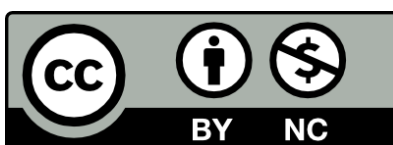


EVALUACIÓN DEL SISTEMA OPERATIVO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES NO DOMESTICAS EN LA CENTRAL DE ABASTOS DE
VILLAVICENCIO



DANIEL SANTIAGO ESCOBAR LLANO
DIEGO MAURICIO ESCOBAR LLANO



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2018

EVALUACION DEL SISTEMA OPERATIVO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES NO DOMESTICAS EN LA CENTRAL DE ABASTOS DE
VILLAVICENCIO

DANIEL SANTIAGO ESCOBAR LLANO
DIEGO MAURICIO ESCOBAR LLANO

Trabajo de grado presentado como requisito para obtener el título de
Ingeniero Ambiental

Director
CHRISTIAN JOSÉ ROJAS REINA
PhD. Msc. Ingeniero Químico

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD INGENIERIA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2018

Autoridades Académicas

FRAY JUAN UBALDO LÓPEZ SALAMANCA O.P

Rector General

MAURICIO ANTONIO CORTÉS GALLEGO O.P

Vicerrector Académico General

FRAY JOSÉ ARTURO RESTREPO RESTREPO, O.P.

Rector Sede Villavicencio

FRAY FERNANDO CAJICÁ GAMBOA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana Facultad De Ingeniería Ambiental

A Dios, por llenarnos de fuerza para continuar ante cada dificultad y por brindarnos la oportunidad de vivir esta experiencia.

A nuestros padres, por cada consejo, apoyo, esfuerzo y amor incondicional, por recorrer este camino y creer en nosotros en todo momento. A nuestras familias porque también gracias a cada uno de ellos somos las personas de hoy.

A nuestro director del proyecto de grado Christian José Rojas Reina quien nos ayudó para llevar a cabo este proyecto

Daniel Santiago Escobar Llano

Diego Mauricio Escobar Llano

Agradecimientos

Mediante estas cortas palabras, queremos agradecer a Dios por guiar cada paso y permitirnos culminar esta etapa, la cual se convirtió en una aventura con tropiezos y algunas dificultades, pero siempre con la firme convicción de perseverar y alcanzar cada una de las metas propuestas.

A nuestras familias gracias de todo corazón por el apoyo y confianza incondicional a lo largo de nuestro proceso de formación universitaria y personal

Al Ingeniero Christian José Rojas Reina director del Proyecto de Grado, por su confianza, paciencia y colaboración, así como sus sugerencias y conocimientos que hicieron posible la estructuración, ejecución y finalización exitosa de este proyecto.

A la Central de Abastos de Villavicencio por su asistencia durante la realización del proyecto.

Agradecemos a la Universidad Santo Tomás Sede Villavicencio, la Facultad de Ingeniería Ambiental en cabeza de la Ingeniera Yesica Natalia Mosquera Beltrán y a todos los profesores que con sus conocimientos, apoyo y orientación hicieron parte de nuestra formación profesional, especialmente a quienes hicieron posible el desarrollo de este proyecto.

Tabla de Contenido

	Pág.
1. Introducción	13
2. Planteamiento del problema.....	15
3. Formulación en torno el problema	16
4. Objetivos	17
4.1. Objetivo general.....	17
4.2. Objetivos específicos	17
5. Alcance del Proyecto	18
6. Antecedentes	19
7. Justificación	21
8. Marco Referencial.....	23
8.1. Marco Teórico.....	23
8.1.1. Agua Residual (AR).....	23
8.1.2. Toma de muestra para control de procesos.	24
8.1.3. Muestreo aleatorio.....	24
8.1.4. Muestreo de acuerdo al tiempo.	24
8.1.5. Muestreo de acuerdo al caudal.....	24
8.1.6. Agua Residual no Doméstica (ARnD).....	25
8.1.7. Tratamiento de Aguas Residuales no Domésticas	26
8.2. Marco Conceptual	31
8.3. Marco Legal	32
9. Hipótesis	33
10. Metodología	36
11. Resultados.....	41
Diagnóstico de la situación actual de la planta de tratamiento	41
11.1. Dimensiones de los componentes de la PTAR	46
11.1.1. Filtro Anaerobio 1.....	46
11.1.2. Filtro Anaerobio 2.....	47
11.1.3. Filtro Percolador.	47
11.1.4. Filtro fitopedológico.	48
11.1.5. Laguna de Oxigenación Aireada.....	48

