia brindados a lo largo de esta investigación; así como por todo el conocimiento que compartió conmigo.

A MIS CATEDRÁTICOS

Por todo el conocimiento aportado, tanto académico como personal, a mi formación como profesional a lo largo de estos años en la Universidad.

A LA UNIVERSIDAD

RAFAEL LANDÍVAR

Por proporcionarme una educación con valores, con la que se abrió mi mente para poder buscar maneras de ayudar a Guatemala a través de mi trabajo y servicio constantes.

DEDICADO A

ILSE Y LIDIA

Por siempre estar a mi lado en los momentos difíciles, por alegrar mis días, por siempre apoyarme, por aguantarme y por todo el esfuerzo que han realizado a lo largo de estos años para que pueda salir adelante. Las amo más que a nada en este mundo y este logro es de los tres.

Son lo más valioso que tengo en la vida y si tuviera que volver a nacer y escoger una familia, las escogería a ustedes mil veces.

"Dime algo, y lo olvidaré.
Enséñame algo, y lo recordaré.
Hazme partícipe de algo, y lo aprenderé."

-Confucio (551 a.C. - 479 a.C.)

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|----|
| RESUMEN EJECUTIVO | 1 |
| CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN..... | 2 |
| 1.1. LO ESCRITO SOBRE EL TEMA | 3 |
| 1.2. RESUMEN CRÍTICO DEL MARCO TEÓRICO | 5 |
| 1.2.1. Aguas residuales | 5 |
| 1.2.2. Carga de contaminantes | 5 |
| 1.2.3. Calidad del agua | 6 |
| 1.2.4. Caracterización de aguas residuales | 7 |
| 1.2.5. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) | 8 |
| 1.2.6. Demanda química de oxígeno (DQO)..... | 8 |
| 1.2.7. Descripción de una planta de tratamiento de aguas residuales..... | 8 |
| 1.2.8. Importancia del tratamiento de las aguas negras | 15 |
| 1.2.9. Marco legal del tratamiento de aguas residuales en Guatemala | 15 |
| 1.2.10. Planta de tratamiento de aguas residuales del Campus Central de la Universidad Rafael Landívar..... | 19 |
| CAPÍTULO II PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 21 |
| 2.1. OBJETIVOS | 23 |
| 2.1.1. Objetivo general..... | 23 |
| 2.1.2. Objetivos específicos | 23 |
| 2.2. HIPÓTESIS | 24 |
| 2.3. ELEMENTOS DE ESTUDIO | 24 |
| 2.4. DEFINICIÓN DE LOS ELEMENTOS DE ESTUDIO..... | 24 |
| 2.5. ALCANCES Y LÍMITES..... | 26 |
| 2.6. APORTE..... | 27 |
| CAPÍTULO III MÉTODO..... | 28 |
| 3.1. SUJETOS Y UNIDADES DE ANÁLISIS | 28 |
| 3.1.1. Sujetos..... | 28 |
| 3.1.2. Unidades de análisis..... | 28 |
| 3.2. INSTRUMENTOS..... | 29 |
| 3.2.1. Instrumentos y equipo de medición | 29 |
| 3.2.2. Equipo para captación de muestras..... | 30 |
| 3.2.3. Equipo para captación de muestras..... | 31 |

| | |
|--|----|
| 3.2.4. Equipo de protección personal | 32 |
| 3.3. PROCEDIMIENTO | 33 |
| 3.3.1. Observación preliminar de la situación | 33 |
| 3.3.2. Búsqueda de información para fijar bases del estudio..... | 33 |
| 3.3.3. Determinación del volumen de la cubeta a utilizar | 34 |
| 3.3.4. Realización del muestreo..... | 35 |
| 3.4. DISEÑO Y METODOLOGÍA ESTADÍSTICA | 46 |
| 3.4.1. Localización | 46 |
| 3.4.2. Número de muestras | 47 |
| 3.4.3. Puntos de muestreo..... | 49 |
| 3.4.4. Frecuencia de toma de muestras | 50 |
| 3.4.5. Descripción de las unidades experimentales..... | 50 |
| 3.4.6. Metodología de análisis | 51 |
| CAPÍTULO IV PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS | 57 |
| 4.1. DATOS ORIGINALES | 57 |
| 4.2. DATOS CALCULADOS..... | 58 |
| CAPÍTULO V DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 74 |
| CAPÍTULO VI CONCLUSIONES | 83 |
| CAPÍTULO VII RECOMENDACIONES | 84 |
| CAPÍTULO VIII REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 85 |
| ANEXOS | 87 |
| ANEXO A: GLOSARIO..... | 87 |
| ANEXO B: ABREVIATURAS..... | 89 |
| ANEXO C: ETIQUETA PARA IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS..... | 90 |
| ANEXO D: RESULTADOS ORIGINALES DE LOS MUESTRAOS REALIZADOS EMITIDOS POR LAFYM | 91 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Reducción progresiva de DBO | 17 |
| Tabla 2: Límites máximos permisibles | 18 |
| Tabla 3: Instrumentos y equipos de medición empleados en el estudio | 29 |
| Tabla 4: Equipo y material empleado para determinación de caudal | 30 |
| Tabla 5: Equipo y material empleado para la captación de muestras | 31 |
| Tabla 6: Equipo de protección personal | 32 |
| Tabla 7: Coordenadas geográficas de la PTAR del Campus Central de la URL... 46 | |
| Tabla 8: Tiempo de llenado en el sedimentador primario y secundario | 57 |
| Tabla 9: Anchos de Sedimentadores | 57 |
| Tabla 10: Medidas de instrumentos utilizados para medición de caudal..... | 57 |
| Tabla 11: Resultados de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos | 58 |
| Tabla 12: Cálculo de Caudal | 58 |
| Tabla 13: Promedio de Resultados de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos en la Salida del Sedimentador Primario | 59 |
| Tabla 14: Promedio de Resultados de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos en la Salida del Sedimentador Secundario | 62 |
| Tabla 15: Remoción de Contaminación | 64 |
| Tabla 16: Porcentaje de Remoción de Contaminación | 67 |
| Tabla 17: Eficiencia Requerida en Tratamiento Terciario para Cumplimiento de Acuerdo Gubernativo 236-2006 en las condiciones actuales – Etapa 1 | 69 |
| Tabla 18: Proyección de eficiencias al 75% del Tratamiento Secundario y Terciario Etapa 1 | 69 |
| Tabla 19: Proyección de eficiencias al 80% del Tratamiento Secundario y Terciario Etapa 1 | 69 |
| Tabla 20: Eficiencia Requerida en Tratamiento Terciario para Cumplimiento de Acuerdo Gubernativo 236-2006 en las condiciones actuales – Etapa 2 | 70 |
| Tabla 21: Proyección de eficiencias al 95% del Tratamiento Secundario y Terciario Etapa 2 | 70 |
| Tabla 22: Características de los Agujeros en cada Ramal del Filtro Percolador ... | 70 |
| Tabla 23: Análisis de Ancho Mojado con Datos Prácticos – 2017..... | 70 |
| Tabla 24: Análisis de Ancho Mojado con Datos Tóricos – 2018..... | 70 |

| | |
|---|----|
| Tabla 25: Relación de Ramales Abiertos y Ancho Mojado..... | 71 |
| Tabla 26: Capacidad de la Bomba Solar PS150 BOOST-300..... | 71 |
| Tabla 27: Recirculación con Bomba Solar PS150 BOOST-300 | 71 |
| Tabla 28: Relación de Ancho Mojado con Caudal Recirculado..... | 71 |
| Tabla 29: Relación de Ramales Abiertos y Ancho Mojado con Recirculación | 72 |
| Tabla 30: Relación de Porcentaje de Recirculación y Ancho Mojado con Capacidad de la Bomba | 72 |
| Tabla 31: Relación de Capacidad de la Bomba con Ancho Mojado con Diferente Cantidad de Ramales Abiertos..... | 73 |

ÍNDICE DE GRÁFICAS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1: Cantidad de muestras a tomar..... | 48 |
| Gráfico 2: Variación de DQO en la Salida del Sedimentador Primario..... | 59 |
| Gráfico 3: Variación de DBO en la Salida del Sedimentador Primario | 60 |
| Gráfico 4: Variación de Coliformes Fecales en la Salida del Sedimentador Primario 60 | |
| Gráfico 5: Variación de Temperatura en la Salida del Sedimentador Primario..... | 61 |
| Gráfico 6: Variación de pH en la Salida del Sedimentador Primario | 61 |
| Gráfico 7: Variación de DQO en la Salida del Sedimentador Secundario | 62 |
| Gráfico 8: Variación de DBO en la Salida del Sedimentador Secundario | 63 |
| Gráfico 9: Variación de Coliformes Fecales en la Salida del Sedimentador Secundario | 63 |
| Gráfico 10: Variación de Temperatura en la Salida del Sedimentador Secundario | 64 |
| Gráfico 11: Variación de pH en la Salida del Sedimentador Secundario..... | 64 |
| Gráfico 12: Remoción de DQO..... | 65 |
| Gráfico 13: Remoción de DBO | 66 |
| Gráfico 14: Remoción de Coliformes Fecales | 66 |
| Gráfico 15: Porcentaje de Remoción de DQO..... | 67 |
| Gráfico 16: Porcentaje de Remoción de DBO | 68 |
| Gráfico 17: Porcentaje de Remoción de Coliformes Fecales | 68 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Tipos de tratamiento de aguas residuales..... | 9 |
| Figura 2: Esquema de las subcapas aerobias y anaerobias de un filtro percolador 12 | |
| Figura 3: Etapas de la PTAR de la Universidad Rafael Landívar | 20 |
| Figura 4: Termómetro de queroseno..... | 29 |
| Figura 5: Cronómetro | 29 |
| Figura 6: Potenciómetro | 29 |
| Figura 7: Probeta..... | 29 |
| Figura 8: Equipo para determinación de caudal..... | 30 |
| Figura 9: Equipo para captación de muestras | 31 |
| Figura 10: Equipo de protección personal..... | 32 |
| Figura 11: Determinación del volumen de la cubeta a utilizar | 34 |
| Figura 12: Preparación del equipo de protección personal | 35 |
| Figura 13: Uso del Equipo de Protección Personal..... | 36 |
| Figura 14: Preparación del equipo para captación de muestras | 37 |
| Figura 15: Uso del Equipo para Captación de Muestras | 37 |
| Figura 16: Determinación del caudal de descarga al tratamiento secundario – Método del Flotador | 38 |
| Figura 17: Medición del Tramo para el Uso del Método del Flotador | 39 |
| Figura 18: Uso del Método del Flotador | 39 |
| Figura 19: Determinación del caudal de descarga al tratamiento secundario – Método de toma en cascada | 40 |
| Figura 20: Uso del Método en Toma de Cascada | 41 |
| Figura 21: Determinación del caudal de descarga al tratamiento terciario – Método del Flotador | 42 |
| Figura 22: Determinación del caudal de descarga al tratamiento terciario – Método de toma en cascada | 43 |
| Figura 23: Uso del Método de Cascada | 44 |
| Figura 24: Captación de muestras | 45 |
| Figura 25: Localización de la PTAR de la URL | 46 |
| Figura 26: Puntos de Muestreo | 49 |

ÍNDICE DE FÓRMULAS

| | |
|---|----|
| Fórmula 1: Cantidad de muestras necesarias | 47 |
| Fórmula 2: Promedio | 51 |
| Fórmula 3: Remoción | 51 |
| Fórmula 4: Porcentaje de remoción | 52 |
| Fórmula 5: Cantidad de Diámetros de Cubeta que caben en la Parte Funcional de la Salida del Sedimentador Primario | 52 |
| Fórmula 6: Caudal de Salida del Sedimentador Primario..... | 53 |
| Fórmula 7: Cantidad de Anchos de Pala que caben en la Parte Funcional de la Salida del Sedimentador Primario | 53 |
| Fórmula 8: Caudal de Salida del Sedimentador Secundario | 54 |
| Fórmula 9: Ancho Mojado con Corrección | 54 |
| Fórmula 10: Ancho Mojado con Corrección | 55 |
| Fórmula 11: Ancho Mojado por Cantidad de Ramales Abiertos..... | 55 |
| Fórmula 12: Porcentaje de Recirculación..... | 56 |
| Fórmula 13: Caudal con Recirculación..... | 56 |

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente estudio se realizó una evaluación del tratamiento secundario actual en la planta de tratamiento de aguas residuales del Campus Central de la Universidad Rafael Landívar, con el objetivo de determinar la remoción de carga microbiana en la descarga hacia el tratamiento terciario. Esto debido a que debe conocerse si el tratamiento biológico realizado disminuye la contaminación microbiana lo suficiente como para cumplir con el límite máximo permisible de coliformes fecales en aguas residuales vertidas al Río Contreras, después de pasar por el tratamiento químico; tomando como base la segunda etapa del Acuerdo Gubernativo 236-2006 de la República de Guatemala, donde se establece que dicho límite es de 1×10^5 NMP/100mL.

Por lo anterior, se realizaron ocho muestreos de agua residual en dos puntos diferentes de la planta de tratamiento de aguas residuales, en estación seca. El primer punto fue la salida del sedimentador primario 1, en el que se tomaron cuatro muestras ya que se buscaba captar el agua residual antes de ingresar al tratamiento secundario. Asimismo, el segundo punto, en el que también se realizaron cuatro muestreos, fue la salida del sedimentador secundario 1 puesto que permitía analizar la carga contaminante después de pasar por todo el tratamiento biológico.

En cada muestreo se analizaron los parámetros fisicoquímicos más representativos en este tipo de sustancia; siendo estos DBO, DQO, pH y temperatura; mientras que, para los parámetros microbiológicos, se determinó la concentración de coliformes fecales. Con estos datos, se buscó calcular la eficiencia de remoción microbiana.

Se determinó que, con un nivel de confianza del 90%, el tratamiento secundario actual de la planta de tratamiento de aguas residuales, en estación seca, tiene una eficiencia de remoción microbiana media del 50.67%, eliminando 1.15×10^7 NMP/100mL de coliformes fecales. Vertiendo en promedio 1.18×10^7 NMP/100mL al tratamiento terciario que, con un 36.99% de eficiencia de remoción media, descarga una carga contaminante de 7.42×10^6 NMP/100mL hacia el Río Contreras incumpliendo con lo establecido en la segunda etapa del Acuerdo Gubernativo 236-2006 de la República de Guatemala.

Posterior al análisis de resultados se plantean algunas soluciones para ser tomadas en consideración y que de esta forma se pueda llevar a cumplimiento dicho acuerdo.

Palabras Clave: coliformes fecales, filtro percolador, planta de tratamiento de aguas residuales, tratamiento secundario.

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) cada vez toman más importancia a nivel industrial, debido a la necesidad del cumplimiento con el Acuerdo Gubernativo 236-2006. La Universidad Rafael Landívar no es la excepción, por lo que cuenta con una PTAR en sus instalaciones, la cual inició operaciones en el 2011 y tiene una proyección de vida útil hasta el 2039.

La PTAR de la Universidad Rafael Landívar trata el agua que desembocará en el Río Contreras, por lo que debe evitarse que esta se encuentre fuera de límites permisibles para evitar causar daños irreversibles al cuerpo acuífero y a los animales que se encuentren ahí.

El funcionamiento de la PTAR de la Universidad Rafael Landívar aprovecha el terreno en el que fue construida, funcionando totalmente por gravedad; reflejándose en un costo nulo en cuanto a energía eléctrica, buscando mantener este camino. Por tal motivo, se dificulta mejorar su eficiencia, ya que estas deberán realizarse aprovechando la caída de las aguas residuales o aprovechando algún otro medio natural; siempre excluyendo la posibilidad de utilizar aparatos alimentados con energía eléctrica.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la eficiencia de remoción microbiana del tratamiento biológico de la PTAR, a manera de determinar si se cumple con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 y, en caso de que esto no ocurra, plantear nuevas soluciones que podrán complementar a las brindadas en investigaciones anteriores.

Se determinó que el porcentaje de remoción de contaminación microbiana en el tratamiento secundario es de 50.67%, siendo considerablemente bajo; debido a que los microorganismos en el filtro percolador no llevan a cabo sus funciones de manera óptima por falta de nutrientes, ya que el flujo en cada ramal no propicia condiciones óptimas para que dichos nutrientes lleguen a estos microorganismos.

Después de realizar los análisis, se comprobó que el Acuerdo Gubernativo 236-2006 en su segunda etapa no se cumple, por lo que se plantean soluciones que ayuden a la mejora de la eficiencia del tratamiento biológico; tales como utilizar válvulas en cada ramal del filtro percolador y recircular el agua que sale de dicho filtro, mediante el uso de una bomba solar.

1.1. LO ESCRITO SOBRE EL TEMA

Aguilar (2008) realizó un informe en el que se detallan los lineamientos para construir la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar. Para ello, se determinó el origen de las aguas a tratar y se llevó a cabo una caracterización de estas, logrando determinar su calidad. Todo ello con el objetivo de cumplir con los parámetros especificados por el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

Asimismo, se determinó que para el 2008, se contaba con una población universitaria de 13,600, contando estudiantes y personal; teniendo un uso de agua de 6.29 litros por segundo. De tal manera, de acuerdo con la proyección de Aguilar, puede afirmarse que para el año 2039, la población en la Universidad Rafael Landívar ascenderá a 21,700 personas, con un consumo máximo de 12.85 litros por segundo. Cabe mencionar que la capacidad máxima a tratar de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar es de 26.88 litros por segundo.

Recinos y Barrios (2010) llevaron a cabo, como trabajo de graduación, una investigación en la que brindan información sobre los procesos de tratamiento, muestreo, procedimientos, instrumentación y medidas de seguridad necesarias para llevar a cabo dichos muestreos.

Con ello, se buscó estandarizar procedimientos simples de aplicar para que los estudiantes que realicen estudios en dicha planta de tratamiento puedan aprenderlos y aplicarlos de manera sencilla. En el documento se concluye que es la primera guía de su tipo en Guatemala, por lo que se recomienda realizar más estudios en la PTAR para complementar y mejorar la información descrita en este documento.

Lemus y Recinos (2015) indican en su estudio que el funcionamiento del sistema de tratamiento de la PTAR de la Universidad Rafael Landívar es deficiente por algunos procesos erróneos referentes al mantenimiento, infraestructura y al heterogéneo caudal de que la planta recibe constantemente, resultando en un efluente que pone en riesgo la salud de los seres humanos.

Dicho estudio fue realizado con el objetivo de reusar el efluente de la PTAR de la Universidad Rafael Landívar en riego de jardines; sin embargo, por la conclusión a la que se llegó (mencionada en el párrafo anterior), esto no es posible. Por tal motivo, se recomienda mejorar la eficiencia de remoción de los contaminantes, dando más mantenimiento a la planta y mejorando los procesos actuales.

Lo anterior se debe a que la cantidad de coliformes fecales que salen del sedimentador secundario es de 6.66×10^6 NMP/100mL; siendo este superior al permitido en el Acuerdo Gubernativo 236-2006, en el que su límite máximo permisible es de 1×10^3 NMP/100mL.

De León (2017), en su tesis de grado, propone una mejora de los filtros percoladores de la PTAR de la Universidad Rafael Landívar; esto con el objetivo de incrementar la eficiencia del tratamiento secundario de dicha planta. Por tal motivo, se realizó un análisis de los parámetros fisicoquímicos para un solo filtro percolador y se determinó que la calidad del agua es eficiente; sin embargo, el sistema de aspersión no está trabajando de manera correcta.

Por esto último, se recomienda cambiar los ramales actuales para que cumplan con las especificaciones de diseño, teniendo 15 agujeros, de un diámetro de 1/8", cada uno.

García (2017), en su trabajo de graduación analiza la PTAR de la Universidad Rafael Landívar, con un enfoque en el tratamiento terciario, concluyó, con base a los resultados obtenidos para coliformes totales en el agua tratada, que se descarga al Río Contreras, que los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 se sobrepasan, con una cantidad de 6.51×10^6 NMP/100mL; razón por lo que no se cumple con la normativa establecida.

Por tal motivo, recomienda evaluar la factibilidad económica y técnica de las propuestas planteadas -colocar placas inclinadas en el tratamiento primario y recircular el efluente del tratamiento secundario al filtro percolador-, así como realizar estudios de las eficiencias de los tratamientos primario y secundario de la PTAR.

1.2. RESUMEN CRÍTICO DEL MARCO TEÓRICO

1.2.1. Aguas residuales

Se define como agua residual a aquellas aguas que, después de ser utilizadas por personas para diferentes actividades, poseen contaminantes, productos agresivos y microorganismos patógenos. Motivo por el que se considera que no puede emplearse para consumo humano o animal, ni para riego o mantenimiento de ecosistemas. (Asociación Vivamos Mejor, 2017)

Las aguas residuales son fuente de contaminación de distintos cuerpos de agua, tales como ríos, lagos, lagunas, entre otros; causando diversos problemas a la salud de las poblaciones y deteriorando sus recursos naturales. Pueden llegar a producir enfermedades como diarrea, el cólera, fiebre tifoidea, amebas, hepatitis, etc. (Asociación Vivamos Mejor, 2017)

Las aguas residuales pueden dividirse en tres categorías; siendo estas domésticas, industriales y urbanas. Las aguas residuales domésticas proceden de zonas de vivienda y servicios, generadas sobre todo por el metabolismo humano y actividades cotidianas; a su vez, las aguas residuales industriales son todas aquellas vertidas desde locales utilizados para cualquier actividad comercial o industrial; finalmente, las aguas residuales urbanas son la mezcla de las aguas residuales domésticas e industriales que pueden contener aguas de escorrentía pluvial. (Alianza por el Agua, 2008)

Adicional a lo anterior, pueden encontrarse las aguas blancas, provenientes de la atmósfera o del riego y limpieza de calles; y las aguas residuales agrícolas, procedentes de las labores agrícolas en las zonas rurales. (Espigares y Pérez, s.f.)

1.2.2. Carga de contaminantes

Se define la carga contaminante como el resultado de multiplicar el caudal promedio por la concentración de la sustancia contaminante; expresándose, generalmente, en kilogramos por día. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la República de Colombia, 2003)

1.2.3. Calidad del agua

La calidad del agua es un término empleado para describir las características químicas, físicas y biológicas del agua; siendo este dependiente del uso que se le dará. (Servicio Geológico de los Estados Unidos, 2017)

La calidad del agua es función tanto de la fuente como de su potencial de uso; por lo que la calidad de un cuerpo de agua puede estar definida no sólo en términos de las características y requerimientos del sistema hídrico que suministra el agua, sino también de acuerdo con los requisitos exigidos a los efluentes que se descargan en el cuerpo receptor. (Chang, s.f.)

Adicionalmente, puede afirmarse que la calidad de cualquier masa de agua depende tanto de factores naturales como de la acción humana; siendo el primer término determinado por la erosión del substrato mineral, los procesos atmosféricos de evapotranspiración y sedimentación de lodos y sales, la lixiviación natural de la materia orgánica y los nutrientes del suelo por los factores hidrológicos, y los procesos biológicos en el medio acuático que pueden alterar la composición física y química del agua. (Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, 2014)

Por lo general, la calidad del agua se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra de agua con unas directrices de calidad del agua o estándares. El deterioro de la calidad del agua se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial con el crecimiento de la población humana, la expansión de la actividad industrial y agrícola y la amenaza del cambio climático como causa de importantes alteraciones en el ciclo hidrológico. (Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, 2014)

El impacto humano en los sistemas acuíferos ha generado problemas de control de calidad de agua, causando que microorganismos patógenos invadan los suministros de agua potables y propaguen diferentes enfermedades en los habitantes que tienen contacto con este líquido. Debido al crecimiento poblacional, se hace necesario un mayor trabajo en el sector agrícola, por lo que se emplea una mayor cantidad de fertilizante, resultando en exceso de nitrógeno y fósforo en el agua superficial y subterránea; siendo un problema, pues son nutrientes para plantas como las algas, causantes de la eutrofización, afectando de manera negativa la calidad del agua. (Servicio Geológico de los Estados Unidos, 2017)

En términos de acuicultura, cualquier característica que afecte la supervivencia, reproducción, crecimiento o manejo de especies acuáticas, es una variable de calidad de agua. (Chang, s.f.)

1.2.4. Caracterización de aguas residuales

La caracterización de las aguas residuales es fundamental para determinar si esta se encuentra en condiciones de utilizarse para algún proceso o está lista para ser desechada a un cuerpo de agua. Generalmente, esto no ocurre, por lo que la caracterización es esencial para plantear el tratamiento al que las aguas residuales deben someterse, considerando ciertos parámetros que permitirán su disposición final.