10.2. Evaluación del Sistema Operativo de la PTAR-nD	48
10.2.1. Parámetros <i>In situ</i>	48
10.2.2. Parámetros en Laboratorio	57
12. Propuestas de Mejora	66
13. Conclusiones	68
14. Recomendaciones	70
15. Bibliografía	71
16. Anexos	78

Lista de Tablas

	Pág.
<i>Tabla 1.</i> Contaminantes importantes de las aguas residuales.	23
<i>Tabla 2.</i> Procesos del pretratamiento del agua residual.....	27
<i>Tabla 3.</i> Procesos del tratamiento primario.	28
<i>Tabla 4.</i> Tratamientos secundarios en las PTAR.	29
<i>Tabla 6.</i> Normatividad nacional ambiental relacionada con las aguas residuales.	33
<i>Tabla 7.</i> Inventario de parámetros.	38
<i>Tabla 8.</i> Dimensiones Filtro Anaerobio 1.....	46
<i>Tabla 9.</i> Dimensiones Filtro Anaerobio 2.....	47
<i>Tabla 10.</i> Dimensiones Filtro Percolador	47
<i>Tabla 11.</i> Dimensiones Filtro Fitopedológico	48
<i>Tabla 12.</i> Dimensiones Laguna de Oxidación Aireada.	48
<i>Tabla 13</i> Análisis descriptivo del caudal	49
<i>Tabla 14.</i> Resultados estadísticos de la variable Temperatura	50
<i>Tabla 15.</i> Resultados estadísticos de la variable PH.....	52
<i>Tabla 16.</i> Resultados estadísticos para la variable Conductividad	55
<i>Tabla 17.</i> Eficiencias de remoción de la PTAR.....	57
<i>Tabla 18.</i> Correlación DBO ₅ vs SST	64
<i>Tabla 19.</i> Correlación DQO vs SST	64
<i>Tabla 20.</i> Correlación SST vs G&A	65

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Diagrama de Flujo representando la metodología. Fuente: Autores.	40
Figura 2. Esquema de la PTAR de la Central de Abastos de Villavicencio. Fuente: Autores.....	41
Figura 3. Caja de inspección entrada filtro anaerobio 1. Fuente: Autores.....	41
Figura 4. (a) Aspecto superficial del filtro anaerobio 2, (b) Bloque D. 2. Fuente: Autores.....	42
Figura 5. Filtro percolador. Fuente: Autores.....	43
Figura 6. Tanques Filtro Percolador. Fuente: Autores.....	43
Figura 7. Aspecto superficial del filtro fitopedológico. Fuente: Autores.....	44
Figura 8. Laguna de oxidación aireada. Fuente: Autores.....	45
Figura 9. Zona de vertimiento Caño Aguas Claras. Fuente: Autores	45
Figura 10. Variación de la Temperatura en la PTAR el 10 de abril 2018. Fuente: Autores	50
Figura 11. Variación de la Temperatura en la PTAR el 6 de julio 2018. Fuente: Autores	51
Figura 12. Variación del pH en la PTAR el 6 de julio 2018. Fuente: Autores	53
Figura 13. Variación del pH en la PTAR el 10 de abril 2018. Fuente: Autores	54
Figura 14. Variación de la conductividad en la PTAR el 6 de julio 2018. Fuente: Autores	56
Figura 15. Variación de la conductividad en la PTAR el 10 de abril 2018. Fuente: Autores	56
Figura 16. Laguna de Oxidación aireada	60
Figura 17. Variaciones de la DBO5 y cumplimiento Resolución 0631 de 2015. Fuente: Autores.....	61
Figura 18. Variaciones de la DQO y cumplimiento Resolución 0631 de 2015. Fuente: Autores	61
Figura 19. Variaciones de la GyA y cumplimiento Resolución 0631 de 2015. Fuente: Autores	62
Figura 20. Variaciones de la SST y cumplimiento Resolución 0631 de 2015. Fuente: Autores	62

Lista de Anexos

	Pág.
Anexo 1. Formato de preguntas para la ejecución de la entrevista a la comunidad de la invasión Aguas Claras.	78
Anexo 2. Formato de preguntas para la ejecución de las entrevistas a los operarios.....	79
Anexo 3. Puntos de muestreos seleccionados en la PTAR	80
Anexo 4. Diagrama con las dimensiones de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales no domesticas de la Central de Abastos de Villavicencio	81
Anexo 5. Formulas aplicadas para la realización de algunos análisis.....	84
Anexo 6. % Eficiencias de remoción	85
Anexo 7. Resultados de laboratorio de los parámetros DBO, DQO, SST, GyA.	87

Resumen

Este proyecto se realizó en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales no Doméstica (PTAR-nD) de la Central de Abastos de Villavicencio, cuyo efluente es vertido al Caño Aguas Claras. Se estableció como objetivo principal “Evaluar el desempeño operativo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Central de abastos de Villavicencio”. Se recopiló información para entender el funcionamiento y las especificaciones de cada una de las estructuras de la planta ya que la empresa no contaba con planos, ni memorias de cálculo, ni especificaciones técnicas.

Está información se obtuvo mediante visitas técnicas a la planta, realización de encuestas al personal encargado en la empresa, así como también una encuesta al representante de una de las comunidades vecinas. Posteriormente, se levantó información sobre las características de cada una de las estructuras de la planta y se determinó la eficiencia de remoción del sistema teniendo en cuenta los parámetros establecidos para el tratamiento y vertimiento de las aguas residuales según la norma vigente (Resolución 0631 de 2015) para el cumplimiento de los parámetros y valores máximos permisibles. Para analizar el funcionamiento se realizó un muestreo desde el 10 de abril de 2018 hasta el 24 de agosto del 2018, en 6 puntos claves de la planta de tratamiento, donde se determinaron variables *In Situ*: pH, temperatura, conductividad y *Ex Situ*: DBO, DQO, Grasas y Aceites, Sólidos Suspendidos Totales.

A partir de los parámetros analizados se pudo determinar que el 100% de los valores de Sólidos Suspendidos Totales, Grasas y Aceites no cumplen con los valores límites máximos permisibles por la normatividad, para la DBO y DQO, sólo el 30% y 40% respectivamente de los resultados cumplen con los parámetros establecidos en la norma. Se calcularon los porcentajes de remoción para cada una de las unidades, siendo el filtro percolador el más crítico, donde el 50% de la totalidad de los datos obtenidos presentan bajos porcentajes de remoción debido a las características de diseño que presenta.

Palabras clave: Agua residual, Sistema de Tratamiento de Agua Residual, Evaluación, Vertimientos, Contaminación, Fuente hídrica.

Abstract

This project was carried out in the non-domestic wastewater treatment plant (WWTP-ND) of the CAV, whose effluent is discharged into the Caño de Aguas Claras. The main objective is to "Evaluate the performance Operating system of the CAV Wastewater Treatment Plant of the. Information was collected to understand the operation and specifications of each of the structures of the plant without having plans or calculation memories or technical specifications.

This information was obtained through technical visits to the plant, conducting surveys to the personnel in charge at the company, as well as a survey of the representative of one of the neighboring communities. Subsequently information was collected on the characteristics of each one structures of the plant, so the removal efficiency of the system was determined and analyzed taking into account the parameters established for the treatment and discharge of wastewater according to resolution 0631 of 2015 for compliance with the new parameters and maximum permissible values established. To analyze the operation, a sampling was carried out from April 10, 2018 to August 24, 2018, in 6 key points of the treatment plant, the following *In Situ* variables were determined: pH, temperature, conductivity and Ex Situ: BOD, COD, Fats and Oils and Total Suspended Solids.

From the analyzed parameters it was possible to determine that 100% of the Total Suspended Solids, Fats and Oils values do not comply with the maximum permissible limit values for the BOD and COD, only 30% and 40% the results comply with the parameters established in the standard. The removal percentages were calculated for each of the units, with the percolating filter being the most critical, where 50% of the total data obtained have low removal percentages due to the design characteristics they present.

Keywords: Wastewater, Residual Water Treatment System, Evaluation, Shedding, Pollution, Water source.