Existen cuatro grupos de parámetros para la caracterización de aguas residuales; siendo estos los físicos, químicos, biológicos y radiológicos. Dentro de los parámetros físicos, se encuentran el sabor, olor, color, turbidez, conductividad y resistividad. Los parámetros químicos se encuentran representados por el pH, dureza, alcalinidad, coloides, acidez mineral, sólidos disueltos, sólidos en suspensión, sólidos totales, residuo seco, cloruros, sulfatos, nitratos, fosfatos, fluoruros, sílice, bicarbonatos, carbonatos, sodio, potasio, calcio, magnesio, hierro, metales tóxicos y gases disueltos. A su vez, los parámetros biológicos son la demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y el carbón orgánico total. (Payeras, 2011)

El sabor y olor son parámetros que deben determinarse de manera organoléptica, por lo que son subjetivos y no se emplean instrumentos registros ni unidades de medidas; sin embargo, tienen un interés evidente en las aguas potables dedicadas al consumo humano. El color es la capacidad de absorber ciertas radiaciones del espectro visible; es importante para la apariencia del agua, sobre todo cuando esta es potable, aunque no es un factor para determinar que su calidad sea baja; suele medirse en ppm de Pt, pudiendo mejorar este parámetro con una coagulación-floculación con una posterior filtración. (Payeras, 2011)

La turbidez se define como la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos. Puede medirse mediante una comparación con la turbidez inducida por diversas sustancias; tales como el dióxido de sílice, célula fotoeléctrica y turbidímetros. La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad y la resistividad es la medida recíproca. Son indicativas de la materia ionizable presente en el agua; el agua pura prácticamente no conduce la electricidad, por lo tanto, la conductividad que puede medirse es consecuencia de las impurezas presentes en el agua. Para su determinación, se emplea un conductímetro; la resistividad se mide por MegaOhm por cm y la conductividad en microsiemens por cm. (Payeras, 2011)

En cuanto a parámetros químicos, puede encontrarse el pH que es la medida de la concentración de iones hidrógeno en una solución, indicando qué tan ácida o alcalina es esta. La dureza en las aguas residuales se debe a la presencia de sales de calcio y magnesio, indicando la capacidad de un agua para producir

incrustaciones; generalmente se mide en ppm de carbonato de calcio. (Payeras, 2011)

Los sólidos disueltos, también conocidos como salinidad total, son una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua. Los sólidos en suspensión son sólidos sedimentables, no disueltos, que pueden retenerse mediante una filtración. Los sólidos totales son la suma de los sólidos disueltos y en suspensión; todos se miden en ppm. (Payeras, 2011)

Los parámetros biológicos son indicativos de la contaminación orgánica y biológica, ocasionada tanto por la actividad natural como la humana. El carbón orgánico total es una medida del contenido de materia orgánica del agua; especialmente utilizable en pequeñas concentraciones. (Payeras, 2011)

1.2.5. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La demanda bioquímica de oxígeno se emplea para medir la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica biodegradable presente en la muestra de agua y como resultado de la acción de oxidación bioquímica aerobia. La demanda de oxígeno de las aguas residuales es resultado de tres tipos de materiales: 1) materiales orgánicos carbónicos, usados como fuente de alimentación por organismos aeróbicos; 2) nitrógeno oxidable, derivado de la presencia de nitritos, amoníaco y compuestos orgánicos nitrogenados que sirven de alimento a bacterias específicas; y 3) compuestos químicos reductores como ion ferroso, sulfitos y sulfuros que se oxidan por oxígeno disuelto. (Ramalho, 1993)

1.2.6. Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno corresponde al volumen de oxígeno requerido para oxidar la fracción orgánica de una muestra susceptible a la oxidación por dicromato o permanganato, en medio ácido. Debe considerarse que la oxidación que se lleve a cabo en un laboratorio de ensayos o análisis de DQO no corresponderá a la estequiométrica. (Ramalho, 1993)

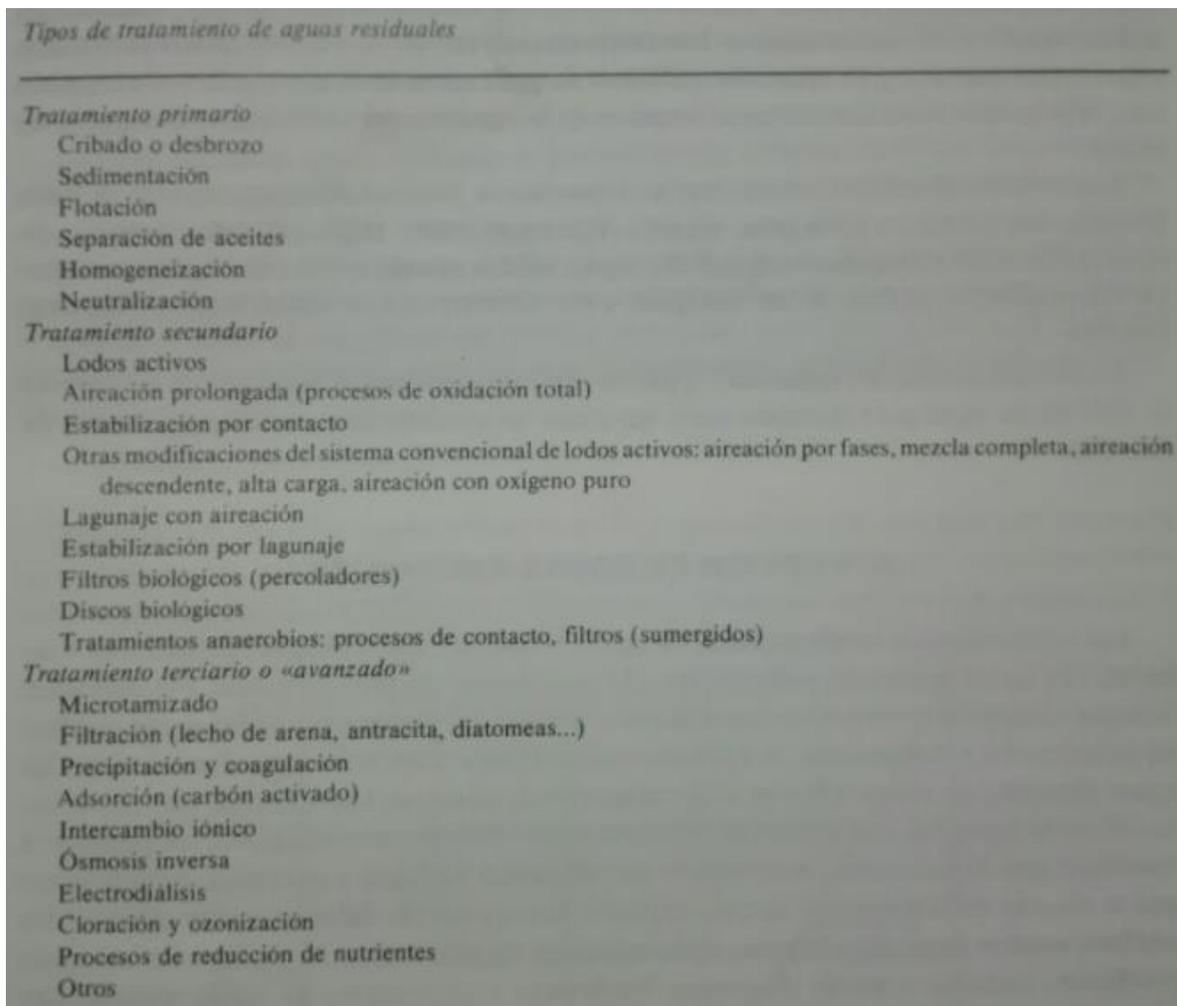
1.2.7. Descripción de una planta de tratamiento de aguas residuales

Una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) es una instalación, cuya función se basa en mejorar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales que provienen de un ente generador; valiéndose de procesos

físicos, biológicos y químicos que retiran los contaminantes del agua, con el fin de evitar daños al ambiente y a la salud de los seres vivos que puedan entrar en contacto con ella. (Russell, 2012)

El grado de tratamiento requerido para un agua residual depende fundamentalmente de los límites de vertido para el efluente. El tratamiento primario se utiliza para la eliminación de sólidos en suspensión y materiales flotantes. El tratamiento secundario se compone de tratamientos biológicos convencionales. El tratamiento terciario tiene como objetivo fundamental eliminar la contaminación que no puede eliminarse en el tratamiento secundario. (Ramalho, 1993)

Figura 1: Tipos de tratamiento de aguas residuales



Fuente: Ramalho (1993)

- **Tratamiento primario:**

El tratamiento primario de aguas residuales consiste en la reducción de sólidos en suspensión o acondicionamiento de las aguas residuales para su descarga hacia el tratamiento secundario mediante una neutralización u homogeneización. (Ramalho, 1993)

Los tipos fundamentales en este tratamiento son el cribado, la sedimentación, la flotación, la neutralización y homogeneización.

- Cribado:

Este tipo de tratamiento se emplea para la reducción de sólidos en suspensión de tamaños distintos. La distancia de las rejillas dependen del objetivo de remoción de estos sólidos. La remoción puede realizarse de manera manual o mecánica y deben eliminarse por incineración, procesos de digestión anaerobia o enviarlos a un vertedero. (Ramalho, 1993)

- Sedimentación:

Este tratamiento es utilizado para la separación de sólidos en suspensión, basándose en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido donde se encuentran. Existen tres tipos de sedimentación; siendo estos la discreta, con floculación y por zonas.

- Flotación:

Este proceso consiste en separar sólidos de baja densidad o partículas líquidas de una fase líquida, llevando a cabo dicha separación mediante la adición de un gas (generalmente aire) en la fase líquida, generando burbujas, sometiéndose así a un proceso de presurización para alcanzar una presión que consiga la saturación en aire del agua. Posterior a ello, este líquido saturado de aire es sometido a un proceso de despresurización llevándolo hasta la presión atmosférica, formando pequeñas burbujas de aire que se desprenden de la solución, causando que los sólidos en suspensión floten hacia la superficie, pudiendo separarse por procesos mecánicos.

- Neutralización y homogeneización:

El proceso de neutralización se emplea en tres casos específicos:

- Antes de la descarga de aguas residuales en un medio receptor, ajustando el pH a 7.
- Antes de la descarga de aguas residuales industriales al alcantarillado municipal, puesto que es más económico.
- Antes del tratamiento químico o biológico, pues los microorganismos sobreviven en un intervalo de pH de entre 6.5 y 8.5; al salirse de este rango, el proceso podría dejar de funcionar.

El proceso de homogeneización es utilizado para ayudar a conseguir la neutralización, pues supone la mezcla de las corrientes de aguas residuales ácidas y alcalinas en un tanque de homogeneización. Asimismo, puede emplearse para aminorar las variaciones de ciertas corrientes de aguas residuales y reducir las variaciones de la DBO del afluente a los sistemas de tratamiento.

• **Tratamiento secundario:**

El tratamiento secundario se refiere a todos los procesos biológicos de las aguas residuales tanto aerobias como anaerobias. Los tipos más importantes son la aireación prolongada, lagunas aireadas, balsas de estabilización, filtros percoladores, biodiscos y tratamiento anaerobio. (Ramalho, 1993)

- Aireación prolongada:

Este proceso, conocido también como oxidación total, busca la disminución de la cantidad de lodo residual, aumentando el tiempo de residencia; logrando así que el volumen del reactor sea comparativamente mayor que el requerido en el proceso convencional de lodos activos, teniendo como consecuencia que todos los lodos degradables formados se consuman mediante respiración endógena.

- Lagunas aireadas:

Las lagunas aireadas consisten en balsas con profundidades de 1 a 4 metros en las que la oxigenación de las lagunas residuales se realiza mediante unidades de aireación superficial, con turbinas o difusores.

- Balsas de estabilización:

En este proceso no se utiliza un equipo de aireación, puesto que el oxígeno necesario en las balsas es obtenido de la superficie natural de aireación y de las algas que producen oxígeno por fotosíntesis. El oxígeno liberado por las algas es usado por las bacterias para la degradación aerobia de la materia orgánica, mientras que los productos de dicha degradación (dióxido de carbono, amoníaco y fosfatos) se aprovechan por las algas, ocasionando una relación simbiótica cíclica.

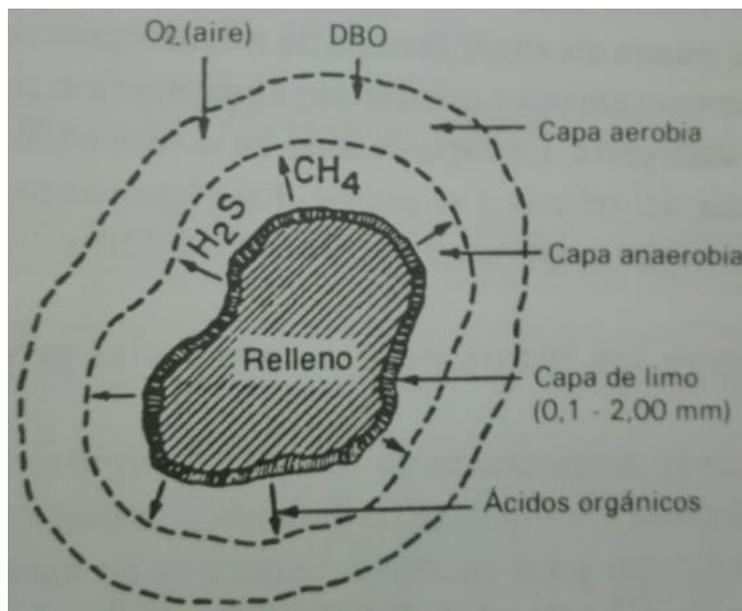
- Filtros percoladores:

Los filtros percoladores pertenecen al grupo de reactores de crecimiento biológico asistido, pues es un relleno cubierto de limo biológico a través del cual se percola el agua residual, distribuyéndose en forma de pulverización uniforme sobre el lecho del relleno mediante un distribuidor rotativo de flujo.

Figura

Esquema de las subcapas aerobias y anaerobias de un filtro percolador

2:



Fuente: Ramalho (1993)

El espesor de la subcapa aerobia es función del caudal de agua residual aplicado y de su DBO, por lo que, mientras mayor sea el DBO del afluente, menor será el espesor de la subcapa aerobia, ya que se presenta un consumo más rápido de oxígeno. A su vez, un caudal elevado favorece el mantenimiento de una capa aerobia espesa, debido al oxígeno disuelto suministrado con el afluente pulverizado.

- Biodiscos:

Los biodiscos son sistemas desarrollados para obtener el tratamiento biológico aerobio de las aguas residuales. La biomasa se presenta simultáneamente en la forma de crecimiento asistido y de crecimiento en suspensión.

- Tratamiento anaerobio:

Este tratamiento es empleado tanto para las aguas residuales como para la digestión de los lodos; teniendo como productos finales gases, tales como metano, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, mercaptanos e hidrógeno. El proceso comprende dos etapas, siendo estas fermentación ácida y fermentación metánica.

Factores que Afectan la Eficiencia del Tratamiento Secundario

Son diversos los factores que afectan la eficiencia del tratamiento secundario de una planta de tratamiento de aguas residuales; estando la mayoría relacionados con las bacterias que llevarán a cabo el proceso de eliminación de residuos. Por tal motivo, el pH (menor a 6 o mayor a 8.5) reducirá la eficiencia del tratamiento secundario, puesto que las bacterias irán muriendo a estar en condiciones fuera de su rango óptimo. Asimismo, los nutrientes juegan un papel fundamental en el desempeño de las bacterias en el tratamiento secundario, pues al tener ausencia de nitrógeno o fósforo, estas no serán capaces de reproducirse e incluso podrían inactivarse las bacterias ya presentes en el proceso. (Valter, et. al., 1990)

El tiempo que se le dé a las bacterias al iniciar el proceso es fundamental, puesto que tomará un promedio de 3 meses para que los resultados comiencen a notarse; antes de este período, las bacterias no se habrán reproducido lo suficiente y no estarán suficientemente maduras para realizar el proceso adecuadamente. La temperatura es otro factor esencial; puesto que si esta es muy baja para las bacterias existentes se inhibirá su crecimiento, pero si es demasiado alta, podrían llegar a morir. (Valter, et. al., 1990)

La ausencia o presencia de oxígeno puede beneficiar o dañar a las bacterias, ya que, en un proceso aerobio, este gas debe existir; mientras en un proceso anaerobio, debe tenerse ausencia completa de este. Finalmente, los metales pesados deben evitarse, ya que podrían causar la muerte de todas las bacterias, ocasionando que la eficiencia del proceso secundario sea prácticamente nula. (Valter, et. al., 1990)

Grupo Coliforme

Se han identificado 954 bacterias procedentes de las Pruebas Confirmadas de la Técnica NMP para Coliformes totales y Fecales en aguas superficiales y subterráneas, sin tratamiento; en donde la *Escherichia coli* es la más se aísla en este tipo de aguas, por lo que es la más representativa en el intestino de los animales de sangre caliente. (Mora, Et. Al., 1990)

El grupo coliforme indica que las bacterias deben ser aerobias o anaerobias facultativas, bacilos Gram negativos y no esporógenas. La presencia de la bacteria *Escherichia coli* puede interpretarse como evidencia de que el agua se encuentra contaminada con materia fecal, siendo la población de estas bacterias proporcional al grado de contaminación, ya que el 93% de las bacterias de un gramo de materia fecal son *E. Coli*. (Mora, Et. Al., 1990)

- **Tratamiento terciario:**

El tratamiento terciario es la serie de procesos destinados a conseguir una calidad del efluente superior a la del tratamiento secundario convencional. Los tipos de tratamientos terciarios más importantes son la separación de sólidos en suspensión, adsorción de carbón activo, intercambio iónico y eliminación de nutrientes. (Ramalho, 1993)

- Separación de sólidos en suspensión:

Ya que los sólidos en suspensión, que no han sido removidos en el tratamiento primario ni secundario, pueden constituir parte importante de la DBO de los efluentes de las PTAR, se dispone de una serie de pasos para la eliminación de dichos sólidos; siendo estos el microtamizado, la filtración y coagulación.

- Adsorción de carbón activo:

La adsorción es la concentración de un soluto en la superficie de un sólido, teniendo lugar al colocar una superficie en contacto con una solución; ocasionando que una capa de moléculas de soluto se acumulen en la superficie del sólido debido al desequilibrio de las fuerzas superficiales.

- Intercambio iónico:

En este proceso los iones que se mantienen unidos a grupos funcionales sobre la superficie de un sólido por fuerzas electrostáticas se intercambian por iones de una especie diferente en disolución. Esto es importante, puesto que la desmineralización completa puede alcanzarse mediante intercambio iónico.

- Eliminación de nutrientes:

Los nutrientes a eliminar en este proceso son el fósforo y nitrógeno, puesto que juegan un papel crítico en la eutrofización; siendo el más crítico el fósforo y, a su vez, el más económico de tratar. Este compuesto puede eliminarse mediante precipitación química, proceso de lodos activos, balsas de estabilización, ósmosis inversa y electrodiálisis.

1.2.8. Importancia del tratamiento de las aguas negras

Las aguas residuales son el resultado de la combinación que existe entre las aguas utilizadas en las industrias, hogares, comercios, instituciones y actividades ganaderas, a las que se les adicionan las aguas pluviales y subterráneas. Este tipo de aguas también son conocidas como aguas negras al momento de contener materia fecal. (Marketing Perú, 2017)

El tratamiento de este tipo de aguas se hace necesario por diversas razones; siendo la principal el defender la salud de las personas y conservar el medio ambiente. Asimismo, se busca permitir a las personas contar con una mayor cantidad de agua potable, reducir costos de energía, reducir los malos olores que estas generan, reducir la posibilidad de contraer enfermedades al entrar en contacto con ellas.

1.2.9. Marco legal del tratamiento de aguas residuales en Guatemala

La República de Guatemala posee dos regulaciones referentes al tratamiento de aguas residuales. La primera de ellas es el Código de Salud, que se encuentra en el Decreto 90-97, en donde se asigna la responsabilidad del tratamiento de aguas residuales al ente generador de las mismas antes de llevar a cabo su descarga.

En la Sección III de dicho documento, titulada "De la eliminación y disposición de excretas y aguas residuales", en el Artículo 92, "Dotación de servicios", se indica que cualquier establecimiento público o privado deberá dotar o promover la instalación de sistemas adecuados para la eliminación sanitaria de excretas, y el

tratamiento de aguas residuales y aguas servidas, así como del mantenimiento de dichos sistemas conforme a la ley y los reglamentos respectivos.

En el Artículo 94, "Normas sanitarias" se especifica que el Ministerio de Salud, junto a otras instituciones dentro del ámbito de competencia, se encargarán de establecer normas sanitarias que regulen la construcción de obras para la eliminación y disposición de excretas y aguas residuales.

Asimismo, en el Artículo 97, denominado "Descarga de aguas residuales", se indica que queda prohibida la descarga de contaminantes de origen industrial, agroindustrial y el uso de aguas residuales que no hayan sido tratadas sin previo dictamen favorable del Ministerio de Salud, CONAMA y el Consejo Municipal. En este mismo artículo se indica que se prohíbe la descarga de aguas residuales no tratadas a ríos, lagos, riachuelos, lagunas o cualquier cuerpo de agua, sea superficial o subterráneo.

Adicionalmente, en el Artículo 98, "Autorización de licencias", se detalla cómo para extender las licencias de construcción de obras destinadas a la eliminación o disposición de excretas o aguas residuales, las municipalidades deberán obtener, previamente, el dictamen favorable del Ministerio de Salud.

Por su parte, el Acuerdo Gubernativo 236-2006, llamado "Reglamento de las Descargas y Reúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos", tiene como objetivo establecer los criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reúso de aguas residuales, así como para la disposición de lodos.

Dicho reglamento debe ser aplicado por los entes generadores de aguas residuales. Por tal motivo, en el Artículo 5, referente al estudio técnico, se indica que todo ente generador de aguas residuales que se vierten o no a un cuerpo receptor o alcantarillado público, tiene la obligación de preparar un estudio avalado por técnicos en la materia a efecto de caracterizar efluentes, descargas, aguas para reúso y lodos.

En los artículos del 13 al 15 se indica que debe realizarse una caracterización del afluente y efluente, tanto de las aguas para reúso como de los lodos y adjuntar los resultados al estudio técnico.

El Artículo 16 indica los parámetros de medición para determinar las características de las aguas residuales; siendo estos la temperatura, pH, grasas y aceites, materia flotante, sólidos suspendidos totales, DBO, DQO, nitrógeno total, fósforo total, arsénico, cadmio, cianuro total, cobre, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, zinc, color y coliformes fecales.

El Artículo 17 muestra cómo, de manera progresiva, debe irse disminuyendo la Demanda Bioquímica de Oxígeno de las aguas residuales que sean descargadas a un cuerpo receptor.

Tabla 1: Reducción progresiva de DBO

| | | | | | |
|------------------------------|-------------------------------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|
| Etapa | Uno | | | | |
| Fecha máxima de cumplimiento | Dos de mayo de dos mil once | | | | |
| Duración, años | 5 | | | | |
| Carga, kilogramos por día | 3000≤EG<6000 | 6000≤EG<12000 | 12000≤EG<25000 | 25000≤EG<50000 | 50000≤EG<250000 |
| Reducción porcentual | 10 | 20 | 30 | 35 | 50 |
| Etapa | Dos | | | | |
| Duración, años | 4 | | | | |
| Fecha máxima de cumplimiento | Dos de mayo de dos mil quince | | | | |
| Carga, kilogramos por día | 3000≤EG<5500 | 5500≤EG<10000 | 10000≤EG<30000 | 30000≤EG<50000 | 50000≤EG<125000 |
| Reducción porcentual | 10 | 20 | 40 | 45 | 50 |
| Etapa | Tres | | | | |
| Fecha máxima de cumplimiento | Dos de mayo de dos mil veinte | | | | |
| Duración, años | 5 | | | | |
| Carga, kilogramos por día | 3000≤EG<5000 | 5000≤EG<10000 | 10000≤EG<30000 | 30000≤EG<65000 | |
| Reducción porcentual | 50 | 70 | 85 | 90 | |
| Etapa | Cuatro | | | | |
| Fecha máxima de cumplimiento | Dos de mayo de dos mil veinticuatro | | | | |
| Duración, años | 4 | | | | |
| Carga, kilogramos por día | 3000<EG<4000 | | | 4000≤EG<7000 | |
| Reducción porcentual | 40 | | | 60 | |

EG = carga del ente generador correspondiente, en kilogramos por día.

Fuente: Acuerdo Gubernativo 236-2006 (2006)

En el Artículo 20 pueden apreciarse los parámetros fisicoquímicos establecidos en el Acuerdo; así como los límites máximos permisibles de descarga de aguas residuales a cuerpos receptores.

Tabla 2: Límites máximos permisibles

| Parámetros | Dimensionales | Valores iniciales | Fecha máxima de cumplimiento | | | |
|------------------------|--|-------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| | | | Dos de mayo de dos mil once | Dos de mayo de dos mil quince | Dos de mayo de dos mil veinte | Dos de mayo de dos mil veinticuatro |
| | | | Etapa | | | |
| | | | Uno | Dos | Tres | Cuatro |
| Temperatura | Grados Celsius | TCR +/- 7 | TCR +/- 7 | TCR +/- 7 | TCR +/- 7 | TCR +/- 7 |
| Grasas y aceites | Miligramos por litro | 1500 | 100 | 50 | 25 | 10 |
| Materia flotante | Ausencia/presencia | Presente | Ausente | Ausente | Ausente | Ausente |
| Sólidos suspendidos | Miligramos por litro | 3500 | 600 | 400 | 150 | 100 |
| Nitrógeno total | Miligramos por litro | 1400 | 100 | 50 | 25 | 20 |
| Fósforo total | Miligramos por litro | 700 | 75 | 30 | 15 | 10 |
| Potencial de hidrógeno | Unidades de potencial de hidrógeno | 6 a 9 | 6 a 9 | 6 a 9 | 6 a 9 | 6 a 9 |
| Coliformes fecales | Número más probable en cien mililitros | $< 1 \times 10^6$ | $< 1 \times 10^6$ | $< 1 \times 10^5$ | $< 1 \times 10^4$ | $< 1 \times 10^4$ |
| Arsénico | Miligramos por litro | 1 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| Cadmio | Miligramos por litro | 1 | 0.4 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| Cianuro total | Miligramos por litro | 6 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| Cobre | Miligramos por litro | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 |
| Cromo hexavalente | Miligramos por litro | 1 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| Mercurio | Miligramos por litro | 0.1 | 0.1 | 0.02 | 0.02 | 0.01 |
| Níquel | Miligramos por litro | 6 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| Plomo | Miligramos por litro | 4 | 1 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| Zinc | Miligramos por litro | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Color | Unidades platino cobalto | 1500 | 1300 | 1000 | 750 | 500 |

TCR = temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius.