Introducción

El tratamiento de las aguas residuales es una práctica que, se conoce de manera rudimentaria desde la antigüedad, hoy por hoy resulta algo fundamental para mantener nuestra calidad de vida. Son muchas las técnicas de tratamiento con larga tradición y, evidentemente, se ha mejorado mucho en el conocimiento y diseño de las mismas a lo largo de los años. Pero no por eso han dejado de ser técnicas imprescindibles a la hora de tratar aguas industriales. Al revisar los tratamientos unitarios más convencionales no resulta fácil establecer una clasificación universal. Una de las formas más utilizadas es en función de los contaminantes presentes en el agua residual, o también en función del fundamento del tratamiento (químico, físico o biológico). Una forma de intentar aunar ambas formas de clasificación puede ser considerar que los contaminantes en el agua pueden estar como materia en suspensión, materia coloidal o materia disuelta. (Fernandez-Alba, 2006)

Durante las últimas décadas de este siglo, el mundo ha venido observando con inquietud, analizando y tratando de resolver una serie de problemas relacionados con la disposición de los residuos líquidos procedentes del uso doméstico, agrícola e industrial. Las masas receptoras, es decir, ríos y corrientes subterráneas, lagos, estuarios y el mar, en la mayoría de las ocasiones, especialmente en las zonas más densamente pobladas y desarrolladas, han sido incapaces, por sí mismas, de absorber y neutralizar la carga polucional que tales residuos imponen. De esta forma, han venido perdiendo sus condiciones naturales de apariencia física y su capacidad para sustentar una vida acuática adecuada y en numerosas ocasiones pierden aquellas condiciones mínimas que les son exigidas para su racional y adecuado aprovechamiento como fuentes de abastecimiento de agua, como vías de transporte o aún como fuentes de energía. Los problemas causados no son sólo de índole física o estética, sino que trascienden al campo de la sanidad, ya que las comunidades humanas necesitan recurrir a diversos recursos de agua superficiales para su abastecimiento de agua de bebida, y si éstos están contaminados con los productos de desecho humanos o industriales, pueden dar lugar a problemas epidemiológicos graves. (Espigares Garcia & Pérez López, s.f.)

En Colombia existen políticas y legislación para manejo y tratamiento de aguas residuales y saneamiento básico. Dentro de la política nacional se encuentra el “Plan Nacional de Manejo de

Aguas Residuales Municipales”, hay una política nacional ambiental para el desarrollo sostenible, todos los últimos Planes Nacionales de Desarrollo incluyen tales temas y fijan planes para sostenibilidad ambiental, manejo integral del agua y descontaminación hídrica, hay una política integral de recursos hídricos, leyes sobre manejo y tratamiento de aguas residuales, uso del agua, manejo de vertimientos, etc. Y pese a todo ello, hay debilidad institucional para fijar objetivos y metas en calidad ambiental, insuficientes programas de control y seguimiento, insuficiente información disponible sobre el tema, escasos recursos financieros, falta de continuidad en programas y asistencia técnica. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial , 2004)

Haciendo una revisión en los estudios de plantas de tratamiento de aguas residuales en diferentes países se destacan problemáticas relacionadas con el mal funcionamiento de los componentes de tratamiento, donde influyen factores como el diseño y dimensionamiento en función de la capacidad de operación proyectada, falta de control y seguimiento a los procesos y la carencia de mantenimiento, lo que ocasiona que las remociones se realicen por debajo de los estándares, además de la generación de malos olores, desvalorización de terrenos donde son construidas, deterioro de paisajes y vecindarios, etc. Es por esto que el control de los sistemas de tratamiento se vuelve un reto para las autoridades ambientales y día a día son más los estudios sobre estos sistemas. Por lo tanto, en el presente estudio se evalúa el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales no domesticas de la Central de Abastos Villavicencio, analizando los diferentes parámetros, comparándolos con los exigidos por la ley y proponiendo soluciones para posibles problemas presentados