Fuente: Acuerdo Gubernativo 236-2006 (2006)

1.2.10. Planta de tratamiento de aguas residuales del Campus Central de la Universidad Rafael Landívar

En el año 2008, las autoridades de la Universidad Rafael Landívar se vieron en la necesidad de instalar un sistema de tratamiento de aguas residuales para tratar la contaminación generada en el Campus Central de la universidad, con el objetivo de cumplir con las normativas ambientales de Guatemala. (Aguilar, 2008)

Por lo anterior, con base en datos proporcionados por el Departamento de Mantenimiento de la Universidad Rafael Landívar, en el año 2009 comenzó la construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, considerando la población estudiantil, docente y administrativa con que se contaba en ese momento (13,600 personas), y realizando una proyección hasta el 2039. (García, 2017)

Basándose en la demanda que se tendría 30 años después de instalada la planta, se estimó que el caudal medio de agua residual que se descargaría al Río Contreras estaría en un rango entre 8.10L/s y 10.80L/s. (Aguilar, 2008)

La PTAR del Campus Central de la Universidad Rafael Landívar cuenta con tres tipos de tratamientos y un total de nueve pasos, como se observa en la Figura 3.

La primera etapa corresponde al tratamiento físico, que consta de tres pasos; siendo estos el canal de excedencias, desarenador y sedimentador primario. Así, el canal de excedencias cumple con la función de evitar que caudales ilícitos por agua de lluvia ingresen a la PTAR y deterioren el tratamiento, enviando el excedente a la descarga del sistema de tratamiento. En el desarenador, también llamado canal de rejas, se evita el ingreso de sólidos inorgánicos en suspensión mayores a 1" y cuenta con canales donde se depositan las arenas por proceso de sedimentación. Finalmente, en el sedimentador primario, todas las partículas orgánicas sedimentables son depositadas en el fondo del sedimentador para luego ser trasladadas al digestor de lodos, por lo que el 90% de los lodos se retiran del agua.

En el tratamiento secundario, correspondiente del tratamiento biológico, se cuenta con cuatro pasos; siendo estos: filtro percolador, sedimentador secundario, digestor de lodos y patio de secado de lodos. El filtro percolador es el encargado de realizar el tratamiento biológico aerobio, haciendo pasar el agua a través de un lecho biológico filtrante, en donde microorganismos utilizan la materia orgánica para sus procesos de síntesis. Posteriormente, en el sedimentador secundario, se lleva a cabo la sedimentación de partículas producidas por el filtro biológico, las cuales son depositadas en el fondo del sedimentador para ser trasladadas al digestor de lodos.

El digestor de lodos cumple con el objetivo de digerir los lodos provenientes de los sedimentadores primario y secundario para provocar la transformación de elementos no deseados en lodos mediante un proceso anaeróbico. Finalmente, se

llega al patio de secado de lodos, cuya función es deshidratar lodos mediante acción solar; filtrando el agua contenida en los lodos y evaporándose el resto.

En el tratamiento terciario, también llamado tratamiento químico, se tienen dos etapas; siendo estas la estación de clorificación y la descarga de agua. En la estación de clorificación se purifica el agua por un proceso de clorificación; mientras que, en la descarga de agua, después de 3 días de proceso, el agua se descarga al Río Contreras, habiéndose limpiado, idealmente, un 93%.

Figura 3: Etapas de la PTAR de la Universidad Rafael Landívar



Fuente: Departamento de RSA (2008)

CAPÍTULO II PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La contaminación es un problema que, con el paso del tiempo, crece de manera exponencial; al igual que la población. Esto se debe a que mientras más personas existan, más recursos deben emplearse para que puedan satisfacer sus necesidades, generando contaminación de todo tipo antes, durante y después de dicho proceso. Uno de los recursos más afectados es el agua, pues los cuerpos de este vital líquido, como ríos y lagos, reciben contaminación de fertilizantes, productos de limpieza, desechos del sector industrial e incluso materia fecal, pues las aguas residuales, generalmente, se depositan en el cuerpo de agua más cercano.

Con el objetivo de disminuir la contaminación en el medio ambiente de la República de Guatemala, se han establecido normativas tales como el Acuerdo Gubernativo 236-2006, en el que se indica que los entes generadores de aguas residuales deben proteger los cuerpos de agua de los impactos provenientes de la actividad humana. Por tal motivo, la Universidad Rafael Landívar, en el Campus Central, inició estudios para la implementación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

La construcción de esta planta de tratamiento de aguas residuales comienza en el año 2009 y comienza a operar en el 2011; proceso que, hasta la actualidad, ha tratado las aguas residuales de la mayoría de edificios del Campus Central, a excepción del Tec. Después de su paso por la PTAR, las aguas tratadas desembocan en el Río Contreras, el cual también recibe aguas residuales de otros entes generadores, ubicados en zona 10 y 15 de la Ciudad de Guatemala.

La planta consta de tres fases, siendo la secundaria el tratamiento biológico con piedras volcánicas, actuando como filtros percoladores; con el objetivo de disminuir la carga microbiana y, por ende, la calidad del agua previo a su descarga al tratamiento terciario, en donde se realizaría un tratamiento químico antes de su liberación al Río Contreras. Dicho tratamiento es esencial para disminuir la carga microbiana de las aguas residuales tratadas y así lograr, al final del tratamiento terciario, cumplir con los parámetros establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

Por la necesidad de determinar si el tratamiento biológico realizado en la actualidad, como tratamiento secundario en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Campus Central de la Universidad Rafael Landívar, se efectúa adecuadamente, eliminando microorganismos patógenos que puedan causar daños a la salud de los seres humanos; se realizará la evaluación de dicho procedimiento.

En caso de obtener resultados negativos, se plantearon acciones correctivas, tomando como base trabajos de graduación anteriores y proporcionando nuevas soluciones que puedan complementar o sustituir las anteriores. Esto se hace necesario para tener una mayor cantidad de opciones al momento de tomar acciones para el cumplimiento del acuerdo vigente sobre aguas residuales; ya que las soluciones planteadas pueden ser inclusivas o exclusivas, dependiendo del enfoque de las mejoras a realizar.

El presente estudio también pretende determinar si el tratamiento secundario actual contribuye al cumplimiento de la normativa establecida en el Acuerdo Gubernativo 236-2006. Esto debido a que, pese a tener un tratamiento posterior, en caso de que el tratamiento secundario sea ineficiente, los parámetros establecidos no podrán cumplirse, sin importar qué tan eficiente sea el tratamiento terciario.

De tal manera, se plantea la pregunta: ¿contribuye el tratamiento biológico actual de la planta de tratamiento de aguas residuales del Campus Central de la Universidad Rafael Landívar a que, al final del proceso, se cumpla con los límites microbiológicos máximos permisibles de coliformes fecales que exige el Acuerdo Gubernativo 236-2006? En caso de que esto no ocurra, ¿qué mejoras podrían implementarse en el tratamiento secundario actual para que este descargue agua residual con parámetros permisibles de acuerdo con el Acuerdo Gubernativo 236-2006, al momento de realizar la descarga hacia el Río Contreras?

2.1. OBJETIVOS

2.1.1. Objetivo general

Evaluar el estado actual del tratamiento secundario de la planta de tratamiento de aguas residuales del Campus Central de la Universidad Rafael Landívar durante la estación seca para determinar la remoción de la carga microbiana en la descarga hacia el tratamiento terciario.

2.1.2. Objetivos específicos

1. Determinar cuantitativamente los parámetros de DBO₅, DQO, coliformes fecales, pH y temperatura del agua residual en la salida del tratamiento primario y secundario.
2. Determinar la eficiencia de remoción de carga microbiana del tratamiento secundario de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Campus Central de la Universidad Rafael Landívar.
3. Calcular la eficiencia de remoción microbiana, coliformes fecales, necesaria, del tratamiento terciario, para cumplir con el límite máximo permisible, con base en los parámetros establecidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006, considerando la carga microbiana al final del tratamiento secundario.
4. Plantear mejoras al tratamiento secundario actual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Campus Central de la Universidad Rafael Landívar con base en los datos obtenidos.

2.2. HIPÓTESIS

Con base en información brindada por Arias y Caballeros 3^a. Ed. (2012), en su obra *Guía para realizar trabajos de graduación*, puede afirmarse que la presente investigación no necesita una hipótesis, puesto que se trata de un estudio de caso.

2.3. ELEMENTOS DE ESTUDIO

- a) Carga microbiana en el agua residual al inicio del tratamiento secundario.
- b) Carga microbiana en el agua residual al final del tratamiento secundario.
- c) Parámetros fisicoquímicos del agua residual en el tratamiento secundario.
- d) Caudal de agua residual del tratamiento secundario.
- e) Eficiencia de remoción de carga microbiana en el tratamiento secundario.

2.4. DEFINICIÓN DE LOS ELEMENTOS DE ESTUDIO

- a) Carga microbiana en el agua residual al inicio del tratamiento secundario:

Definición conceptual:

Producto entre el caudal y concentración de un componente determinado en un efluente; se expresa en unidades por día.

Definición operacional:

Cantidad de microorganismos que se encuentran en el agua residual previo a su ingreso hacia el tratamiento secundario (biológico).

Medición: NMP/100mL

- b) Carga microbiana en el agua residual al final del tratamiento secundario:

Definición conceptual:

Producto entre el caudal y concentración de un componente determinado en un efluente; se expresa en unidades por día.

Definición operacional:

Cantidad de microorganismos que se encuentran en el agua residual después de pasar por el tratamiento secundario (biológico).

Medición: NMP/100mL

c) Parámetros fisicoquímicos del agua residual en el tratamiento secundario:

Definición conceptual:

Valor empleado para la determinación de la calidad física y química del agua residual.

Definición operacional:

Características fisicoquímicas que posee el agua residual antes y después del tratamiento secundario. Se consideran el DBO, DQO, pH y temperatura.

Medición:

DBO y DQO: mg/L

pH: -

Temperatura: °C

d) Caudal de agua residual del tratamiento secundario:

Definición conceptual:

Cantidad de un fluido que circula a través de un área determinada con cierta velocidad; midiéndose en metros cúbicos por segundo.

Definición operacional:

Cantidad de agua residual que ingresa y sale del tratamiento secundario, transportándose a una velocidad variable por un área constante. Se medirá en litros por segundo, empleando una cubeta de seis litros y un cronómetro; así como una pelota de ping pong y un metro.

Medición: L/s

e) Eficiencia de remoción de carga microbiana en el tratamiento secundario:

Definición conceptual:

Capacidad de una persona, objeto o proceso para desempeñar una labor de manera adecuada; midiéndose en porcentaje.

Definición operacional:

Cantidad de carga microbiana removida en el tratamiento secundario; comparando los parámetros fisicoquímicos al inicio y al final de este.

Medición: mg/L y %

2.5. ALCANCES Y LÍMITES

En el presente estudio se lleva a cabo un análisis en la remoción de la carga microbiana en el agua residual, debido a la presencia de coliformes totales en la misma.

Los parámetros fisicoquímicos que se emplearon para evaluar la calidad del agua residual serán el DBO₅, DQO, pH y temperatura, debido a que, generalmente, estos son los más relevantes en los análisis de este tipo. Adicionalmente, no se determinaron sólidos suspendidos, puesto que en el laboratorio que se realizaron los análisis de las muestras captadas -Laboratorio de Análisis Fisicoquímico y Microbiológico (LAFYM)- no se lleva a cabo este último tipo de análisis y esto fue indicado después de realizar los análisis previamente mencionados, dejando las muestras inutilizables para futuros análisis y debiendo descartar el análisis de SSD.

El costo de las pruebas en la investigación fue otra limitante, causando que las muestras a analizar fueran limitadas, y se trabajó con un nivel de confianza del 90%.

La presente investigación se limita a evaluar exclusivamente el tratamiento secundario de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Campus Central de la Universidad Rafael Landívar durante la estación seca, en días comunes -sin lluvia- bajo condiciones normales.

Finalmente, cabe mencionar que se buscó que las tomas de todas las muestras fueran en un horario similar, el cual rondó a las 12 de la tarde, por lo que se descarta el análisis del comportamiento de la PTAR de la jornada matutina y nocturna.

2.6. APORTE

A la planta de tratamiento de aguas residuales del Campus Central de la Universidad Rafael Landívar; como precedente para futuras investigaciones y seguimiento al trabajo de graduación de García, L. (2017), en el que se recomienda la realización de más estudios de la planta de tratamiento, con el objetivo de ampliar la bibliografía existente para mejorar la presente planta y que pueda emplearse como base para nuevas PTAR.

A la microcuenca del río Contreras y su ecosistema, reduciendo el impacto ambiental que la actividad humana en la Universidad Rafael Landívar provoca por descargar sus aguas residuales en ella, contribuyendo así en la conservación de la flora y fauna oriunda de dicha área.

A las urbanizaciones aledañas a la microcuenca del Río Contreras, para evitar la proliferación de enfermedades entre sus habitantes por el contacto directo o indirecto con aguas negras contaminadas provenientes de las instalaciones del Campus Central de la Universidad Rafael Landívar.

A la Universidad Rafael Landívar, para poseer información que permita realizar acciones correctivas en el tratamiento secundario, en caso de determinarse que este es el causante de no cumplir con los parámetros establecidos con el Acuerdo Gubernativo 236-2006; haciendo posible una mejora en la calidad del agua, teniendo como consecuencia la protección del medio ambiente.

CAPÍTULO III MÉTODO

3.1. SUJETOS Y UNIDADES DE ANÁLISIS

3.1.1. Sujetos

Al momento de realizar la presente investigación, se obtuvo información de distintas personas con conocimiento sobre la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Campus Central de la Universidad Rafael Landívar, por lo que se mencionan a continuación:

- 1) Ingeniero Mario Alberto Estrada Ocampo:
Coordinador de Responsabilidad Social y Académica de la Facultad de Ingeniería.
- 2) Niglan Vladimir Álvarez Luncey:
Coordinador de la Facultad de Arquitectura.
- 3) Alfredo Croy Jiménez:
Guardia de seguridad.

3.1.2. Unidades de análisis

- a) Agua residual proveniente de la entrada y salida del tratamiento con piedra volcánica:
Ubicada al final del tratamiento primario (entrada) y al final del tratamiento secundario (salida) de la PTAR del Campus Central de la Universidad Rafael Landívar.
- b) Reportes de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos:
Análisis realizados para todas las muestras tomadas de aguas residuales de la PTAR del Campus Central de la Universidad Rafael Landívar, emitidos por el Laboratorio de Análisis Fisicoquímicos y Microbiológicos -LAFYM-.
- c) Datos históricos de la PTAR del Campus Central:
Correspondientes al período 2010 – 2016, los cuales no son presentados en esta investigación por motivos de confidencialidad.

3.2. INSTRUMENTOS

3.2.1. Instrumentos y equipo de medición

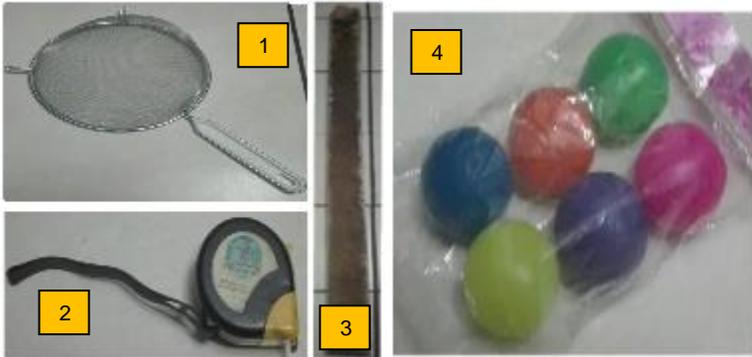
Tabla 3: Instrumentos y equipos de medición empleados en el estudio

| Instrumento o equipo | Descripción | Imagen |
|-------------------------|---|---|
| Termómetro de queroseno | Termómetro de inmersión. Marca Thermco®. Código de catálogo: ACC1503BLS. Rango de detección: - 20 a +150 °C. Incerteza: ± 0.5 °C. | <p>Figura 4: Termómetro de queroseno</p>  |
| Cronómetro | Marca Casio®. Modelo HS-3. Número de catálogo: TPMHS3. Tiempo mínimo de detección: 1/100 s. | <p>Figura 5: Cronómetro</p>  <p style="text-align: center;">**</p> |
| Potenciómetro | Potenciómetro portátil. Marca Hanna Instruments®. Modelo: HI 8519 N. Rango de detección: 0.00 a 14.00 pH. Incerteza: ± 0.01 pH. | <p>Figura 6: Potenciómetro</p>  |
| Probeta | Probeta de 1,000 mililitros. Incerteza: ± 5 mL | <p>Figura 7: Probeta</p>  |

Fuente: elaboración propia (2018)

3.2.2. Equipo para captación de muestras

Tabla 4: Equipo y material empleado para determinación de caudal

| Equipo para determinación de caudal | |
|--|--|
| Figura 8: Equipo para determinación de caudal | |
|  | |
| Descripción del equipo para determinación de caudal | |
| <ol style="list-style-type: none">1. Colador (red) para atrapar las pelotas de ping pong al final del tramo.2. Metro para determinar las dimensiones de los sedimentadores.3. Trozos de madera para determinar la profundidad de los sedimentadores.4. Pelotas de ping pong para recorrer un tramo de los sedimentadores. | |

Fuente: elaboración propia (2018)

3.2.3. Equipo para captación de muestras

Tabla 5: Equipo y material empleado para la captación de muestras

| Equipo para captación de muestras | |
|--|--|
| Figura 9: Equipo para captación de muestras | |
|  | |
| Descripción del equipo para captación de muestras | |
| <ol style="list-style-type: none">1. Cubeta de 6 litros para toma de agua residual directo del sedimentador.2. Embudo para depositar el agua residual en el recipiente.3. Etiqueta de datos para identificación de muestras.4. Recipiente plástico de 1 litro para contener muestra de agua residual.5. Tape para colocar las etiquetas en el recipiente.6. Hielera de duroport para transporte de muestras.7. 2 libras de hielo para mantener las muestras a 4°C. | |

Fuente: elaboración propia (2018)

3.2.4. Equipo de protección personal

Tabla 6: Equipo de protección personal

| Equipo de protección personal | |
|--|--|
| Figura 10: Equipo de protección personal | |
|  | |
| Descripción del equipo de protección personal | |
| <ol style="list-style-type: none">1. Bata2. Lentes de seguridad3. Botas de hule4. Guantes de látex5. Tapaboca (mascarilla) | |

Fuente: elaboración propia (2018)

3.3. PROCEDIMIENTO

3.3.1. Observación preliminar de la situación

Lo primero que se realizó fue una visita a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Campus Central de la Universidad Rafael Landívar el viernes 02 de marzo de 2018, con el objetivo de realizar una observación preliminar del estado actual del tratamiento secundario de la planta. Con ello, fue posible reconocer las áreas en que se tomarán las muestras y plantear soluciones a problemas específicos que afectan el tratamiento secundario.

Se determinó que no existen entradas o salidas al tratamiento secundario por medio de tuberías abiertas, por lo que se analizó el tipo de descarga que se emplea; así como los puntos en que se hace posible la toma de muestras. Con ello, se llegó a la conclusión que la descarga es tipo cascada en el punto final del tratamiento primario (no es posible realizar el muestreo justo al inicio del secundario), teniendo el mismo tipo de descarga (cascada) al final del secundario.

En el filtro percolador, como indica De León, R. (2017) en su tesis de grado, podría colocarse la cantidad óptima de agujeros (15) en cada tubería, con un diámetro adecuado (1/8"); así como darle mantenimiento de manera periódica y velar por que la eficiencia de la planta se mantenga en un rango aceptable y constante.

Otra solución que puede plantearse es tener mayor área de contacto con las rocas volcánicas, a manera de propiciar la actividad de las bacterias de manera uniforme, brindándoles los nutrientes necesarios. Esto se lograría cortando las tuberías y colocando un Te 90° como conector, a manera de conectar todas las tuberías entre sí, abarcando mayor área del filtro percolador y haciendo el caudal más uniforme.

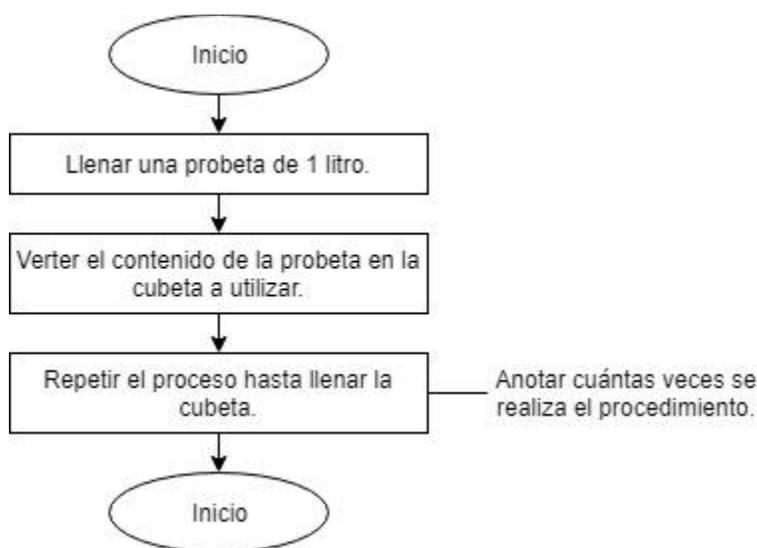
3.3.2. Búsqueda de información para fijar bases del estudio

Para fijar las bases del estudio, se recopiló información sobre el tratamiento secundario de la PTAR del Campus Central de la Universidad Rafael Landívar, aprovechando la visita del 02 de marzo del 2018 y consultando a personas que han tenido contacto directo con este tratamiento.

3.3.3. Determinación del volumen de la cubeta a utilizar

Antes del ingreso a la PTAR de la Universidad Rafael Landívar se determinó el volumen de la cubeta a utilizar, con ayuda de una probeta de 1 litro. Para ello, se llenó la probeta con agua y se vertió en la cubeta, repitiendo el proceso hasta que la cubeta se llenara. Se contó la cantidad de veces que se realizó el proceso, obteniendo así el volumen total de la cubeta.

Figura 11: Determinación del volumen de la cubeta a utilizar



Fuente: elaboración propia (2018)

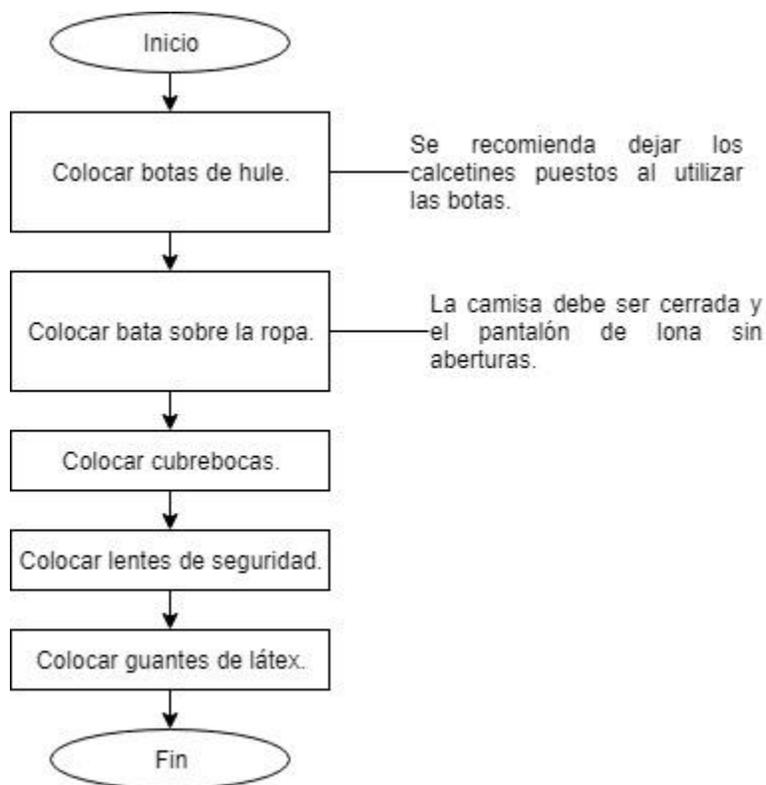
3.3.4. Realización del muestreo

Para realizar la toma de muestras en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Campus Central de la Universidad Rafael Landívar, se empleó información obtenida en la observación preliminar de la situación; haciéndose necesarias cuatro etapas durante la realización de dicho muestreo, las cuales se describen a continuación:

Etapa 1: Preparación del equipo de protección personal

El primer paso por realizar, previo a ingresar a la PTAR, es colocarse el equipo de protección personal, puesto que las aguas residuales presentan un serio riesgo a la salud. Los lentes, bata y botas deben ser desinfectados al terminar el muestreo para poder ser utilizados posteriormente; en el caso de los guantes y cubrebocas, deben ser descartados.

Figura 12: Preparación del equipo de protección personal



Fuente: elaboración propia (2018)

Figura 13: Uso del equipo de protección personal



Fuente: elaboración propia (2018)

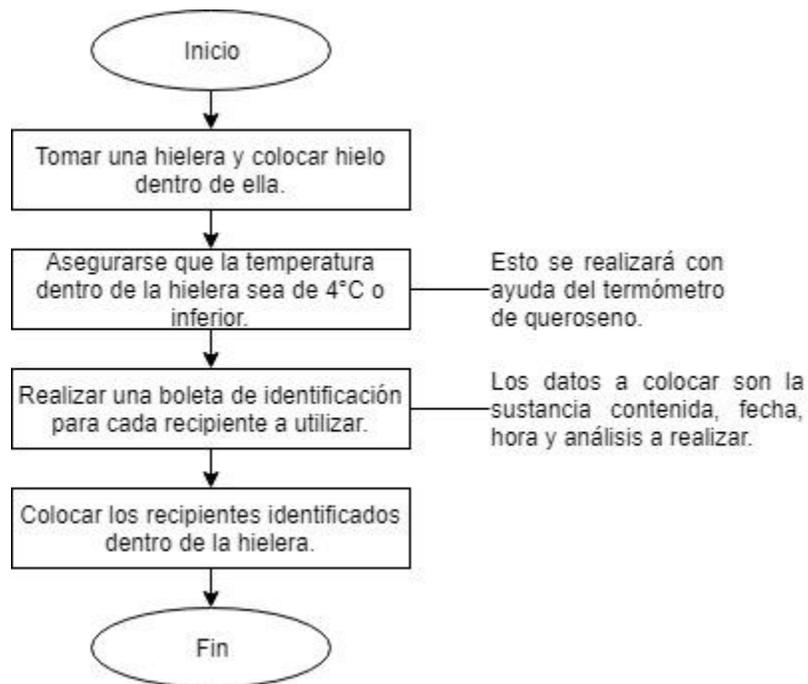
En la fotografía: Carlos Andres González Paniagua, estudiante de Ingeniería Química con Mención en Gestión Ambiental de la Universidad Rafael Landívar.

Etapa II: Preparación del equipo para captación de muestras

Como en el caso del equipo de protección personal, antes de ingresar a la PTAR es necesario preparar el equipo de captación de muestras. Para ello se tomará una hielera y se le adicionarán 2 libras de hielo, asegurándose que la temperatura dentro sea igual o menor a 4°C, con el objetivo de preservar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de las muestras.

Posterior a ello, tomar recipientes con capacidad de 1L, esterilizados, y colocar una boleta de identificación en cada una, en donde se indique la sustancia contenida, fecha, hora y análisis a realizar.

Figura 14: Preparación del equipo para captación de muestras



Fuente: elaboración propia (2018)

Figura 15: Uso del Equipo para Captación de Muestras



Fuente: elaboración propia (2018)

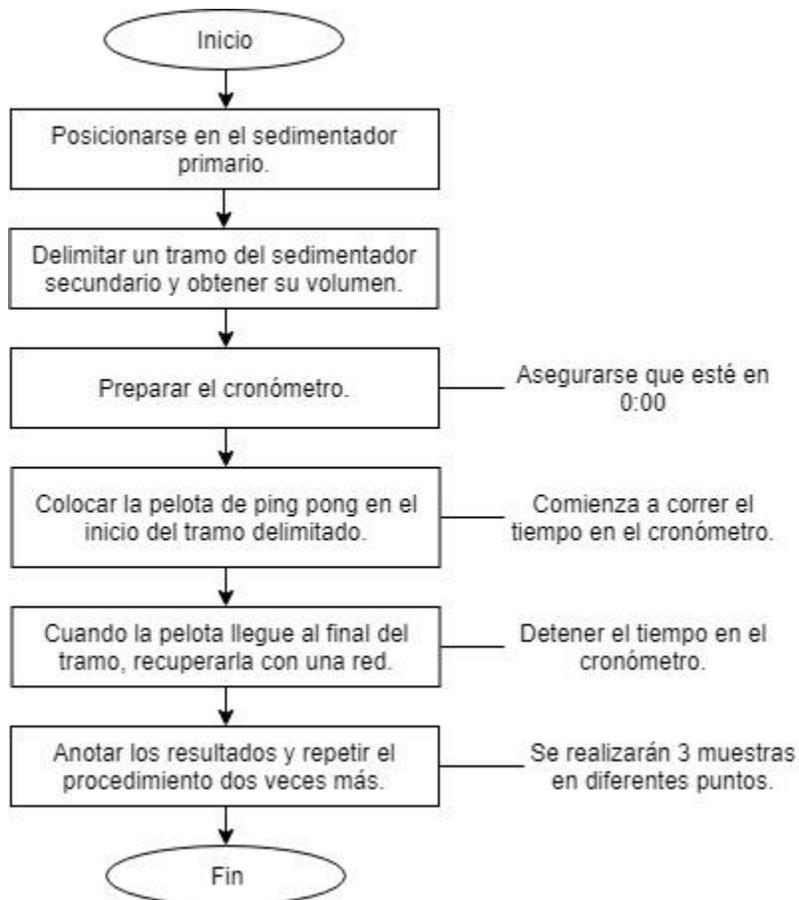
Etapa III: Determinación del caudal de descarga al tratamiento secundario y terciario

Se determinará la profundidad de cada sedimentador, utilizando un trozo de madera con longitud mayor a 3 metros y se sumergirá en cada sedimentador. Se sacará y se determinará la longitud del trozo de madera que se mojó. Posteriormente, se delimitará un tramo de cada sedimentador y se medirá la longitud y el ancho de este; con el objetivo de obtener el volumen total de dicho tramo.

Se colocará una pelota de ping pong al inicio del tramo y se medirá el tiempo que tarda en llegar al final de este tramo, tomando la pelota con una red o colador, a manera de que esta no represente una obstrucción en una etapa posterior del tratamiento.

El proceso se realizará 5 veces en cada medición para garantizar que los datos sean representativos.

Figura 16: Determinación del caudal de descarga al tratamiento secundario – método del flotador



Fuente: elaboración propia (2018)

Figura 17: Medición del tramo para el uso del método del flotador



Fuente: elaboración propia (2018)

En la fotografía: Carlos Andres González Paniagua, estudiante de Ingeniería Química con Mención en Gestión Ambiental de la Universidad Rafael Landívar.

Figura 18: Uso del método del flotador



Fuente: elaboración propia (2018)

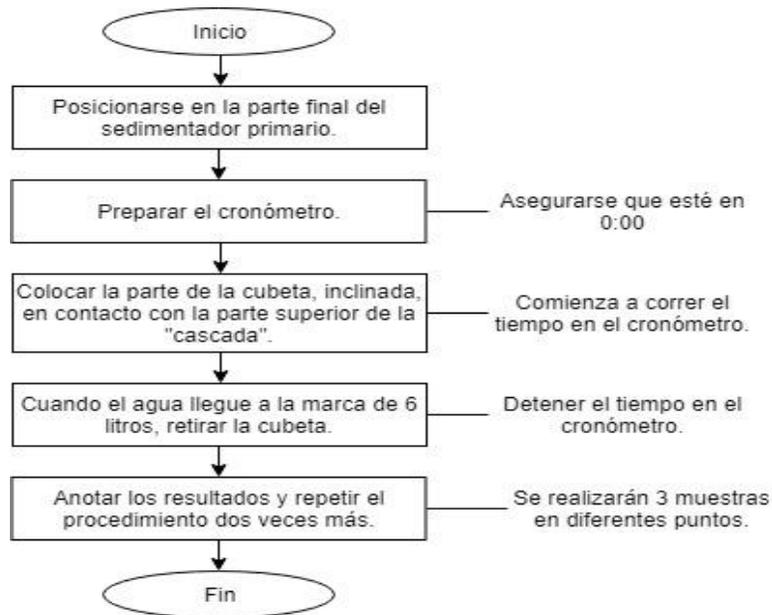
En la fotografía: Carlos Andres González Paniagua, estudiante de Ingeniería Química con Mención en Gestión Ambiental de la Universidad Rafael Landívar.

En caso de que el método anterior no funcione, el procedimiento de apoyo será colocarse en la parte final del sedimentador primario, preparar el cronómetro y colocar la cubeta en la parte final de la cascada, buscando posicionarse en la parte funcional del sedimentador que brinde un mayor caudal.

Adicionalmente, se determinará el tiempo que tarda en llenarse la cubeta de 6 litros, obteniendo un caudal. Después, se determinará el área efectiva del caudal y cuánto de ella era abarcado por la cubeta, mediante una ponderación, para obtener el caudal total del sedimentador, considerando que no en toda su área hay un caudal de salida.

El proceso se realizará 5 veces en cada medición para garantizar que los datos sean representativos.

Figura 19: Determinación del caudal de descarga al tratamiento secundario – método de toma en cascada



Fuente: elaboración propia (2018)

Figura 20: Uso del método en toma de cascada



Fuente: elaboración propia (2018)

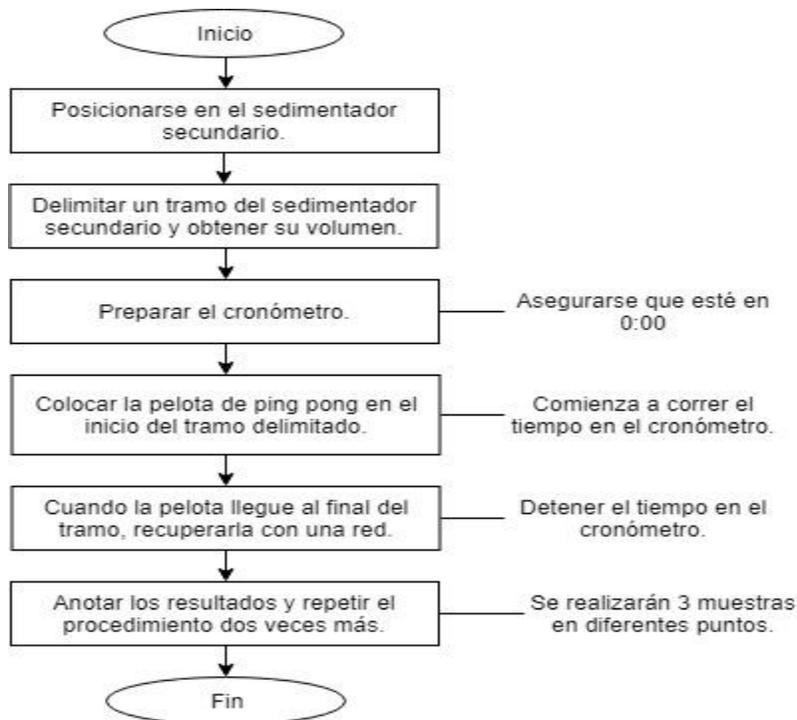
En la fotografía: Carlos Andres González Paniagua, estudiante de Ingeniería Química con Mención en Gestión Ambiental de la Universidad Rafael Landívar.

Se determinará la profundidad de cada sedimentador, utilizando un trozo de madera con longitud mayor a 3 metros y se sumergirá en cada sedimentador. Se sacará y se determinará la longitud del trozo de madera que se mojó. Posteriormente, se delimitará un tramo de cada sedimentador y se medirá la longitud y el ancho de este; con el objetivo de obtener el volumen total de dicho tramo.

Se colocará una pelota de ping pong al inicio del tramo y se medirá el tiempo que tarda en llegar al final de este tramo, tomando la pelota con una red o colador, a manera de que esta no represente una obstrucción en una etapa posterior del tratamiento.

El proceso se realizará 5 veces en cada medición para garantizar que los datos sean representativos.

Figura 21: Determinación del caudal de descarga al tratamiento terciario – método del flotador



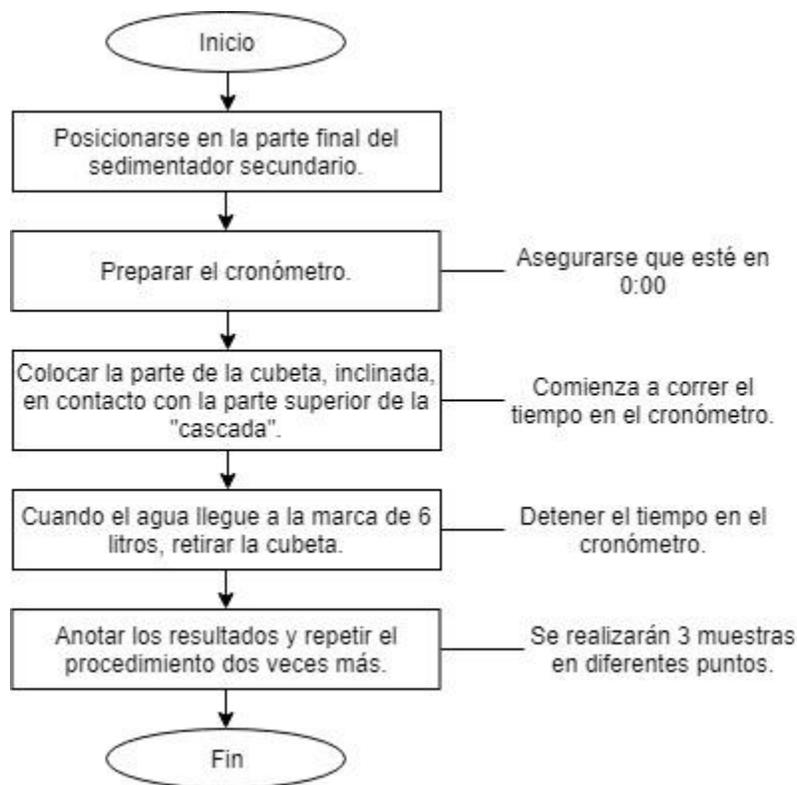
Fuente: elaboración propia (2018)

En caso de que el método anterior no aplique, el procedimiento de apoyo será colocarse en la parte final del sedimentador secundario (descarga al tratamiento terciario), preparar el cronómetro y colocar la pala en la parte final de la cascada, colocando la cubeta debajo de la pala.

Adicionalmente, se determinará el tiempo que tarda en llenarse la cubeta de 6 litros, obteniendo un caudal. Las tomas deben realizarse en distintos puntos para obtener un promedio del caudal, ya que a simple vista la distribución del agua residual de salida es homogénea en todo el sedimentador secundario. Después, se determinará el área efectiva del caudal y cuánto de ella era abarcado por la pala, mediante un promedio, para obtener el caudal total de salida en el sedimentador.

El proceso se realizará 5 veces en cada medición para garantizar que los datos sean representativos.

Figura 22: Determinación del caudal de descarga al tratamiento terciario – método de toma en cascada



Fuente: elaboración propia (2018)

Figura 23: Uso del método de cascada



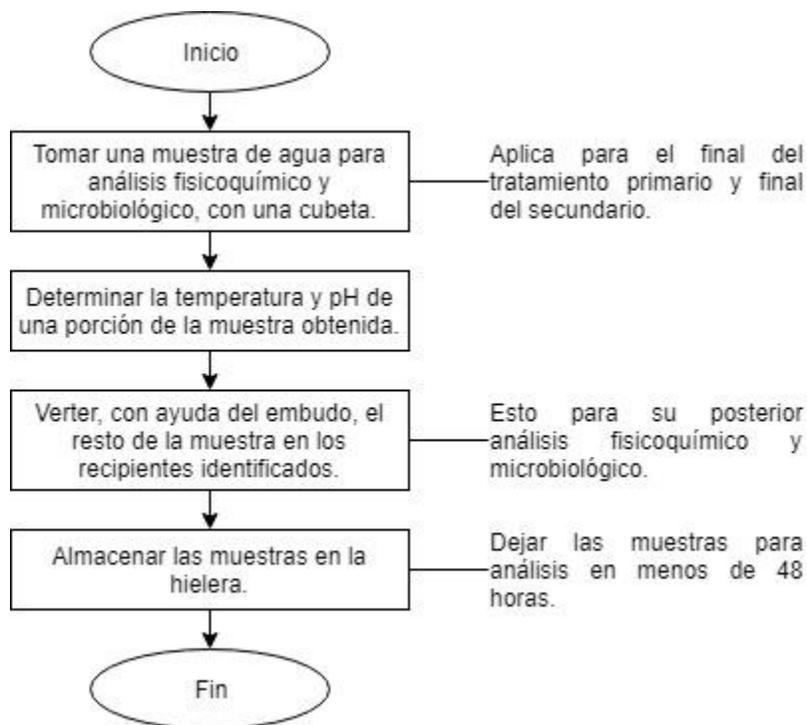
Fuente: elaboración propia (2018)

En la fotografía: Carlos Andres González Paniagua, estudiante de Ingeniería Química con Mención en Gestión Ambiental de la Universidad Rafael Landívar.

Etapa IV: Captación de muestras

Tomar una muestra de agua de diferentes partes del sedimentador, mezclarlas en una cubeta de 6 litros, homogeneizarla y medir su temperatura y pH. Con ayuda de un embudo, la muestra en los recipientes identificados, colocarlos en la hielera que estará a 4°C o menos y llevar dichas muestras para su análisis fisicoquímico y microbiológico en menos de 48 horas.

Figura 24: Captación de muestras



Fuente: elaboración propia (2018)

3.4. DISEÑO Y METODOLOGÍA ESTADÍSTICA

3.4.1. Localización

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Campus Central de la Universidad Rafael Landívar se encuentra dentro de las instalaciones del Campus Central, ubicado en Vista Hermosa III, zona 16 de la Ciudad de Guatemala. La entrada a la PTAR está señalizada, hallándose detrás del edificio G y a un lado del módulo D. (García, 2017)

Tabla 7: *Coordenadas geográficas de la PTAR del Campus Central de la URL*

| Medición | Coordenada geográfica |
|----------|-----------------------|
| Latitud | 14° 35' 44.33" N |
| Longitud | 90° 29' 11.27" O |
| Altitud | 1470 msnm |

Fuente: Lavagnino (2016)

Figura 25: *Localización de la PTAR de la URL*



Fuente: García (2017)

3.4.2. Número de muestras

Para evaluar los parámetros de la Planta de Tratamiento del Campus Central de la Universidad Rafael Landívar, se hace necesario determinar la cantidad de muestras a tomar, por lo que debe recurrirse a "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" de Alpha, et. al (2005).

El método consiste en relacionar el valor de la t-Student (t) por la desviación estándar (s), dividir el resultado dentro del nivel de incerteza aceptable (U) y elevar el resultado al cuadrado; siendo este el número de muestras mínimo que deberán tomarse. Esto se muestra en la Fórmula 1.

Fórmula 1: Cantidad de muestras necesarias

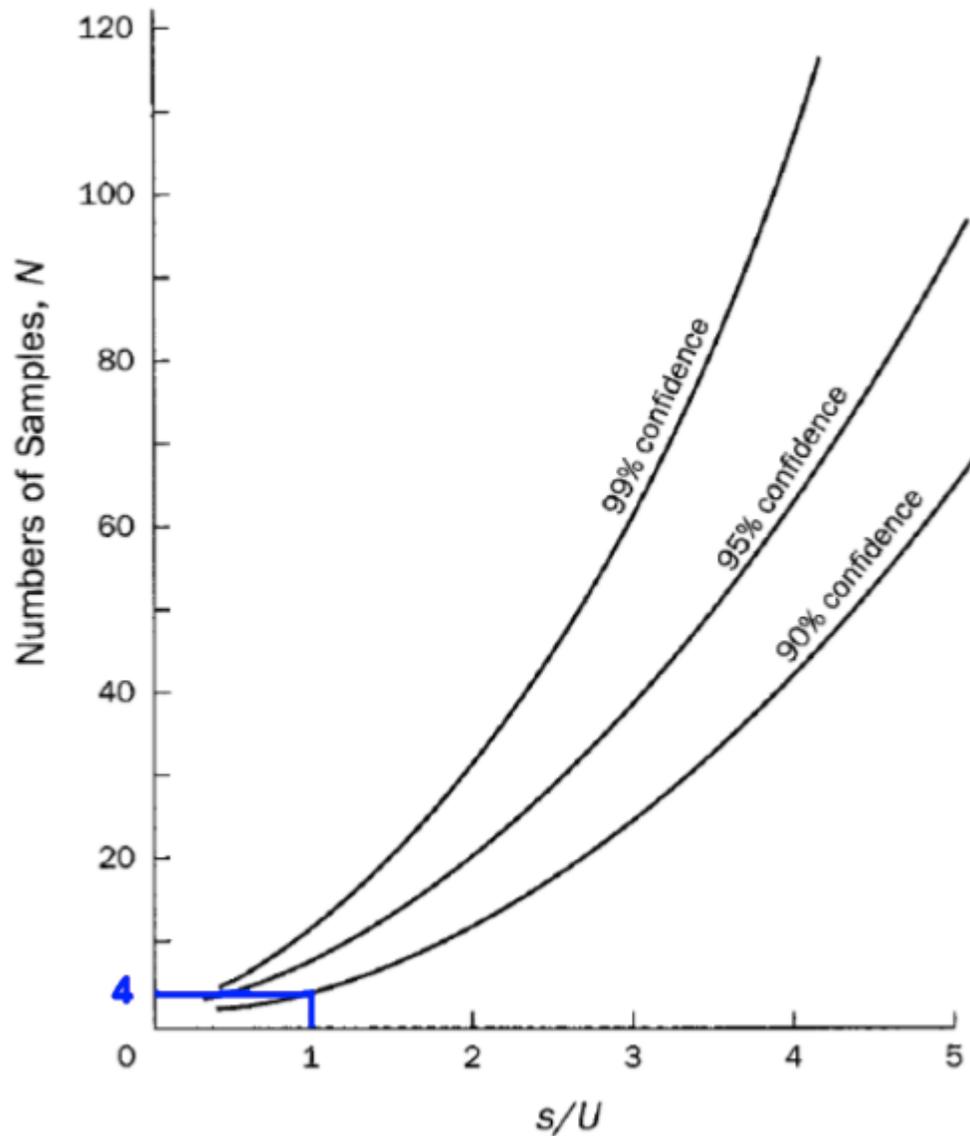
$$N \geq \left[\frac{(t)(s)}{U} \right]^2$$

Fuente: Alpha (2005)

Una vez obtenido el número de muestras mínimo necesario (N), debe recurrirse al Gráfico 1 en el que se encuentran curvas con diferentes niveles de confianza (90%, 95% y 99%). En este gráfico, se coloca el valor N en el eje Y y el cociente de s/U en el eje X.

Por lo descrito con anterioridad, es necesario conocer los valores de la desviación estándar (s) y la incerteza aceptable (U), por lo que se trabajará con valores de 0.05mg/L de desviación estándar y 0.05mg/L de incerteza aceptable para cada parámetro analizado; obteniendo un cociente s/U de 1. Por ello, considerando las limitaciones económicas, el nivel de confianza establecido será del 90%; obteniendo como resultado una cantidad mínima de 4 muestras por punto de muestreo. Esto puede apreciarse gráficamente en el Gráfico 1.

Gráfico 1: Cantidad de muestras a tomar



En el Gráfico 1 se comienza ubicándose en la abscisa, en donde el valor de s/U es de 1; a partir de este punto se asciende verticalmente hasta interceptar la curva de 90% de confianza. Después de realizar dicha intersección, se traza una línea horizontal hacia la ordenada, correspondiente al número de muestras (N) necesarias, donde puede apreciarse que N es igual a 4.

Fuente: Alpha (2005)
(Modificado)

Siendo:

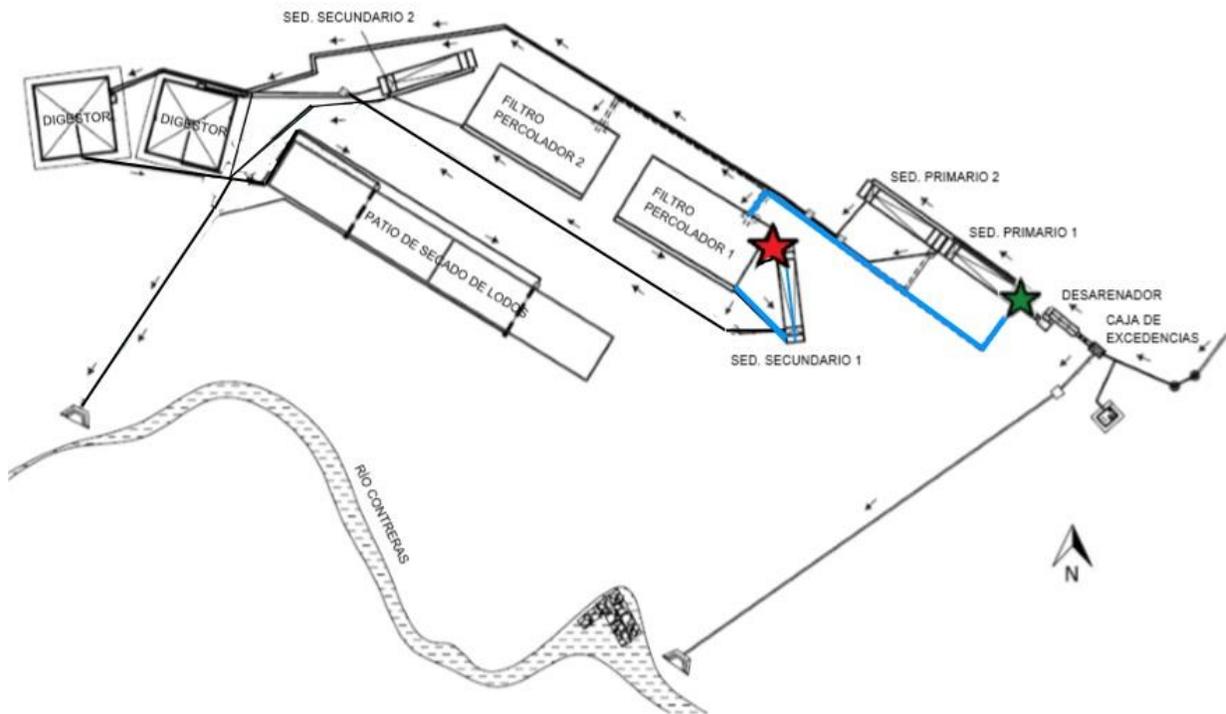
$$s = 0.05\text{mg/L}$$

$$U = 0.05\text{mg/L}$$

Nivel de confianza = 90%

3.4.3. Puntos de muestreo

Figura 26: Puntos de Muestreo



Fuente: Aguilar (2008)
(Modificado)

*En la figura 18, la estrella de color verde representa la salida del agua residual del Sedimentador Primario; mientras que la estrella roja indica la ubicación de la salida del Sedimentador Secundario. Las líneas azules muestran el recorrido del agua residual que es objeto de estudio.

Al momento de realizar los muestreos en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, se identificaron dos puntos esenciales; siendo estos la Salida del Sedimentador Primario y la Salida del Sedimentador Secundario.

Esto debido a que no fue posible localizar un punto de Entrada en el Sedimentador Secundario, en el que pudiera tomarse una muestra y determinar un caudal, por lo que lo más cercano a ello fue la salida del tratamiento anterior.

Se tomaron 4 muestras en cada uno de los puntos de muestreo, constituyendo 8 muestras en total. Esta cantidad fue determinada mediante información brindada por Alpha (2005) en el documento Standard Methods for the examination of water and wastewater. Lo anterior se muestra en el Gráfico 1 de la sección 3.4.2.

3.4.4. Frecuencia de toma de muestras

Se realizarán 4 visitas a la planta de tratamiento de aguas residuales del Campus Central de la Universidad Rafael Landívar, con el objetivo de captar muestras para su posterior análisis microbiológico y fisicoquímico. Las muestras fueron captadas en temporada seca, bajo condiciones normales de operación y la misma hora, de esta manera todas las mediciones se realizarán de igual manera para obtener la máxima representatividad.

Además, todos los análisis se harán previo a las vacaciones del primer ciclo del 2018, a manera de que las muestras sean de un día de actividad normal en la Universidad; ya que, de lo contrario, los resultados no podrían utilizarse como precedente para futuras mejoras a la PTAR en operación normal durante época seca.

3.4.5. Descripción de las unidades experimentales

Cada muestreo realizado en la PTAR se realizó con base en cada una de las unidades experimentales detalladas a continuación:

a) Agua residual en el sedimentador primario:

Previo a realizar cualquier muestreo, se determinó el caudal que existía en ese momento; por lo que, al utilizar el método del flotador, se hace necesario un análisis del caudal de un tramo del Sedimentador Primario. A su vez, las tomas de muestra se realizan en la parte final de dicho sedimentador, puesto que es el punto más cercano a la entrada del tratamiento secundario. A las muestras tomadas se les realizarán análisis fisicoquímicos y microbiológicos para determinar la calidad del agua residual previo a su ingreso al tratamiento secundario.

b) Agua residual en el sedimentador secundario:

Previo a realizar cualquier muestreo, se determinó el caudal que existía en ese momento; por lo que, al utilizar el método del flotador, se hace necesario un análisis del caudal de un tramo del Sedimentador Secundario. A su vez, las tomas de muestra se realizan en la parte final de dicho sedimentador, puesto que es el punto más cercano a la salida del tratamiento secundario. A las muestras tomadas se les realizarán análisis fisicoquímicos y microbiológicos para determinar la calidad del agua residual previo a su salida del tratamiento secundario.

3.4.6. Metodología de análisis

El objetivo del presente trabajo es determinar tanto la eficiencia del tratamiento secundario como la que necesitaría el terciario para cumplir con los parámetros establecidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006. Por ello, se miden los parámetros de DBO, DQO, pH, temperatura y coliformes fecales al inicio y final del tratamiento secundario. Los cálculos pertinentes se muestran a continuación:

a) Promedio:

Fórmula 2: Promedio

$$P = \frac{\sum m_i}{n}$$

Fuente: Nieves & Domínguez (2010)

Siendo:

P = Promedio

$\sum m_i$ = Sumatoria de las muestras obtenidas

n = Número de muestras

b) Remoción:

Fórmula 3: Remoción

$$R = D_o - D_f$$

Fuente: elaboración propia (2018)

Siendo:

R = Remoción

D_o = Dato inicial

D_f = Dato final

Nota: se resta el dato final del inicial para obtener un valor positivo.

c) Porcentaje de remoción:

Fórmula 4: Porcentaje de Remoción

$$\%R = \left(\frac{R}{D_o} \right) (100)$$

Fuente: Nieves & Domínguez (2010)

Siendo:

%R = Porcentaje de remoción (%)

R = Remoción

D_o = Dato inicial

d) Cantidad de Diámetros de Cubeta que Caben en la Parte Funcional de la Salida del Sedimentador Primario

Fórmula 5: Cantidad de Diámetros de Cubeta que Caben en la Parte Funcional de la Salida del Sedimentador Primario

$$CDC = \frac{ASP}{AC}$$

Fuente: elaboración propia (2018)

Siendo:

CDC = Cantidad de Diámetros de Cubeta que Caben en la Parte Funcional de la Salida del Sedimentador Primario

ASP = Ancho del Sedimentador Primario (m)

AC = Ancho de Cubeta (m)

e) Caudal de salida del sedimentador primario

Fórmula 6: Caudal de Salida del Sedimentador Primario

$$CSSP = \left(\frac{VC}{TLSSP} \right) (CDC)$$

Fuente: elaboración propia (2018)

Siendo:

CSSP = Caudal de Salida del Sedimentador Primario (L/s)

VC = Volumen de la Cubeta (L)

TLSSP = Tiempo de Llenado en Salida Sedimentador Primario (s)

CDC = Cantidad de Diámetros de Cubeta que Caben en la Parte Funcional de la Salida del Sedimentador Primario

f) Cantidad de Anchos de Pala que Caben en la Parte Funcional de la Salida del Sedimentador Secundario

Fórmula 7: Cantidad de Anchos de Pala que Caben en la Parte Funcional de la Salida del Sedimentador Primario

$$CAP = \frac{ASS}{AP}$$

Fuente: elaboración propia (2018)

Siendo:

CAP= Cantidad de Anchos de Pala que Caben en la Parte Funcional de la Salida del Sedimentador Primario

ASS = Ancho del Sedimentador Secundario (m)

AP = Ancho de Pala (m)

g) Caudal de Salida del Sedimentador Secundario

Fórmula 8: Caudal de Salida del Sedimentador Secundario

$$CSSS = \left(\frac{VC}{TLSSS} \right) (CAP)$$

Fuente: elaboración propia (2018)

Siendo:

CSSS = Caudal de Salida del Sedimentador Secundario (L/s)

VC = Volumen de la cubeta (L)

TLSSS = Tiempo de Llenado en Salida Sedimentador Secundario (s)

CAP = Cantidad de Anchos de Pala que caben en la Parte Funcional de la Salida del Sedimentador Secundario

h) Ancho Mojado con Corrección

Fórmula 9: Ancho Mojado con Corrección

$$AMC = \frac{(AMA)(CAA)(DAA)}{(CPA)(DPA)}$$

Fuente: elaboración propia (2018)

Siendo:

AMC = Ancho Mojado con Corrección

AMA = Ancho Mojado Actual

CAA = Cantidad Actual de Agujeros

DAA = Diámetro Actual de Agujeros

CPA = Cantidad Propuesta de Agujeros

DPA = Diámetro Propuesto de Agujeros

i) Caudal Mojado Teórico Actual

Fórmula 10: Ancho Mojado con Corrección

$$AMTAc = \frac{(AMPH)(CPAc)}{CPH}$$

Fuente: elaboración propia (2018)

Siendo:

AMTAc = Ancho Mojado Teórico Actual

AMPH = Ancho Mojado Práctico Histórico

CPAc = Caudal Práctico Actual

CPH = Caudal Práctico Histórico

j) Ancho Mojado por Cantidad de Ramales Abiertos

Fórmula 11: Ancho Mojado por Cantidad de Ramales Abiertos

$$AMCRA = \frac{(AMC)(CTR)}{CUR}$$

Fuente: elaboración propia (2018)

Siendo:

AMCRA = Ancho Mojado por Cantidad de Ramales Abiertos

AMC = Ancho Mojado con Corrección

CTR = Cantidad Total de Ramales

CUR = Cantidad Utilizada de Ramales

k) Ancho Mojado por Cantidad de Ramales Abiertos

Fórmula 12: Porcentaje de Recirculación

$$\%Recirculación = \frac{FMB}{CA}$$

Fuente: elaboración propia (2018)

Siendo:

%Recirculación = Porcentaje de Recirculación

FMB = Flujo Máximo de la Bomba

CA = Caudal Actual

l) Caudal con Recirculación

Fórmula 13: Caudal con Recirculación

$$Caudal con Recirculación = CA (1 + \%Recirculación)$$

Fuente: elaboración propia (2018)

Siendo:

CA = Caudal Actual

%Recirculación = Porcentaje de Recirculación

CAPÍTULO IV PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. DATOS ORIGINALES

Tabla 8: Tiempo de llenado en el sedimentador primario y secundario

| Medición | Tiempo de Llenado en Salida Sedimentador Primario (s) | Tiempo de Llenado en Salida Sedimentador Secundario (s) |
|----------|---|---|
| 1 | 8.88 | 36.40 |
| 2 | 8.08 | 37.82 |
| 3 | 8.85 | 38.33 |
| 4 | 8.31 | 36.03 |
| 5 | 8.03 | 34.43 |

*El tiempo de llenado hace referencia a cubrir el volumen total de una cubeta de 6 litros.

Fuente: elaboración propia (2018)

Tabla 9: Anchos de sedimentadores

| Ancho Sedimentador Primario (m) | Ancho Sedimentador Secundario (m) | Ancho de Parte Funcional del Sedimentador Primario (m) | Ancho de Parte Funcional del Sedimentador Secundario (m) |
|---------------------------------|-----------------------------------|--|--|
| 2.18 | 2.18 | 0.435 | 2.18 |

Fuente: elaboración propia (2018)

Tabla 10: Medidas de instrumentos utilizados para medición de caudal

| Ancho de la pala (m) | Diámetro de la cubeta (m) | Volumen de la cubeta (L) |
|----------------------|---------------------------|--------------------------|
| 0.245 | 0.29 | 6 |

Fuente: elaboración propia (2018)

Tabla 11: Resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos

| #LAFYM | Sedimentador | Fecha | DQO (mg/L) | DBO (mg/L) | Coliformes Fecales (NMP/100mL) | Temperatura (°C) | pH |
|--------|--------------|---------------------|------------|------------|--------------------------------|------------------|------|
| 3758 | Primario | 25 de abril de 2018 | 672 | 495 | 3.00E+07 | 27 | 7.42 |
| 3759 | Secundario | 25 de abril de 2018 | 398 | 263 | 1.70E+07 | 25 | 7.18 |
| 3784 | Primario | 26 de abril de 2018 | 616 | 548 | 2.40E+07 | 26 | 7.62 |
| 3785 | Secundario | 26 de abril de 2018 | 350 | 276 | 1.50E+07 | 24 | 7.24 |
| 3817 | Primario | 2 de mayo de 2018 | 692 | 393 | 1.50E+07 | 26 | 7.53 |
| 3818 | Secundario | 2 de mayo de 2018 | 298 | 176 | 6.10E+06 | 25 | 7.31 |
| 3826 | Primario | 3 de mayo de 2018 | 652 | 361 | 2.40E+07 | 27 | 7.51 |
| 3827 | Secundario | 3 de mayo de 2018 | 386 | 220 | 9.00E+06 | 25 | 7.28 |

Fuente: elaboración propia (2018)

4.2. DATOS CALCULADOS

Tabla 12: Cálculo de caudal

| Medición | Cantidad de Diámetros de Cubeta que caben en la Parte Funcional de la Salida del Sedimentador Primario | Caudal Salida Sedimentador Primario (L/s) | Cantidad de Anchos de Pala que caben en la Parte Funcional de la Salida del Sedimentador Secundario | Caudal Salida Sedimentador Secundario (L/s) |
|-----------------|--|---|---|---|
| 1 | 1.50 | 1.01 | 8.90 | 1.47 |
| 2 | | 1.11 | | 1.41 |
| 3 | | 1.02 | | 1.39 |
| 4 | | 1.08 | | 1.48 |
| 5 | | 1.12 | | 1.55 |
| Promedio | | 1.07 | | 1.46 |

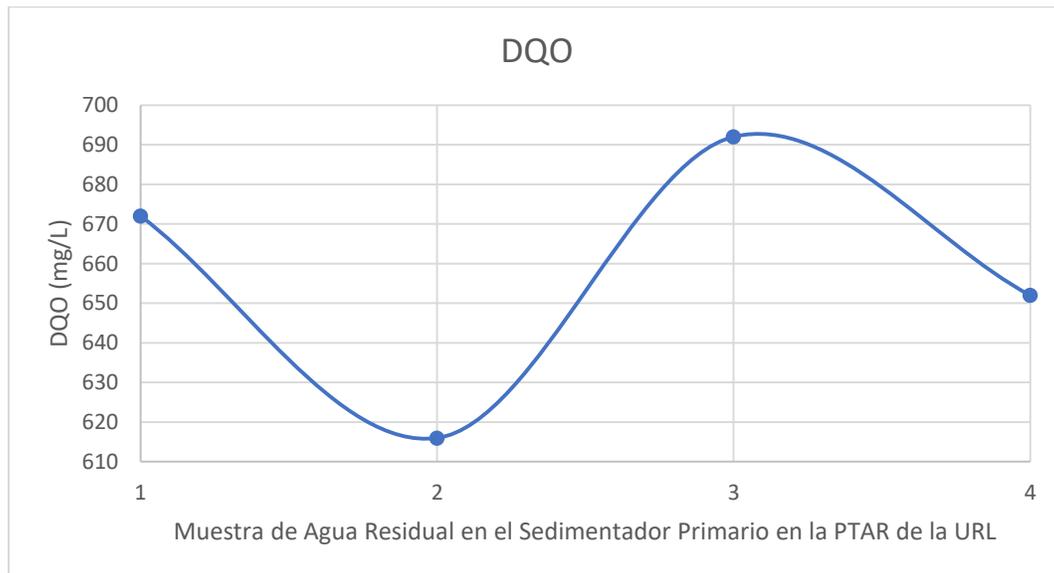
Fuente: elaboración propia (2018)

Tabla 13: Promedio de resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos en la salida del sedimentador Primario

| #LAFYM | #Muestra | Fecha | DQO (mg/L) | DBO (mg/L) | Coliformes Fecales (NMP/100mL) | Temperatura (°C) | pH |
|----------------------------|----------|---------------------|------------|------------|--------------------------------|------------------|-------------|
| 3758 | 1 | 25 de abril de 2018 | 672 | 495 | 3.00E+07 | 27 | 7.42 |
| 3784 | 2 | 26 de abril de 2018 | 616 | 548 | 2.40E+07 | 26 | 7.62 |
| 3817 | 3 | 2 de mayo de 2018 | 692 | 393 | 1.50E+07 | 26 | 7.53 |
| 3826 | 4 | 3 de mayo de 2018 | 652 | 361 | 2.40E+07 | 27 | 7.51 |
| Promedio | | | 658 | 449 | 2.33E+07 | 27 | 7.52 |
| Desviación Estándar | | | 32 | 87 | 6.18E+06 | 0.58 | 0.08 |

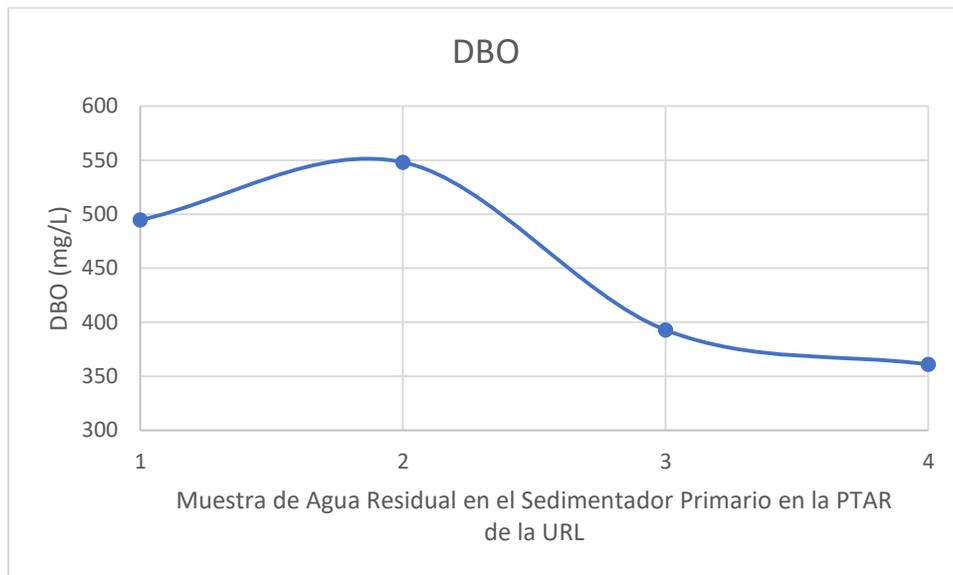
Fuente: elaboración propia (2018)

Gráfico 2: Variación de DQO en la salida del sedimentador srimario



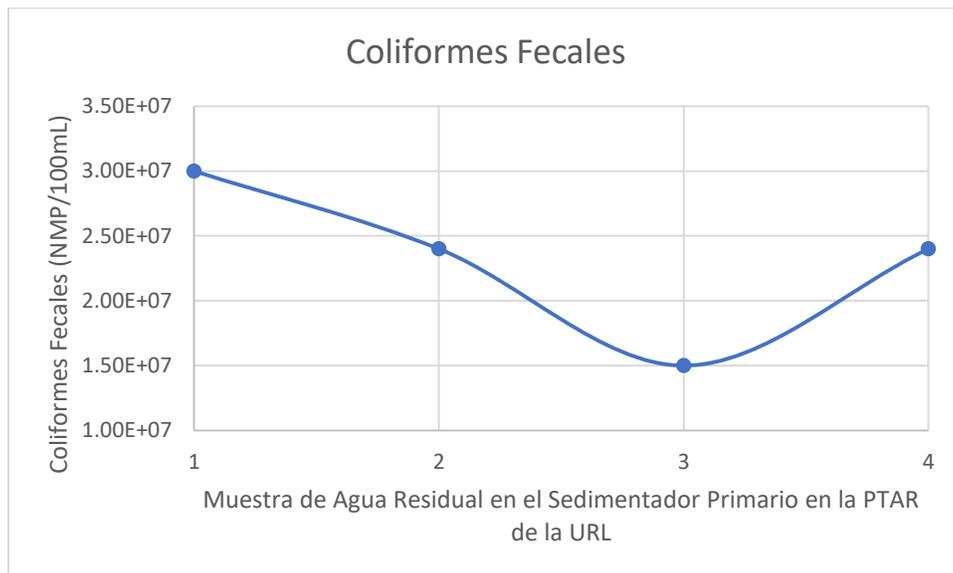
Fuente: elaboración propia (2018)

Gráfico 3: Variación de DBO en la salida del sedimentador primario



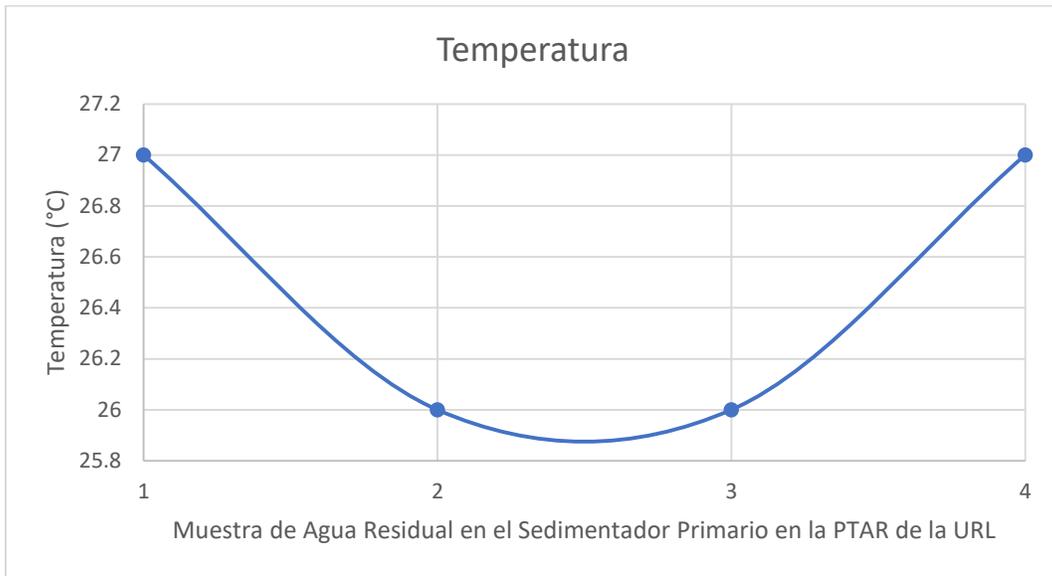
Fuente: elaboración propia (2018)

Gráfico 4: Variación de coliformes fecales en la salida del sedimentador primario



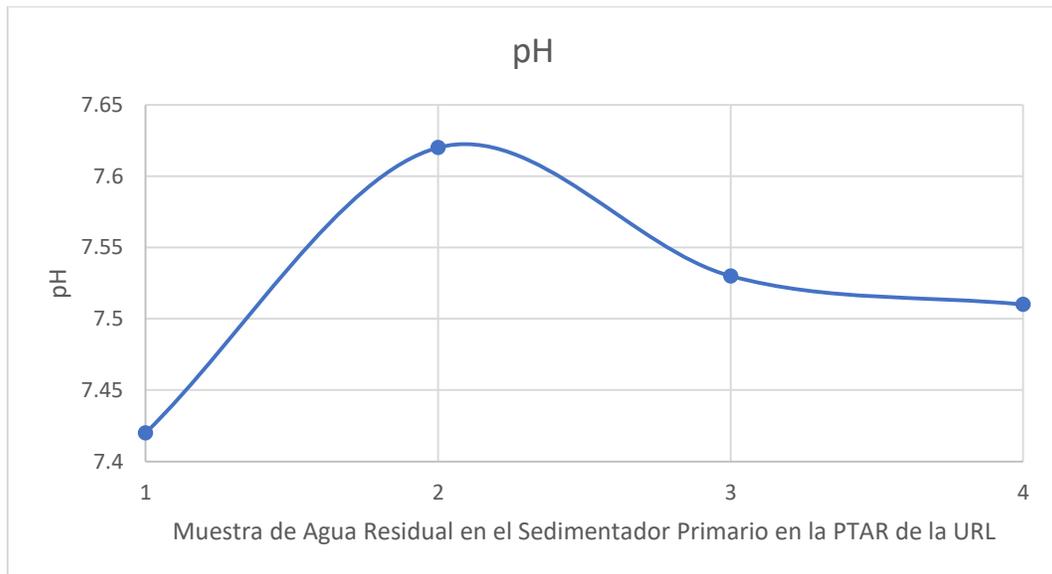
Fuente: elaboración propia (2018)

Gráfico 5: Variación de temperatura en la salida del sedimentador primario



Fuente: elaboración propia (2018)

Gráfico 6: Variación de pH en la salida del sedimentador primario



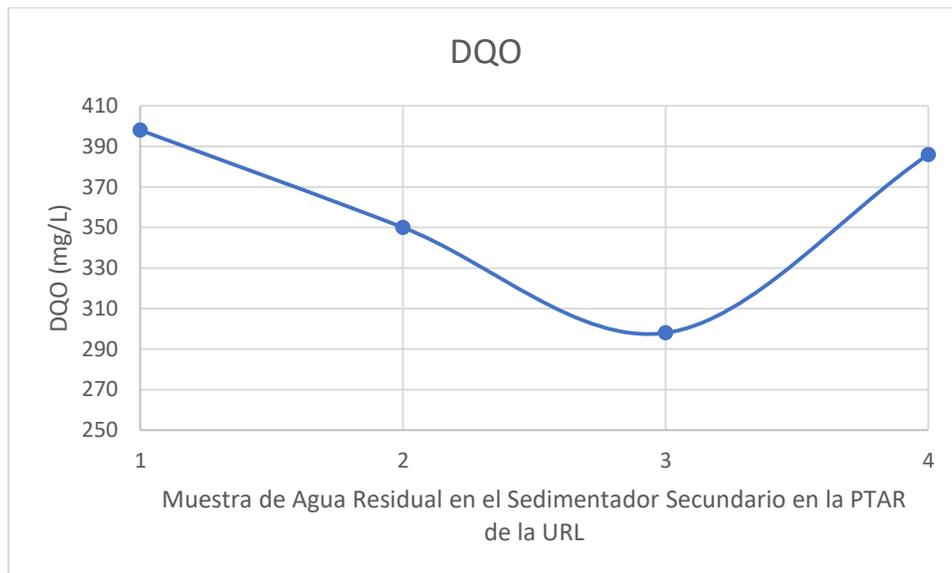
Fuente: elaboración propia (2018)

Tabla 14: Promedio de resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos en la salida del sedimentador secundario

| #LAFYM | #Muestra | Fecha | DQO (mg/L) | DBO (mg/L) | Coliformes Fecales (NMP/100mL) | Temperatura (°C) | pH |
|----------------------------|----------|---------------------|------------|------------|--------------------------------|------------------|-------------|
| 3759 | 1 | 25 de abril de 2018 | 398 | 263 | 1.70E+07 | 25 | 7.18 |
| 3785 | 2 | 26 de abril de 2018 | 350 | 276 | 1.50E+07 | 24 | 7.24 |
| 3818 | 3 | 2 de mayo de 2018 | 298 | 176 | 6.10E+06 | 25 | 7.31 |
| 3827 | 4 | 3 de mayo de 2018 | 386 | 219 | 9.00E+06 | 25 | 7.28 |
| Promedio | | | 358 | 234 | 1.18E+07 | 25 | 7.25 |
| Desviación Estándar | | | 45 | 45 | 5.09E+06 | 0.50 | 0.06 |

Fuente: elaboración propia (2018)

Gráfico 7: Variación de DQO en la salida del sedimentador secundario



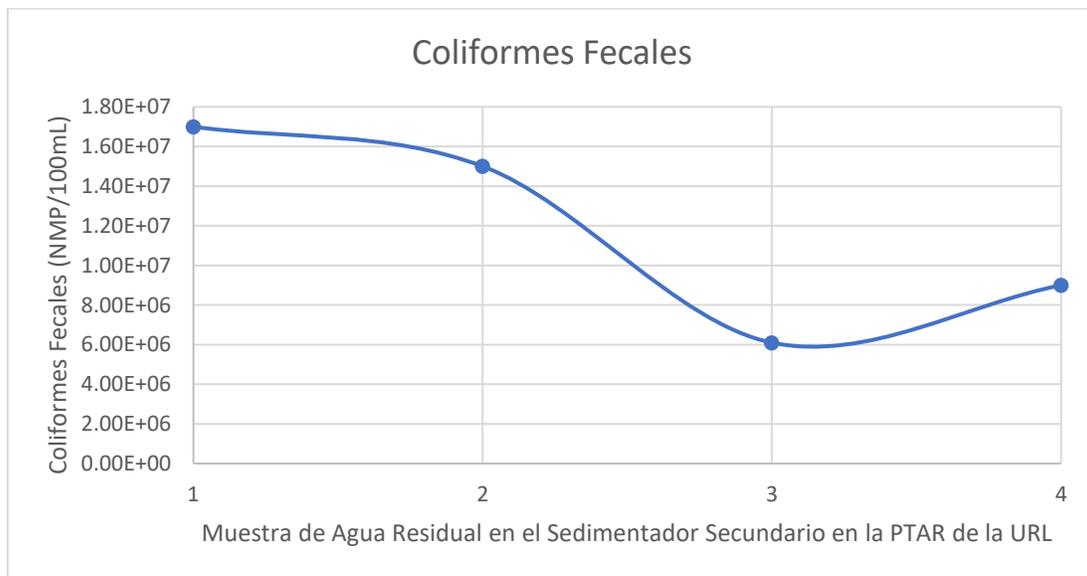
Fuente: elaboración propia (2018)

Gráfico 8: Variación de DBO en la salida del sedimentador secundario



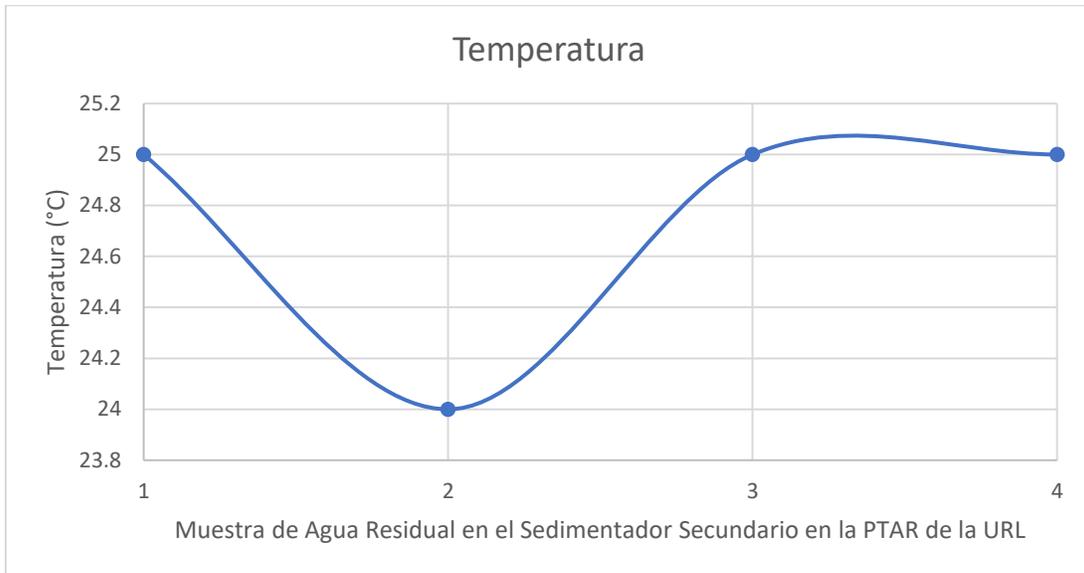
Fuente: elaboración propia (2018)

Gráfico 9: Variación de coliformes fecales en la salida del sedimentador secundario



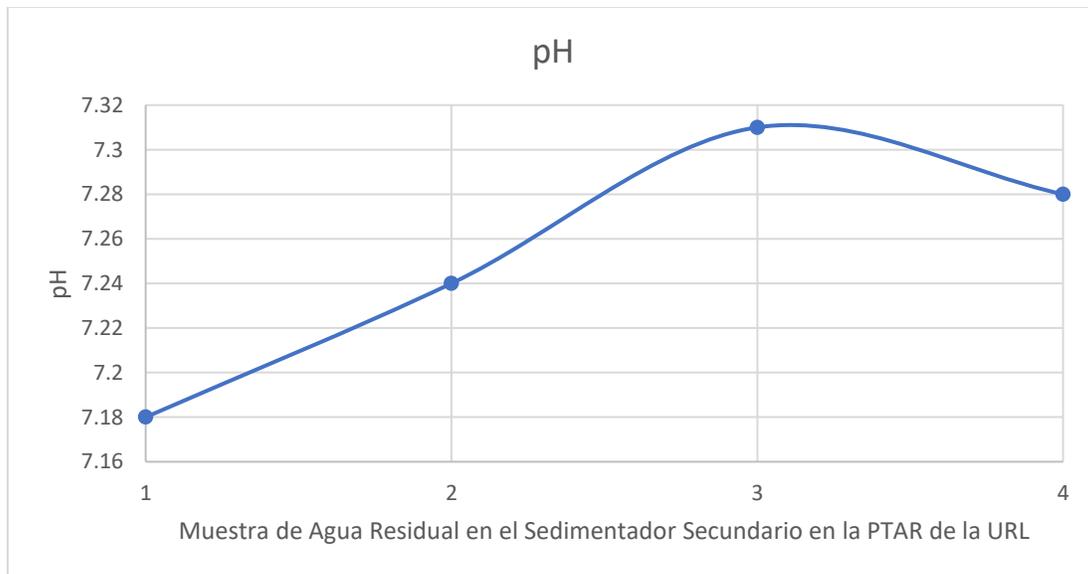
Fuente: elaboración propia (2018)

Gráfico 10: Variación de temperatura en la salida del sedimentador secundario



Fuente: elaboración propia (2018)

Gráfico 11: Variación de pH en la salida del sedimentador secundario



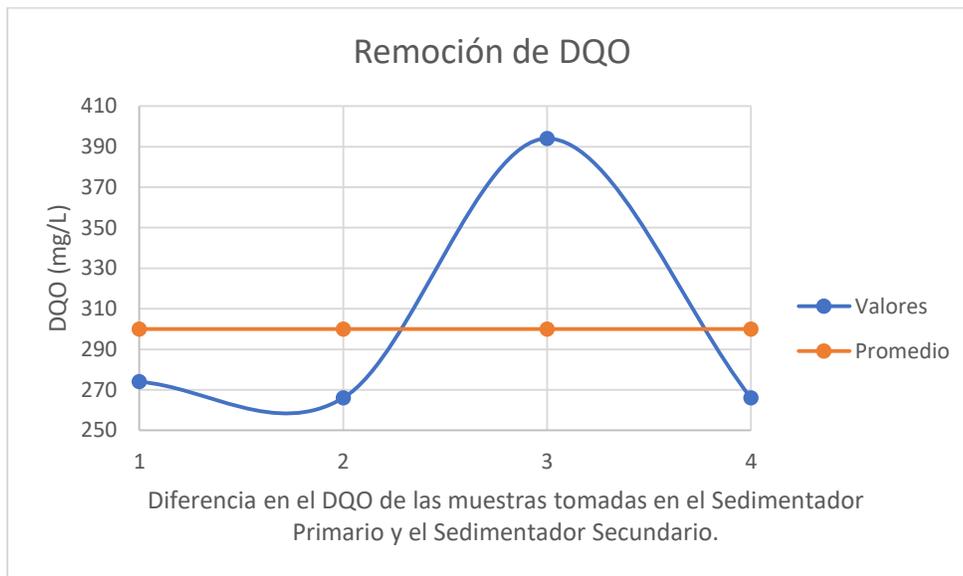
Fuente: elaboración propia (2018)

Tabla 15: Remoción de contaminación

| Fecha | Remoción | | |
|----------------------------|------------|------------|--------------------------------|
| | DQO (mg/L) | DBO (mg/L) | Coliformes Fecales (NMP/100mL) |
| 25 de abril de 2018 | 274 | 232 | 1.30E+07 |
| 26 de abril de 2018 | 266 | 272 | 9.00E+06 |
| 2 de mayo de 2018 | 394 | 217 | 8.90E+06 |
| 3 de mayo de 2018 | 266 | 142 | 1.50E+07 |
| Promedio | 300 | 216 | 1.15E+07 |
| Desviación estándar | 63 | 55 | 3.03E+06 |

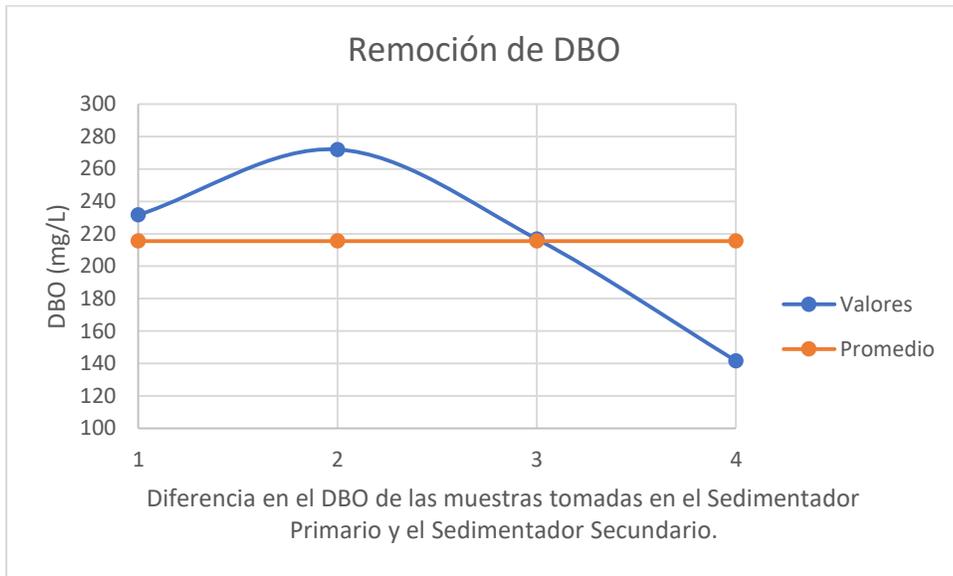
Fuente: elaboración propia (2018)

Gráfico 12: Remoción de DQO



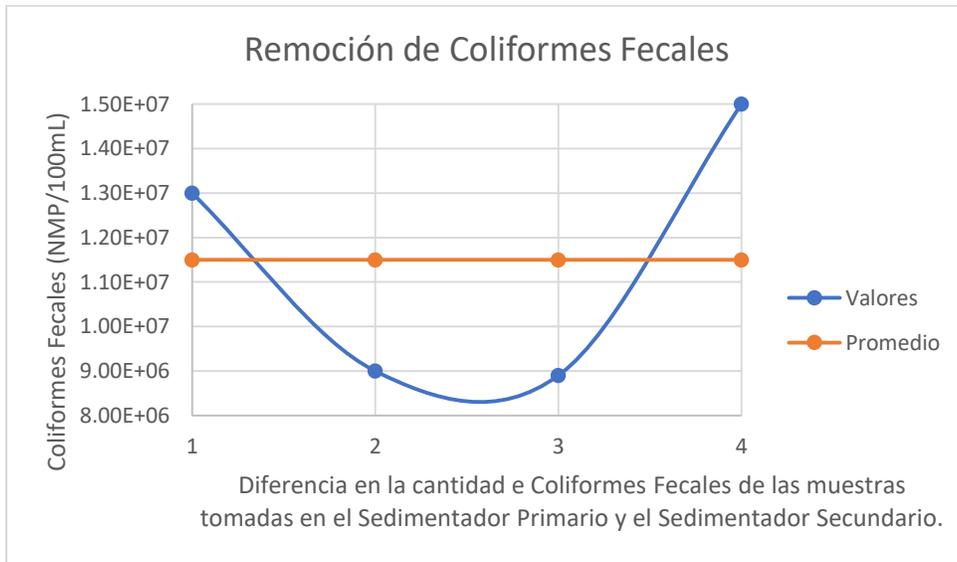
Fuente: elaboración propia (2018)

Gráfico 13: Remoción de DBO



Fuente: elaboración propia (2018)

Gráfico 14: Remoción de coliformes fecales



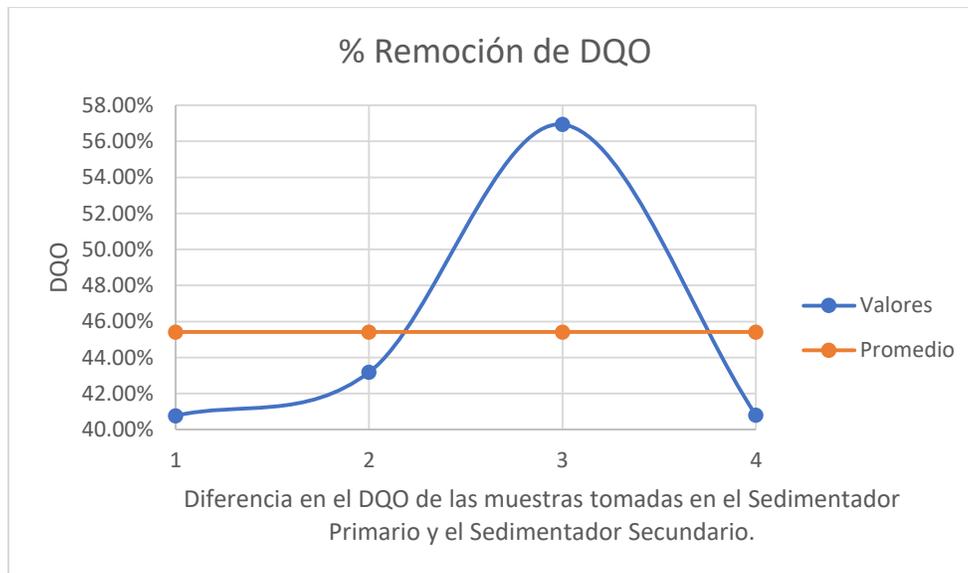
Fuente: elaboración propia (2018)

Tabla 16: Porcentaje de remoción de contaminación

| Fecha | % Remoción | | |
|---------------------|---------------|------------------|--------------------|
| | DQO | DBO ₅ | Coliformes Fecales |
| 25 de abril de 2018 | 40.77% | 46.83% | 43.33% |
| 26 de abril de 2018 | 43.18% | 49.64% | 37.50% |
| 2 de mayo de 2018 | 56.94% | 55.19% | 59.33% |
| 3 de mayo de 2018 | 40.80% | 39.22% | 62.50% |
| Promedio | 45.42% | 47.72% | 50.67% |

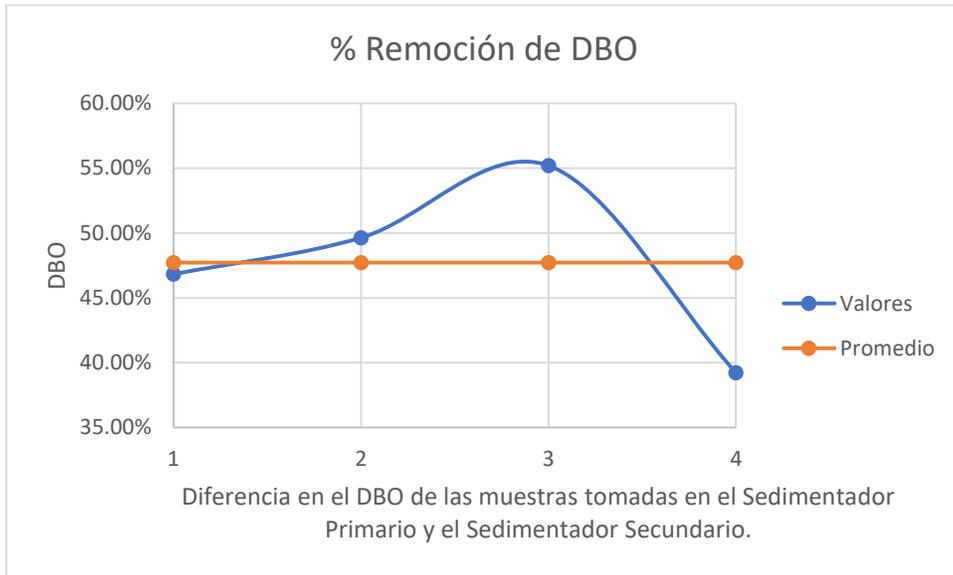
Fuente: elaboración propia (2018)

Gráfico 15: Porcentaje de remoción de DQO



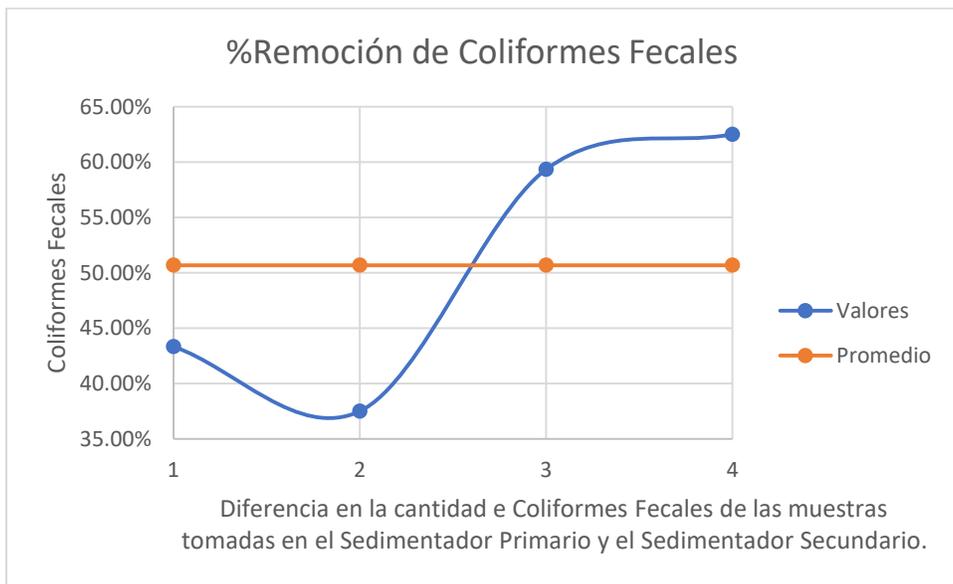
Fuente: elaboración propia (2018)

Gráfico 16: Porcentaje de remoción de DBO



Fuente: elaboración propia (2018)

Gráfico 17: Porcentaje de remoción de coliformes fecales



Fuente: elaboración propia (2018)

Tabla 17: Eficiencia requerida en tratamiento terciario para cumplimiento de Acuerdo Gubernativo 236-2006 en las condiciones actuales – Etapa 1

| #Muestra | Sedimentador | Fecha | Coliformes Fecales (NMP/100mL) | Al pasar por el Tratamiento Terciario | Con un 92% de remoción en el Tratamiento Terciario |
|-----------------|--------------|---------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--|
| 1 | Secundario | 25 de abril de 2018 | 1.70E+07 | 1.07E+07 | 1.36E+06 |
| 2 | Secundario | 26 de abril de 2018 | 1.50E+07 | 9.45E+06 | 1.20E+06 |
| 3 | Secundario | 2 de mayo de 2018 | 6.10E+06 | 3.84E+06 | 4.88E+05 |
| 4 | Secundario | 3 de mayo de 2018 | 9.00E+06 | 5.67E+06 | 7.20E+05 |
| Promedio | | | 1.18E+07 | 7.42E+06 | 9.42E+05 |

Fuente: elaboración propia (2018)

Tabla 18: Proyección de eficiencias al 75% del tratamiento secundario y terciario Etapa 1

| #Muestra | Sedimentador | Fecha | Coliformes Fecales (NMP/100mL) | Con un 75% de remoción en el Tratamiento Secundario | Al pasar por el Tratamiento Terciario (Remoción actual de 36.99%) | Con un 75% de remoción en el Tratamiento Terciario |
|-----------------|--------------|---------------------|--------------------------------|---|---|--|
| 1 | Primario | 25 de abril de 2018 | 3.00E+07 | 7.50E+06 | 4.73E+06 | 1.88E+06 |
| 2 | Primario | 26 de abril de 2018 | 2.40E+07 | 6.00E+06 | 3.78E+06 | 1.50E+06 |
| 3 | Primario | 2 de mayo de 2018 | 1.50E+07 | 3.75E+06 | 2.36E+06 | 9.38E+05 |
| 4 | Primario | 3 de mayo de 2018 | 2.40E+07 | 6.00E+06 | 3.78E+06 | 1.50E+06 |
| Promedio | | | 2.33E+07 | 5.81E+06 | 3.66E+06 | 1.45E+06 |

Fuente: elaboración propia (2018)

Tabla 19: Proyección de eficiencias al 80% del tratamiento secundario y terciario Etapa 1

| #Muestra | Sedimentador | Fecha | Coliformes Fecales (NMP/100mL) | Con un 80% de remoción en el Tratamiento Secundario | Al pasar por el Tratamiento Terciario (Remoción actual de 36.99%) | Con un 80% de remoción en el Tratamiento Terciario |
|-----------------|--------------|---------------------|--------------------------------|---|---|--|
| 1 | Primario | 25 de abril de 2018 | 3.00E+07 | 6.00E+06 | 3.78E+06 | 1.20E+06 |
| 2 | Primario | 26 de abril de 2018 | 2.40E+07 | 4.80E+06 | 3.02E+06 | 9.60E+05 |
| 3 | Primario | 2 de mayo de 2018 | 1.50E+07 | 3.00E+06 | 1.89E+06 | 6.00E+05 |
| 4 | Primario | 3 de mayo de 2018 | 2.40E+07 | 4.80E+06 | 3.02E+06 | 9.60E+05 |
| Promedio | | | 2.33E+07 | 4.65E+06 | 2.93E+06 | 9.30E+05 |

Fuente: elaboración propia (2018)

Tabla 20: Eficiencia Requerida en tratamiento terciario para cumplimiento de Acuerdo Gubernativo 236-2006 en las condiciones actuales – Etapa 2

| #Muestra | Sedimentador | Fecha | Coliformes Fecales (NMP/100mL) | Al pasar por el Tratamiento Terciario | Con un 99.16% de remoción en el Tratamiento Terciario |
|-----------------|--------------|---------------------|--------------------------------|---------------------------------------|---|
| 1 | Secundario | 25 de abril de 2018 | 1.70E+07 | 1.07E+07 | 1.43E+05 |
| 2 | Secundario | 26 de abril de 2018 | 1.50E+07 | 9.45E+06 | 1.26E+05 |
| 3 | Secundario | 2 de mayo de 2018 | 6.10E+06 | 3.84E+06 | 5.12E+04 |
| 4 | Secundario | 3 de mayo de 2018 | 9.00E+06 | 5.67E+06 | 7.56E+04 |
| Promedio | | | 1.18E+07 | 7.42E+06 | 9.89E+04 |

Fuente: elaboración propia (2018)

Tabla 21: Proyección de eficiencias al 95% del tratamiento secundario y terciario Etapa 2

| #Muestra | Sedimentador | Fecha | Coliformes Fecales (NMP/100mL) | Con un 95% de remoción en el Tratamiento Secundario | Al pasar por el Tratamiento Terciario (Remoción actual de 36.99%) | Con un 95% de remoción en el Tratamiento Terciario |
|-----------------|--------------|---------------------|--------------------------------|---|---|--|
| 1 | Primario | 25 de abril de 2018 | 3.00E+07 | 1.80E+06 | 1.13E+06 | 1.08E+05 |
| 2 | Primario | 26 de abril de 2018 | 2.40E+07 | 1.44E+06 | 9.07E+05 | 8.64E+04 |
| 3 | Primario | 2 de mayo de 2018 | 1.50E+07 | 9.00E+05 | 5.67E+05 | 5.40E+04 |
| 4 | Primario | 3 de mayo de 2018 | 2.40E+07 | 1.44E+06 | 9.07E+05 | 8.64E+04 |
| Promedio | | | 2.33E+07 | 1.40E+06 | 8.79E+05 | 8.37E+04 |

Fuente: elaboración propia (2018)

Tabla 22: Características de los agujeros en cada ramal del filtro percolador

| | | Agujeros | Diámetro (pulg) | Diámetro (m) |
|--------------------|-----------------|----------|-----------------|--------------|
| Parámetros: | Actuales | 27 | 0.250 | 0.00635 |
| | Nuevos | 15 | 0.125 | 0.00318 |

Fuente: elaboración propia (2018)

Tabla 23: Análisis de ancho mojado con datos prácticos – 2017

| | | Con Corrección | | De León (2017) |
|------------------|--------------|------------------|--|----------------|
| Ancho mojado (m) | Caudal (L/s) | Ancho mojado (m) | | |
| 1.30 | 8.01 | 4.68 | | |

Fuente: elaboración propia (2018)

Tabla 24: Análisis de Ancho mojado con datos teóricos – 2018

| | | Con Corrección | González (2018) |
|------------------|--------------|------------------|--------------------|
| Ancho mojado (m) | Caudal (L/s) | Ancho mojado (m) | |
| 0.17 | 1.07 | 0.63 | |

Fuente: elaboración propia (2018)

Tabla 25: Relación de ramales abiertos y ancho mojado

| Ramales abiertos | Ancho mojado (m) |
|------------------|------------------|
| 1 ramal | 3.75 |
| 2 ramales | 1.88 |
| 3 ramales | 1.25 |
| 4 ramales | 0.94 |
| 5 ramales | 0.75 |
| 6 ramales | 0.63 |

Fuente: elaboración propia (2018)

Tabla 26: Capacidad de la bomba solar PS150 BOOST-300

| Capacidad de la bomba solar | |
|-----------------------------|--------------------|
| Flujo máximo (m3/h) | Flujo máximo (L/s) |
| 1.3 | 0.36 |

Fuente: Bernt Lorentz GmbH & Co. KG (2018)

Tabla 27: Recirculación con bomba solar PS150 BOOST-300

| % Recirculado | Caudal (L/s) | Caudal con Recirculación (L/s) |
|---------------|--------------|--------------------------------|
| 34% | 1.07 | 1.43 |

Fuente: elaboración propia (2018)

Tabla 28: Relación de ancho mojado con caudal recirculado

| | | Con Corrección |
|------------------|--------------|------------------|
| Ancho mojado (m) | Caudal (L/s) | Ancho mojado (m) |
| 0.23 | 1.43 | 0.84 |

Fuente: elaboración propia (2018)

Tabla 29: Relación de ramales abiertos y ancho mojado con recirculación

| Ramales abiertos | Ancho mojado (m) |
|------------------|------------------|
| 1 ramal | 5.02 |
| 2 ramales | 2.51 |
| 3 ramales | 1.67 |
| 4 ramales | 1.25 |
| 5 ramales | 1.00 |
| 6 ramales | 0.84 |

Fuente: elaboración propia (2018)

Tabla 30: Relación de porcentaje de recirculación y ancho mojado con capacidad de la bomba

| Capacidad bomba | | En cada ramal | | Con Corrección |
|--------------------|---------------|--------------------|------------------|------------------|
| Flujo máximo (L/s) | % Recirculado | Nuevo caudal (L/s) | Ancho mojado (m) | Ancho mojado (m) |
| 0.30 | 28% | 1.37 | 0.22 | 0.80 |
| 0.33 | 31% | 1.40 | 0.23 | 0.82 |
| 0.36 | 34% | 1.43 | 0.23 | 0.84 |
| 0.39 | 36% | 1.46 | 0.24 | 0.85 |
| 0.42 | 39% | 1.49 | 0.24 | 0.87 |
| 0.45 | 42% | 1.52 | 0.25 | 0.89 |
| 0.48 | 45% | 1.55 | 0.25 | 0.91 |
| 0.51 | 48% | 1.58 | 0.26 | 0.92 |
| 0.54 | 50% | 1.61 | 0.26 | 0.94 |
| 0.57 | 53% | 1.64 | 0.27 | 0.96 |
| 0.60 | 56% | 1.67 | 0.27 | 0.98 |
| 0.63 | 59% | 1.70 | 0.28 | 0.99 |
| 0.66 | 62% | 1.73 | 0.28 | 1.01 |
| 0.69 | 64% | 1.76 | 0.29 | 1.03 |
| 0.72 | 67% | 1.79 | 0.29 | 1.05 |

Fuente: elaboración propia (2018)

Tabla 31: Relación de capacidad de la bomba con ancho mojado con diferente cantidad de ramales abiertos

| Capacidad bomba | Con Corrección | | | | | |
|--------------------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Ancho mojado (m) | | | | | |
| Flujo máximo (L/s) | 1 ramal | 2 ramales | 3 ramales | 4 ramales | 5 ramales | 6 ramales |
| 0.30 | 4.80 | 2.40 | 1.60 | 1.20 | 0.96 | 0.80 |
| 0.33 | 4.91 | 2.45 | 1.64 | 1.23 | 0.98 | 0.82 |
| 0.36 | 5.01 | 2.51 | 1.67 | 1.25 | 1.00 | 0.84 |
| 0.39 | 5.12 | 2.56 | 1.71 | 1.28 | 1.02 | 0.85 |
| 0.42 | 5.22 | 2.61 | 1.74 | 1.31 | 1.04 | 0.87 |
| 0.45 | 5.33 | 2.66 | 1.78 | 1.33 | 1.07 | 0.89 |
| 0.48 | 5.43 | 2.72 | 1.81 | 1.36 | 1.09 | 0.91 |
| 0.51 | 5.54 | 2.77 | 1.85 | 1.38 | 1.11 | 0.92 |
| 0.54 | 5.64 | 2.82 | 1.88 | 1.41 | 1.13 | 0.94 |
| 0.57 | 5.75 | 2.87 | 1.92 | 1.44 | 1.15 | 0.96 |
| 0.60 | 5.85 | 2.93 | 1.95 | 1.46 | 1.17 | 0.98 |
| 0.63 | 5.96 | 2.98 | 1.99 | 1.49 | 1.19 | 0.99 |
| 0.66 | 6.06 | 3.03 | 2.02 | 1.52 | 1.21 | 1.01 |
| 0.69 | 6.17 | 3.08 | 2.06 | 1.54 | 1.23 | 1.03 |
| 0.72 | 6.28 | 3.14 | 2.09 | 1.57 | 1.26 | 1.05 |

Fuente: elaboración propia (2018)

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el estudio realizado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, se evaluó el estado actual de su tratamiento secundario en temporada seca, basándose en parámetros tales como el DQO, DBO, coliformes fecales, pH y temperatura.

El incentivo para la ejecución del presente estudio fue un trabajo de graduación del año anterior, en la que el Ingeniero Luis Antonio García Gutiérrez (2017) realizó un estudio sobre el cumplimiento de remoción de coliformes fecales en el tratamiento terciario de esta PTAR, se concluyó que el problema de esta planta no es el tratamiento terciario y recomendó realizar estudios preliminares a dicho tratamiento.

Puesto que el estudio que sirve como precedente para futuras investigaciones está enfocado en el tratamiento terciario, con motivo de seguir un orden lógico, el presente trabajo se enfoca en el tratamiento secundario, buscando determinar si la causa del problema es esta etapa o, por el contrario, deberá realizarse un futuro estudio en el tratamiento primario.

Previo a comenzar con los muestreos de las aguas residuales en la PTAR, se realizó un estudio preliminar, realizado el viernes 02 de marzo de 2018, con el objetivo de analizar el estado actual del tratamiento secundario de la planta. Con ello, fue posible reconocer las áreas en que se tomarían las muestras y plantear soluciones a problemas específicos que afectan a esta etapa.

Se determinó que no existen entradas o salidas al tratamiento secundario por medio de tuberías abiertas, por lo que se analizó el tipo de descarga que se emplea; así como los puntos en que se hace posible la toma de muestras. Con ello, se llegó a la conclusión que la descarga es de tipo cascada en el punto final del tratamiento primario (no es posible realizar el muestreo justo al inicio del secundario), teniendo el mismo tipo de descarga (cascada) al final del tratamiento secundario.

Además, pudo apreciarse que el filtro percolador no cuenta con las condiciones ideales para llevar a cabo un desempeño óptimo. Es por ello que se tomó como base la información proporcionada por De León, R. (2017), en donde indica que para aumentar la eficiencia del filtro percolador deben utilizarse 15 agujeros en cada ramal, con un diámetro de 1/8" cada uno. A partir de ello, se plantean dos soluciones que tienen como finalidad el aumento del área de contacto de las aguas residuales con las rocas volcánicas en el filtro percolador.

Otro dato relevante obtenido durante la primera visita fue que el Sedimentador Primario 2 actualmente se utilizaría en lugar del Sedimentador Primario 1, en caso de emergencias, siempre y cuando haya recibido un tratamiento

previo adecuado. No obstante, al momento de que la población estudiantil aumente y el agua residual tratada supere a la capacidad del sedimentador primario 1, el Sedimentador Primario 2 dejará de ser de uso exclusivo para emergencias y se empleará de manera fija para poder llevar a cabo las funciones de la PTAR de manera óptima. Es importante mencionar que la PTAR está proyectada para una carga de 20,084 personas para el año 2039, incluyendo población estudiantil, docente y administrativa.

Posterior a la visita preliminar, se realizó una segunda visita a la PTAR, el miércoles 25 de abril del 2018, para realizar el primer muestreo. Con ello se logró determinar la temperatura y el pH del agua residual en el sedimentador primario 1 y del sedimentador secundario 1; además las muestras captadas fueron llevadas al Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico -LAFYM- para analizar el DQO, DBO y coliformes fecales.

Este proceso fue llevado a cabo tres veces más, los días: jueves 26 de abril, miércoles 2 de mayo y jueves 3 de mayo del 2018. En los cuatro muestreos se utilizó la misma hora de referencia; siendo la toma de muestras en el sedimentador primario a las 12:10 p.m. y en el sedimentador secundario a las 12:30 p.m.

A lo largo del estudio se realizaron 5 mediciones de caudal. Para ello, se plantearon dos métodos distintos, siendo estos el del flotador y un método empírico recolectando el agua residual con ayuda de una cubeta y una pala. Esto debido a que el caudal a la salida de los sedimentadores primario y secundario es en forma de cascada lo cual impide tomar la muestra en forma directa.

El primero de estos métodos fue descartado, ya que el flujo en la superficie del sedimentador, tanto primario como secundario, no era capaz de mover la pelota de ping pong hasta el final del segmento establecido. Además, el movimiento del flotador se daba más hacia los lados que hacia adelante, alterando el resultado final de manera negativa. Es por ello que se decidió descartar el método y utilizar el otro más empírico.

El segundo método utilizado fue recibir el agua residual de una manera más directa en la cubeta, siendo diferente en el sedimentador primario y secundario. En el primario, al tener un área funcional reducida, el flujo era mayor en esta sección, causando que se despegara de la pared del sedimentador. Por ello, fue posible realizar la toma directamente con la cubeta, obteniendo los datos mostrados en la Tabla 8.

Posteriormente, se realizó la determinación del tiempo de llenado en el sedimentador secundario, con la diferencia que, en esta área, todo el sedimentador funcionaba de manera adecuada, con una salida de agua residual uniforme, causando una disminución en el flujo de cada sección. Es por ello que, al tener el flujo resbalando por la pared del sedimentador, se hizo necesario utilizar una pala

que permitiera dirigir el fluido hacia la cubeta hasta que ésta se llenara, determinando el tiempo de este proceso. Estos datos se muestran en la Tabla 8.

Como se mencionaba previamente, pese a que ambos sedimentadores (primario y secundario) cuentan con las mismas medidas, estos tienen anchos funcionales diferentes, teniendo el primario un funcionamiento únicamente de 0.435m de los 2.18 disponibles; mientras el secundario abarca los 2.18m disponible, reflejando un funcionamiento óptimo de la sección de salida. Los datos mencionados pueden apreciarse en la Tabla 9.

Para el cálculo del caudal se utilizan las medidas mostradas en la Tabla 10 y, con base en el ancho funcional de cada sedimentador (Tabla 9), se determina la cantidad de veces que el instrumento empleado para dirigir el agua residual a la cubeta (ancho de pala o diámetro de cubeta) que cabría en este espacio, obteniendo los datos mostrados en la Tabla 12. Es así como se calculó que el ancho funcional del sedimentador primario que es únicamente 1.5 veces el tamaño de la cubeta empleada para realizar la captación del agua residual. Por otro lado, en el sedimentador secundario, donde se aprovecha su ancho total (2.18m), la pala utilizada cabría 8.9 veces.

Utilizando estos datos y las fórmulas 5, 6, 7 y 8, se determinó el caudal en cada uno de los sedimentadores analizados, teniendo como resultados promedio 1.07L/s en el primario y 1.46L/s en el secundario (Tabla 12).

Para cumplir con el primer objetivo planteado en la presente investigación, se procedió a analizar los resultados obtenidos, como se muestra en la Tabla 11, mostrando el DQO, DBO, coliformes fecales, temperatura y pH en cada una de las 8 muestras; siendo los primeros tres parámetros analizados por LAFYM y los últimos dos analizados in situ.

A manera de analizar cada sedimentador por separado, con base en los datos mostrados en la Tabla 11, se crean las tablas 13 y 14, en donde se colocan los datos de los 5 parámetros mencionados con anterioridad, en el sedimentador primario y secundario, respectivamente.

Analizando la Tabla 13, pudo apreciarse que el valor promedio de los valores analizados fue de 658mg/L para DQO, 449mg/L para DBO, 2.33×10^7 NMP/100mL para coliformes fecales, 27°C para temperatura y 7.52 de pH. A partir de estos datos se construyen los gráficos 2, 3, 4, 5 y 6; continuando con el orden mencionado.

Es estos gráficos se puede apreciar que no existe una tendencia entre los cinco parámetros analizados, puesto que cada gráfica tiene un comportamiento distinto; siendo la mayor relación entre el DBO y pH, en donde difieren en el comportamiento del primer punto, teniendo en ambos casos un punto máximo en el segundo y una disminución que se mantiene constante en los dos puntos posteriores.

Esto es importante puesto que se demuestra que el asueto del día del trabajo no fue un factor determinante en la variación de los parámetros en el sedimentador primario, ya que el flujo se regularizó a la hora de la toma de muestra y se obtuvieron resultados cercanos al promedio de las muestras anteriores.

A su vez, se llevó a cabo el análisis de la Tabla 14, en donde el valor promedio de los valores analizados fue de 358mg/L para DQO, 234mg/L para DBO, 1.18×10^7 NMP/100mL para coliformes fecales, 25°C para temperatura y 7.25 de pH. Partiendo de estos datos se construyen los gráficos 7, 8, 9, 10 y 11, respectivamente.

Nuevamente, no se muestra una relación marcada entre los comportamientos de los datos obtenidos para cada parámetro; sin embargo, sí puede apreciarse un punto mínimo en el punto tres (2 de mayo) para DQO, DBO y coliformes fecales.

Esto se debió a que el flujo se encontraba regularizado a la hora de tomar la muestra, junto con la contaminación que éste implica; sin embargo, esto ocurría en el sedimentador primario y el agua residual con las características de contaminación inferior (del asueto) llegaron al sedimentador secundario en ese momento, causando la variación indicada. Lo anterior se fundamenta con que el tiempo de retención en cada etapa que es de un día.

Habiendo calculado el caudal y teniendo los resultados de los parámetros analizados, se procedió a determinar la eficiencia de remoción de carga microbiana del tratamiento secundario de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Campus Central de la Universidad Rafael Landívar, puesto que este es el segundo objetivo planteado en la presente investigación.

Para lo anterior, fue necesario realizar el cálculo de la remoción de contaminación después de que el agua residual pasara por el tratamiento secundario (Tabla 15), tomando como dato inicial el valor de DQO, DBO y coliformes fecales en la salida del sedimentador primario (Tabla 13), y considerando como dato final los mismos parámetros en la salida del sedimentador secundario (tabla 14).

Los resultados promedio de remoción fueron 300mg/L para DQO, 216mg/L para DBO y una remoción de 1.15×10^7 NMP/100mL para coliformes fecales, obteniendo porcentajes de remoción de 45.42%, 47.72% y 50.67%, respectivamente, como se muestra en la tabla 16.

Cabe mencionar que los gráficos 12, 13 y 14 se encuentran relacionados a los datos de la Tabla 15, mientras los gráficos 15, 16 y 17 se enlazan con los valores mostrados en la Tabla 16. Es por ello que un análisis de estos gráficos se vuelve necesario para aclarar cómo fue la remoción en cada uno de los parámetros.

Previo a este análisis, es necesario establecer que la remoción es únicamente la diferencia entre la carga contaminante inicial y la final; mientras el

porcentaje de remoción es la división de esta diferencia, dentro de la carga contaminante inicial. Asimismo, aunque la cantidad de contaminación removida sea la misma, el porcentaje de remoción es inversamente proporcional a la carga inicial, por lo que éste será menor al tener una contaminación inicial alta.

En la comparación entre la remoción y el porcentaje de remoción de DQO, gráficos 12 y 15 respectivamente, puede apreciarse un comportamiento similar, con una pequeña variación en los primeros dos puntos, teniendo una leve disminución en el primero y aumento en el segundo. Posteriormente, se sigue con el patrón, con un aumento considerable en el tercer punto (único superior al promedio en ambas gráficas) y una disminución en el cuarto.

Las variaciones en los primeros dos puntos se deben a que la carga contaminante de DQO en el primer punto es mayor que la obtenida en el segundo (56mg/L), con una remoción considerablemente menor a la diferencia entre estos datos (8mg/L), siendo dicha remoción un séptimo de la diferencia entre contaminaciones iniciales. Dicho de otro modo, al ser la contaminación final de DQO únicamente 48mg/L (6/7 de la inicial) se puede observar la diferencia que causa la desviación entre los gráficos 12 y 15.

Adicionalmente, en el punto tres se muestra un punto máximo, debido a que la contaminación de DQO es considerablemente mayor a las demás (la más alta de las 4 mediciones), con una contaminación final baja (la menor de todas), dando como resultado la mayor remoción de DQO de los cuatro muestreos, reflejándose en ambos gráficos.

Contrario al caso del DQO, en el DBO los gráficos 13 y 16 muestran un comportamiento totalmente diferente en tres de sus cuatro puntos. En este caso, el primer punto, cuya remoción está por encima del promedio, al ser analizado en el porcentaje de remoción se aprecia que el valor está por debajo del promedio; debiéndose a que, a pesar de mostrar coherencia en sus datos al ser el segundo con mayor remoción de DBO, contaminación inicial y final, la contaminación inicial es 1.88 veces la final (tercer lugar en este tipo de relación, la cual permite apreciar que se removió menos de la mitad de la contaminación inicial). Además, los datos de los puntos dos y tres se comportaron de manera diferente entre las dos gráficas, aumentando el promedio y dejando al primero por debajo de este.

Habiendo establecido que el primer punto tuvo un comportamiento similar en ambos casos, siendo su variación el estar sobre el promedio en remoción y por debajo en porcentaje de remoción, queda claro que el comportamiento distinto entre gráficos es causado por los puntos dos y tres. Es por ello que al realizar el análisis del segundo punto, puede notarse que, aunque en la remoción es el punto máximo, en el porcentaje de remoción ocupa el segundo lugar, ya que su contaminación inicial es 1.99 veces la final; mientras que, el punto tres, siendo el tercer lugar en remoción pasa a ser el primero en porcentaje de remoción, debido a que su DBO

inicial es 2.23 veces la final, pasando de estar en el promedio a ser el punto máximo por encima del promedio.

Los gráficos de coliformes fecales (13 y 16) también mostraron diferencias significativas entre sí, siendo causadas por los mismos factores que se discutieron con el DBO.

Como se mencionaba anteriormente, existieron factores que afectaron levemente estos valores, tales como el asueto del Día del Trabajo y la implementación de deflectores en el tratamiento secundario, por lo que debe considerarse que la eficiencia de remoción puede variar en pequeña medida, obteniendo una eficiencia de remoción menor.

Pese a las inevitables variaciones, los datos se emplearán para cumplir con el tercer objetivo planteado, en el que se busca calcular la eficiencia de remoción microbiana, coliformes fecales, necesaria, del tratamiento terciario, para cumplir con el límite máximo permisible, basándose en los parámetros establecidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006, considerando la carga microbiana al final del tratamiento secundario.

Debido a ello, debe considerarse que la cantidad máxima de coliformes fecales que pueden permitirse en la salida del tratamiento terciario, al desembocar en el Río Contreras. Asimismo, debe tenerse en cuenta el porcentaje de remoción microbiana obtenido en el presente estudio; así como el porcentaje de remoción microbiana del tratamiento terciario, tomando como base la información brindada por García, L. (2017).

Es por ello que se utilizará como base el 50.67% de remoción microbiana del tratamiento secundario para determinar el porcentaje de remoción necesario en el tratamiento terciario para cumplir con la cantidad de 1.00×10^5 NMP/100mL exigido por el Acuerdo Gubernativo 236-2006 en su segunda etapa, comparando después con el 36.99% de remoción indicado por García, L. (2007).

Previo a ello, se hace necesario analizar la etapa 1 del Acuerdo Gubernativo 236-2006, con límite máximo permisible de 1.00×10^6 NMP/100mL, buscando tener una idea del panorama que se tiene para el cumplimiento de la segunda etapa. Por ello se elaboró la tabla 17, con la que se determinó que el tratamiento terciario necesitaría un 92% de eficiencia para cumplir con la cantidad de contaminación microbiana máxima exigida en la etapa 1 del Acuerdo Gubernativo 236-2006. En caso de que la eficiencia bajara un 1% (a 91%), la carga microbiana tendría un valor final de 1.06×10^6 NMP/100mL, incumpliendo con la norma.

Por lo anterior, se determina que la eficiencia requerida en el tratamiento terciario es extremadamente alta, tanto para la PTAR de la Universidad Rafael Landívar, como para la mayoría de PTAR en Guatemala; por lo que deben buscarse otras alternativas.

De dicha necesidad surge la tabla 18, en la que se realiza una proyección de los porcentajes de remoción para determinar una combinación adecuada en la que tanto el tratamiento secundario como terciario puedan complementarse para obtener los valores establecidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006, con un porcentaje de remoción alcanzable en cada etapa.

En dicha tabla, se utiliza un 75% de remoción en cada una de las etapas; sin embargo, el valor obtenido al salir de la PTAR es de 1.45×10^6 NMP/100mL, estando aún por encima de los valores deseados. Así que, aumentando este porcentaje a un 80% (tabla 19), el valor de los coliformes fecales desciende a 9.3×10^5 NMP/100mL, cumpliendo con lo requerido por el Acuerdo Gubernativo 236-2006 en su primera etapa.

Un 80% de eficiencia de remoción en carga microbiana es elevado, por lo que puede afirmarse que deben realizarse mejoras en el tratamiento primario, a manera de que el agua residual llegue con una contaminación menor a los tratamientos posteriores y, con una eficiencia menor a la mencionada, puedan cumplirse los requisitos impuestos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

Los porcentajes previamente mencionados brindan un panorama desalentador al cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 236-2006 en su segunda etapa, puesto que el porcentaje de remoción microbiana deberá considerablemente alto para satisfacer lo establecido en dicho acuerdo.

Realizando los mismos cálculos que para la primera etapa del Acuerdo, se crea la Tabla 20, en la que se muestra que el tratamiento terciario debería poseer un 99.16% de remoción microbiana para cumplir con la segunda etapa del Acuerdo Gubernativo 236-2006, debido a que el límite permisible pasa a ser de 1.00×10^5 NMP/100mL.

Asimismo, en la Tabla 21 se determina que en caso de que el tratamiento secundario y terciario tuvieran la misma eficiencia, esta debería ser del 94% para cumplir con los parámetros mencionados con anterioridad. Por tal motivo, puede remarcarse la necesidad de llevar a cabo mejoras en el tratamiento primario.

Como cuarto y último objetivo se busca plantear mejoras al tratamiento secundario actual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Campus Central de la Universidad Rafael Landívar con base en los datos obtenidos, a manera de aumentar el porcentaje de remoción microbiana y acercarse a cumplir con el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

Como se mencionaba previamente, después de realizar la observación preliminar de la situación, se plantean dos opciones; teniendo ambas como punto de partida la implementación de las soluciones propuestas por De León, R. (2017), que consisten en colocar 15 agujeros en cada ramal (actualmente cada uno tiene

27), con un diámetro de 1/8" cada uno (en la actualidad, cada agujero tiene un diámetro de 1/4").

Con ello se lograría reducir el área de salida, teniendo una presión mayor, debido a que estas dos variables son inversamente proporcionales; por lo que se propiciará que las aguas residuales que salen de cada agujero alcancen mayores alturas, ocasionando que se abarque un área mayor de rocas volcánicas humedecidas.

Considerando que el filtro percolador tiene un ancho de 18 metros y 6 ramales, la distribución puede ser uniforme, colocando el primer ramal a 1.5m del inicio de dicho filtro percolador; colocando los siguientes 5 ramales a 3m de distancia uno del otro, teniendo el sexto ramal a 16.5m del inicio y 1.5m del final.

Aplicando lo anterior, se obtiene una distribución más uniforme del área mojada y cálculos más precisos al momento de poner la mejora en práctica; haciendo que se necesite un área mojada total, por ramal, de 3 metros (1.5m para cada lado).

Tomando estas mejoras como punto de partida, se obtiene un aumento considerable del área mojada, como puede apreciarse en la tabla 23, en la que se muestra el aumento de dicha área con base en datos prácticos de De León (2017), considerando el caudal que se manejaba en ese momento.

Asimismo, como se refleja en la tabla 24, el aumento en el área mojada teórica sería de 3.7 veces, considerando el dato práctico de caudal, obtenido en la presente investigación; pasando de 0.17m a 0.63m (considerando una salida uniforme en los 6 ramales). Este dato es bajo, tomando en cuenta que la separación óptima entre ramales debe ser de 3 metros; sin embargo, existen medidas complementarias para esta solución.

Con el objetivo de aumentar el caudal en los ramales, se plantea el uso de válvulas, colocándolas cada uno de los ramales, a manera de que gradualmente, conforme aumente la población estudiantil, vayan abriéndose más ramales, aprovechando el área total del sedimentador en operación.

Lo anterior se refleja en la tabla 25, en donde se muestra que actualmente, con las mejoras mencionadas ya consideradas, debería abrirse únicamente un ramal; obteniendo un ancho mojado de 3.75m.

No obstante, este ancho mojado puede aumentarse considerablemente al utilizar una recirculación. Para ello, será necesario el uso de una bomba solar, ya que la PTAR de la Universidad Rafael Landívar se caracteriza por no emplear energía eléctrica, aprovechando la estructura del terreno y, en este caso, la luz solar.

La bomba solar PS150 BOOST-300 es capaz de succionar un flujo máximo de $1.3\text{m}^3/\text{h}$ (0.36L/s), como se muestra en la tabla 26, siendo esto un 34% del flujo del caudal actual que sale del sedimentador primario; ocasionando que el caudal con recirculación ascienda a 1.43L/s , como puede apreciarse en la tabla 27.

Esto aumentaría el ancho mojado (con correcciones incluidas) de 0.63m (tabla 24) a 0.84m (tabla 28) y abriría la posibilidad al uso de 2 ramales con un ancho mojado casi ideal, como se refleja en la tabla 29.

En caso de conseguirse o necesitarse una bomba con una capacidad diferente a la analizada, se realizan las tablas 30 y 31, en las que se muestran diferentes porcentajes de recirculación, con los nuevos caudales y anchos mojados alcanzados; así como la relación que tendrían con el ancho mojado que podría obtenerse.

Las tablas se realizan hasta 0.72L/s , correspondiente a 67% del caudal actual, ya que recircular una cantidad mayor a $2/3$ no sería coherente. Con este máximo de recirculación, puede apreciarse que el nuevo caudal sería de 1.79L/s , alcanzando 1.05m con correcciones de agujeros incluidas. Asimismo, sería posible emplear 3 ramales con una eficiencia considerable de área mojada.

Adicionalmente, se plantea una segunda solución, que también es complemento de la corrección de agujeros en los ramales y la redistribución de estos, pero a su vez es excluyente del uso de válvulas y recirculación. Esta consiste en brindar una mayor área de contacto de las aguas residuales con las rocas volcánicas cortando las tuberías y colocando un $\text{Te } 90^\circ$ como conector, a manera de conectar todas las tuberías entre sí, abarcando mayor área del filtro percolador y haciendo el caudal más uniforme. Esto ocasionaría que la actividad de las bacterias sea más uniforme, teniendo los nutrientes necesarios para llevar a cabo un proceso metabólico más eficiente, reduciendo la contaminación de las aguas residuales de manera óptima. A esta solución, puede realizársele una recirculación, como en la primera opción, aumentando el caudal y, por ende, el área mojada.

CAPÍTULO VI CONCLUSIONES

1. Los valores promedio para los parámetros de DQO, DBO, coliformes fecales, pH y temperatura del agua residual en la salida del tratamiento primario son 658mg/L, 449mg/L, 2.33×10^7 NMP/100mL, 27°C y 7.52, respectivamente. A su vez, siguiendo el mismo orden, los valores promedio de estos parámetros en la salida del tratamiento secundario son 358mg/L, 234mg/L, 1.18×10^7 , 25°C y 7.25.
2. La diferencia entre los valores promedio de los parámetros DQO, DBO y coliformes fecales, después de pasar por el tratamiento secundario, es de 300mg/L, 216mg/L y 1.15×10^7 NMP/100mL, respectivamente; derivando en un porcentaje de remoción de 45.42%, 47.72% y 50.67%.
3. Con base en el porcentaje promedio de remoción de coliformes totales (50.67%), se calculó que el tratamiento terciario debería tener una eficiencia de remoción de 99.16%, para cumplir con los valores establecidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006 en su segunda etapa. Es por ello que se analizó el aumento de eficiencia de remoción en el tratamiento secundario y terciario, llegando a la conclusión que la eficiencia de cada uno debe ascender a un 92% para cumplir con los valores establecidos en la segunda etapa del Acuerdo Gubernativo 236-2006.
4. Se plantean dos mejoras imprescindibles en el filtro percolador del tratamiento secundario; siendo estas el uso óptimo de agujeros (15) y diámetros (1/8") en cada ramal y una distribución uniforme de los ramales, aprovechando al máximo el espacio total del filtro percolador (3 metros de distancia entre cada uno).

A partir de ello, pueden implementarse dos mejoras excluyentes entre sí, pudiendo colocar válvulas en cada ramal para aumentar el flujo en los ramales abiertos; complementándose con el uso de una bomba solar para recirculación, aumentando aún más el caudal.

La otra solución, es agregar una Te 90° como conector para aumentar el área de rocas volcánicas humedecidas, pese a disminuir levemente el caudal. A esto puede sumársele el uso de la bomba solar para recirculación.

CAPÍTULO VII RECOMENDACIONES

1. Evaluar la factibilidad y viabilidad de realizar las dos propuestas de mejora en el filtro percolador del tratamiento secundario, de la planta de tratamiento de aguas residuales del Campus Central de la Universidad Rafael Landívar, para aumentar su eficiencia de remoción microbiana y cumplir con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 en su segunda etapa.
2. Proporcionar mantenimiento semestral a los sedimentadores de la PTAR para evitar una formación considerable de lodos en áreas no deseadas; logrando un aumento en el flujo de aguas residuales, lo cual a su vez aumentará la eficiencia de las etapas posteriores. Para ello, deben habilitarse los dos ramales de la PTAR, tanto en el tratamiento primario como secundario, para así poder dar un mantenimiento paralelo.
3. Incentivar la realización de un nuevo estudio sobre la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Campus Central de la Universidad Rafael Landívar enfocado en el tratamiento primario, con el objetivo de determinar el área crítica de la PTAR que debe tratarse para cumplir con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 en su segunda etapa; así como plantear una alternativa para el aumento de la eficiencia de remoción de carga contaminante en dicho tratamiento.
4. Fomentar la realización de un nuevo estudio en el tratamiento secundario con los deflectores implementados y un análisis global de toda la PTAR.
5. Realizar un estudio de la calidad del agua del Río Contreras antes y después de recibir el agua tratada en la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Rafael Landívar, a manera de determinar en qué medida puede afectar este efluente a las especies que habitan en él.

CAPÍTULO VIII REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, F. (2008). Informe final: Sistema de tratamiento de agua residual del Campus Central de la Universidad Rafael Landívar. Guatemala: IAG Consultoría y Construcción.

Alianza por el Agua (2008). Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas. Recuperado 28 de marzo de 2018 de <http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf>

Apha (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater. (21. Ed.). Estados Unidos: Joint Editorial Board.

Asociación Vivamos Mejor (2017). Manual de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales y Manejo de Biodigestores Domiciliarios. Recuperado 28 de marzo de 2018 de: https://issuu.com/asociacionvivamosmejor/docs/manual_aguas_residuales26-04-2012

Bern Lorentz GmbH & Co. KG (2018). PS150 BOOST-330. Recuperado 4 de agosto de 2018 de: www.codesolar.com/Energia-Solar/DOWNLOAD/Codesolar_Lorentz_PS150_boost-330_Bomba_Solar.pdf

Chang, J. (s.f.). Calidad del Agua. Recuperado 28 de marzo de 2018 de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6145/2/Calidad%20de%20Agu a%20Unidad%201%2C2%2C3.pdf>

Congreso de la República de Guatemala. Decreto Número 90-97. Código de Salud. 1997. Guatemala.

De León, R. (2017). Evaluación técnica y propuesta de mejora de los filtros percoladores de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar.

Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas (2014). Calidad del Agua. Recuperado 28 de marzo de 2018 de: www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml

Espigares, M. y Pérez, A., (s.f.). Aguas Residuales. Composición. Recuperado 28 de marzo del 2018 de http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf

Lavagnino, H. (2016). Eficiencia en la remoción de contaminantes de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Rafael Landívar, Campus Central. Tesis inédita. Universidad Rafael Landívar. Guatemala.

Lemus, E. y Recinos, C. (2015). Evaluación del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales del Campus Central de la Universidad Rafael Landívar para el reúso en riego del agua tratada como tratamiento terciario para la remoción de nutrientes. Estudio especial. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

Marketing Perú (2017). Importancia del tratamiento de aguas residuales. Recuperado 15 de abril de: www.quimtiamedioambiente.com/blog/importancia-tratamiento-aguas-residuales/

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la República de Colombia (2003). Decreto Número 3100 de 2003. Recuperado 28 de marzo del 2018 de www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Normativa/Decretos/dec_3100_301003.pdf

Mora, Et. Al. (1990). El grupo coliforme: importancia como indicador sanitario en los abastecimientos de aguas de consumo humano. Recuperado 1 de abril de 2018 de: http://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/2721

Nieves & Domínguez (2010). Probabilidad y Estadística para ingeniería un enfoque moderno. Primera edición. Editorial Mc Graw Hill. México.

Payeras, A. (2011). Parámetros de Calidad de las Aguas de Riego. Recuperado 28 de marzo de 2018 de: www.bonsaimenorca.com/articulos/articulos-tecnicos/parametros-de-calidad-de-las-aguas-de-riego/

Presidencia de la República de Guatemala. Acuerdo Gubernativo 236-2006. Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos. 2006. Guatemala.

Ramalho, R. (1993). Tratamiento de aguas residuales. (1ª. Ed.). Barcelona, España: Editorial Reverté, S.A.

Real Academia Española. Microorganismo. Recuperado Consultado 20 de junio de 2018 de dle.rae.es/?id=PBTNZZm

Real Academia Española. Muestreo. Recuperado Consultado 20 de junio de 2018 de <http://dle.rae.es/?id=Q0I3R3U>

Recinos, C. y Barrios, M. (2010). Guía para el muestreo y determinación de pruebas de laboratorio de planta-escuela de tratamiento de agua residual del Campus Central, Universidad Rafael Landívar. Tesis inédita. Universidad Rafael Landívar. Guatemala.

Russell, D. (2012). Tratamiento de las aguas residuales: Un enfoque práctico. (1ª. Ed.). Barcelona, España: Editorial Reverté, S.A.

Servicio Geológico de los Estados Unidos (2017). Calidad del Agua. Recuperado 28 de marzo de 2018 de <https://water.usgs.gov/gotita/waterquality.html>

Valter (1990). Módulo de formación y de perfeccionamiento personal de las plantas de tratamiento de aguas residuales. (1ª. Ed.). Lima: CEPIS.

ANEXOS

ANEXO A: GLOSARIO

Aguas Residuales: Toda agua que después de ser utilizada posea contaminantes, productos agresivos y/o microorganismos patógenos, haciendo el fluido inadecuado para consumo humano. (Asociación Vivamos Mejor, 2017)

Aguas Negras: Agua contaminada con materia fecal y orina proveniente tanto de animales como humanos. (Marketing Perú, 2017)

Calidad de Agua: Término empleado para describir las características químicas, físicas y biológicas del agua; siendo este dependiente del uso que se le dará. (Servicio Geológico de los Estados Unidos, 2017)

Carga Contaminante: Resultado de multiplicar el caudal promedio por la concentración de la sustancia contaminante; expresándose, generalmente, en kilogramos por día. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la República de Colombia, 2003)

Caudal: Volumen de agua por unidad de tiempo. (Acuerdo Gubernativo 236-2006)

Coliformes Fecales: Parámetro que indica la presencia de contaminación fecal en el agua y de bacterias patógenas, provenientes del tracto digestivo de los seres humanos y animales de sangre caliente. (Acuerdo Gubernativo 236-2006)

Cuerpo Receptor: Embalse natural, lago, laguna, río, quebrada, manantial, humedal, estuario, estero, manglar, pantano, aguas costeras y aguas subterráneas donde se descargan aguas residuales. (Acuerdo Gubernativo 236-2006)

Demanda Bioquímica de Oxígeno: Medición de la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica biodegradable presente en la muestra de agua y como resultado de la acción de oxidación bioquímica aerobia. (Ramalho, 1993)

Demanda Química de Oxígeno: Volumen de oxígeno requerido para oxidar la fracción orgánica de una muestra susceptible a la oxidación por dicromato o permanganato, en medio ácido. (Ramalho, 1993)

Microorganismo: Organismo unicelular solo visible al microscopio (Real Academia Española, 2018)

Muestra compuesta: dos o más muestras simples que se toman en intervalos determinados de tiempo y que se adicionan para obtener un resultado de las características de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos. (Acuerdo Gubernativo 236-2006)

Muestra simple: la muestra tomada en una sola operación que representa las características de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos en el momento de la toma. (Acuerdo Gubernativo 236-2006)

Muestreo: Selección de una pequeña parte estadísticamente determinada, utilizada para inferir el valor de una o varias características del conjunto. (Real Academia Española, 2018)

Parámetro: Variable que identifica una característica de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos, asignándole un valor numérico. (Acuerdo Gubernativo 236-2006)

pH: Índice que expresa el grado de acidez o alcalinidad de una disolución. (Real Academia Española, 2018)

Planta de tratamiento de aguas residuales: Instalación, cuya función se basa en mejorar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales que provienen de un ente generador; valiéndose de procesos físicos, biológicos y químicos que retiran los contaminantes del agua, con el fin de evitar daños al ambiente y a la salud de los seres vivos que puedan entrar en contacto con ella. (Russell, 2012)

Temperatura: Magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente y cuya unidad en el sistema internacional es el Kelvin (K). (Real Academia Española, 2018).

Tratamiento primario: Tratamiento físico que consiste en la reducción de sólidos en suspensión o acondicionamiento de las aguas residuales para su descarga hacia el tratamiento secundario mediante una neutralización u homogeneización. (Ramalho, 1993)

Tratamiento secundario: Proceso biológico de las aguas residuales tanto aerobias como anaerobias. (Ramalho, 1993)

Tratamiento terciario: Serie de procesos químicos destinados a conseguir una calidad del efluente superior a la del tratamiento secundario convencional. (Ramalho, 1993)

ANEXO B: ABREVIATURAS

°C: Grados centígrados

AC: Ancho de cubeta

AP: Ancho de pala

ASP: Ancho del sedimentador primario

ASS: Ancho del sedimentador secundario

CAP: Cantidad de anchos de pala

CDC: Cantidad de diámetros de cubeta

CSSP: Caudal de salida del sedimentador primario

CSSS: Caudal de salida del sedimentador secundario

DBO₅: Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días.

DQO: Demanda química de oxígeno

L: Litros

L/s: Litros por segundo

LAFYM: Laboratorio de análisis fisicoquímico y mMicrobiológico

m: Metros

mg/L: Miligramos por litro

mL: Mililitro

NMP: Número más probable

PTAR: Planta de tratamiento de aguas residuales

s: Segundos

TLSSP: Tiempo de llenado en la salida del sedimentador primario

TLSSS: Tiempo de llenado en la salida del sedimentador secundario

URL: Universidad Rafael Landívar

VC: Volumen de la cubeta

ANEXO C: ETIQUETA PARA IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

| |
|------------------|
| Sustancia: _____ |
| _____ |
| _____ |
| Fecha: _____ |
| Hora: _____ |
| Análisis: _____ |
| _____ |
| _____ |
| _____ |

**ANEXO D: RESULTADOS ORIGINALES DE LOS MUESTRAOS REALIZADOS
EMITIDOS POR LAFYM**

Encabezado de Análisis:



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

**Laboratorio de Análisis Físicoquímicos
y Microbiológicos - LAFYM**

3a. Calle 6-47, Zona 1
Centro Histórico, Guatemala Ciudad
Tel: 2253-1319
Email: lafymusac@gmail.com

Firma de Encargada:

Licda. Ana Rodas de García, QB.
Jefatura

Licda. Ana E. Rodas García
QUÍMICA BIÓLOGA
COL. 2323

Resultados:

Empresa : **CARLOS ANDRES GONZALEZ PANIAGUA** Fecha de toma de la muestra : **25/04/2018 12:10**

N° de la muestra : **3758** (Protocolo firmado) Fecha de recepción : **25/04/2018 14:06**

Temperatura : **Refrigeración** Número de lote : **AGUA RESIDUAL**

Muestra : **AGUA**

Captación : **Captado por personal ajeno a LAFYM en un envase que no es de LAFYM**

Nota : **AGUA RESIDUAL EN EL SEDIMENTADOR PRIMARIO DE LA PTAR DEL CAMPUS CENTRAL DE LA URL**

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA

| ANÁLISIS | RESULTADO |
|--------------------|----------------------------------|
| DQO | 672,0 mg/L |
| DBO5 | 494,6 mg/L |
| Coliformes Fecales | 3.0 x 10 ⁷ NMP/100 mL |

*Métodos de Referencia: APHA-AWWA-WEF: Standard Methods **For The Examination of Water and Wastewater, 21 ed. 2005.**

Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos. ACUERDO GUBERNATIVO No. 236-2006.

Empresa : **CARLOS ANDRES GONZALEZ PANIAGUA** Fecha de toma de la muestra : **25/04/2018 12:30**
 N° de la muestra : **3759 (Protocolo firmado)** Fecha de recepción : **25/04/2018 14:16**
 Temperatura : **Refrigeración** Número de lote : **AGUA RESIDUAL**
 Muestra : **AGUA**
 Captación : **Captado por personal ajeno a LAFYM en un envase de LAFYM**
 Nota : **AGUA RESIDUAL EN EL SEDIMENTADOR SECUNDARIO DE LA PTAR DEL CAMPUS CENTRAL DE LA URL**

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA

| ANÁLISIS | RESULTADO |
|--------------------|----------------------------------|
| DQO | 398,0 mg/L |
| DBO5 | 263,0 mg/L |
| Coliformes Fecales | 1.7 x 10 ⁷ NMP/100 mL |

*Métodos de Referencia: APHA-AWWA-WEF: Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater, 21 ed. 2005.

Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos. ACUERDO GUBERNATIVO No. 236-2006.

Empresa : **CARLOS ANDRES GONZALEZ PANIAGUA** Fecha de toma de la muestra : **26/04/2018 12:10**
 N° de la muestra : **3784** (Protocolo firmado) Fecha de recepción : **26/04/2018 13:55**
 Temperatura : **Refrigeración** Número de lote : **AGUA RESIDUAL**
 Muestra : **AGUA**
 Captación : **Captado por personal ajeno a LAFYM en un envase que no es de LAFYM**
 Nota : **AGUA RESIDUAL EN EL SEDIMENTADOR PRIMARIO DE LA PTAR DEL CAMPUS CENTRAL DE LA URL**

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA

| ANÁLISIS | RESULTADO |
|--------------------|----------------------------------|
| DQO | 616,0 mg/L |
| DBO5 | 548,0 mg/L |
| Coliformes Fecales | 2,4 x 10 ⁷ NMP/100 mL |

*Métodos de Referencia: APHA-AWWA-WEF: Standard Methods **For The Examination of Water and Wastewater, 21 ed. 2005.**

Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos. ACUERDO GUBERNATIVO No. 236-2006.

Empresa : **CARLOS ANDRES GONZALEZ PANIAGUA** Fecha de toma de la muestra : **26/04/2018 12:30**
 N° de la muestra : **3785 (Protocolo firmado)** Fecha de recepción : **26/04/2018 14:00**
 Temperatura : **Refrigeración** Número de lote : **AGUA RESIDUAL**
 Muestra : **AGUA**
 Captación : **Captado por personal ajeno a LAFYM en un envase que no es de LAFYM**
 Nota : **AGUA RESIDUAL EN EL SEDIMENTADOR SECUNDARIO DE LA PTAR DEL CAMPUS CENTRAL DE LA URL**

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA

| ANÁLISIS | RESULTADO |
|--------------------|----------------------------------|
| DQO | 350,0 mg/L |
| DBO5 | 276,0 mg/L |
| Coliformes Fecales | 1.5 x 10 ⁷ NMP/100 mL |

*Métodos de Referencia: APHA-AWWA-WEF: Standard Methods **For The Examination of Water and Wastewater, 21 ed. 2005.**

Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos. ACUERDO GUBERNATIVO No. 236-2006.

Empresa : **CARLOS ANDRES GONZALEZ PANIAGUA** Fecha de toma de la muestra : **02/05/2018 12:00**
 N° de la muestra : **3817 (Protocolo firmado)** Fecha de recepción : **02/05/2018 14:01**
 Temperatura : **Refrigeración** Número de lote : **AGUA RESIDUAL**
 Muestra : **AGUA**
 Captación : **Captado por personal ajeno a LAFYM en un envase de LAFYM**
 Nota : **AGUA RESIDUAL EN EL SEDIMENTADOR PRIMARIO DE LA PTAR**

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA

| ANÁLISIS | RESULTADO |
|--------------------|----------------------------------|
| DQO | 692,0 mg/L |
| DBO5 | 392,8 mg/L |
| Coliformes Fecales | 1.5 x 10 ⁷ NMP/100 mL |

*Métodos de Referencia: APHA-AWWA-WEF: Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater, 21 ed. 2005.

Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos. ACUERDO GUBERNATIVO No. 236-2006.

Empresa : **CARLOS ANDRES GONZALEZ PANIAGUA** Fecha de toma de la muestra : **02/05/2018 12:30**
 N° de la muestra : **3818** (Protocolo firmado) Fecha de recepción : **02/05/2018 14:05**
 Temperatura : **Refrigeración** Número de lote : **AGUA RESIDUAL**
 Muestra : **AGUA**
 Captación : **Captado por personal ajeno a LAFYM en un envase de LAFYM**
 Nota : **AGUA RESIDUAL EN EL SEDIMENTADOR SECUNDARIO DE LA PTAR**

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA

| ANÁLISIS | RESULTADO |
|--------------------|----------------------------------|
| DQO | 298,0 mg/L |
| DBO5 | 176,0 mg/L |
| Coliformes Fecales | 6.1 x 10 ⁶ NMP/100 mL |

*Métodos de Referencia: APHA-AWWA-WEF: Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater, 21 ed. 2005.

Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos. ACUERDO GUBERNATIVO No. 236-2006.

Empresa : **CARLOS ANDRES GONZALEZ PANIAGUA** Fecha de toma de la muestra : **03/05/2018 12:00**
 N° de la muestra : **3826** (Protocolo firmado) Fecha de recepción : **03/05/2018 14:26**
 Temperatura : **Refrigeración** Número de lote : **AGUA RESIDUAL**
 Muestra : **AGUA**
 Captación : **Captado por personal ajeno a LAFYM en un envase que no es de LAFYM**
 Nota : **AGUA RESIDUAL EN SEDIMENTADOR PRIMARIO DE LA PTAR**

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA

| ANÁLISIS | RESULTADO |
|--------------------|---------------------------------------|
| DQO | 652,0 mg/ L |
| DBO ₅ | 361,0 mg/ L |
| COLIFORMES FECALES | 2.4 x 10 ⁷ NMP/100mL mg/ L |

*Métodos de Referencia: APHA-AWWA-WEF: Standard Methods **For The Examination of Water and Wastewater, 21 ed. 2005.**

Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos. ACUERDO GUBERNATIVO No. 236-2006

Empresa : **CARLOS ANDRES GONZALEZ PANIAGUA** Fecha de toma de la muestra : **03/05/2018 12:30**
 N° de la muestra : **3827 (Protocolo firmado)** Fecha de recepción : **03/05/2018 14:29**
 Temperatura : **Refrigeración** Número de lote : **AGUA RESIDUAL**
 Muestra : **AGUA**
 Captación : **Captado por personal ajeno a LAFYM en un envase que no es de LAFYM**
 Nota : **AGUA RESIDUAL DE SENDIMENTADOR SECUNDARIO DE LA PTAR**

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA

| ANÁLISIS | RESULTADO |
|--------------------|-----------------------------|
| DQO | 386,0 mg/ L |
| DBO5 | 219,4 mg/ L |
| COLIFORMES FECALES | 9.0 x 10 ⁶ mg/ L |

*Métodos de Referencia: APHA-AWWA-WEF: Standard Methods **For The Examination of Water and Wastewater, 21 ed. 2005.**

Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos. ACUERDO GUBERNATIVO No. 236-2006