1. Planteamiento del problema

La problemática de las aguas residuales es un tema de vital importancia, debido al crecimiento poblacional en la zona de la Orinoquía, el cual tiene su impacto en el medio ambiente. A esto se suma el hecho de que una gran parte de las aguas residuales tanto domésticas como industriales no son tratadas antes de ser descargadas en los cuerpos de agua de la región (Avila de Navia, Gomez, Estupiñan, & Arcos, 2005). Por consiguiente, el aumento significativo de personas en las últimas décadas en las ciudades principales a nivel nacional como lo muestra el DANE, en 2015 se registró un volumen de $4.519,1 \text{ hm}^3$ de aguas residuales, presentando un incremento de 3,4%, con respecto al año anterior. Según su disposición, el 65,1% son dispuestas a través de los sistemas de alcantarillado, mientras que el 7,5% restante son de tratamiento propio. Se reutilizaron para uso propio. $1.239,8 \text{ hm}^3$ (27.4%). Por otra parte, los retornos de agua al ambiente sin tratamiento alguno en 2015, fueron $143.736,4 \text{ hm}^3$, que indica un aumento del 0,9% con respecto a 2014 (Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), 2017), por esto se requiere que se cuente con soluciones fiables que permitan sistemas efectivos en el tratamiento de aguas de las descargas realizadas actualmente en la zona urbana de Villavicencio, para que el crecimiento urbano se dé dentro de un marco de desarrollo sostenible, sin perjudicar los cuerpos de agua aledaños.

Los procesos industriales en particular requieren altas cantidades de agua con el agravante de que después de ser usada en tales procesos muchos la disponen sin hacerle algún tratamiento de descontaminación, generando una grave problemática ambiental que conlleva a la aparición de enfermedades, producción de malos olores, mala disposición de contaminantes altamente tóxicos y cancerígenos de tipo químico como compuestos aromáticos, metales pesados, colorantes, compuestos pesados de la industria petroquímica, etc.

El Departamento del Meta no escapa a esta realidad, donde la mayoría de aguas residuales no son tratadas antes de su descarga final (DANE, 2015). Para el caso particular de la Planta de Tratamiento de Agua Residual no Doméstica (PTAR-nD) de la Central de Abastos de Villavicencio (C.A.V), esta instalación comercial funciona óptimamente, ya que se mantiene en constante actividad todas las mañanas, seis días de la semana produciendo una cantidad de agua residual de $533 \text{ m}^3/\text{d}$ la cual es tratada en sus instalaciones. Se ha podido evidenciar que su

funcionamiento no es óptimo, lo que se puede deber al diseño, operación y falta de mantenimiento de las unidades de tratamiento, la escasa inversión económica para las adecuaciones pertinentes y personal no capacitado que conlleve a su correcta operatividad. Las descargas producidas por la C.A.V son de relevancia, ya que el efluente vertido al Caño Aguas Claras no está cumpliendo con los parámetros máximos permisibles estipulados en la Resolución 0631 y está afectando de forma directa a la comunidad aledaña de Aguas Claras, ya esta población realiza captación directa de este cuerpo hídrico. En las encuestas realizadas a la comunidad aledaña se encontró con una matriz de opinión adversa a la C.A.V. por la afectación al cuerpo hídrico por parte de sus descargas de efluentes. La comunidad resaltó (sobre todo en verano) los casos de emergencia de salud pública, debido a la proliferación de vectores en la zona, infecciones gastrointestinales y brotes infecciosos, aunado a los malos olores, aunque afirman que los últimos meses se han reducido. Debido a estas inconformidades, se han presentado todo tipo de quejas escritas y verbales ante la C.A.V y los entes de control. Es por esto que se hace necesario proponer recomendaciones y alternativas de mejora para mejorar la eficiencia del proceso de tratamiento y así contrarrestar esta problemática que está afectando a la C.A.V y a la comunidad.

1.1. Formulación en torno el problema

¿La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales no Domésticas de la Central de Abastos de Villavicencio presenta las condiciones adecuadas para obtener una remoción de la materia orgánica de acuerdo a lo estipulado por la normatividad?

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Evaluar el desempeño operativo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales no Domésticas de la Central de abastos de Villavicencio

2.2. Objetivos específicos

- Determinar las características de diseño y condiciones de operación de cada uno de los componentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de la C.A.V.
- Determinar las eficiencias de remoción del sistema en función de la DBO, DQO, Grasas y Aceites y Sólidos Sedimentables Totales y analizar si estos parámetros cumplen las normas de vertimiento exigidas, expuestos en la Resolución 0631 Capítulo VI
- Formular propuestas que permitan dar respuesta a los problemas identificados.

3. Alcance del Proyecto

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales no Domésticas de la Central de Abastos, se encuentra en la ciudad de Villavicencio, ubicada en un terreno compuesto por 12 hectáreas aproximadamente, en el predio denominado Las Delicias sobre el Anillo Vial, en la Comuna 3, en las coordenadas planas N. 947473 E. 1051632. La C.A.V. cuenta con un permiso de vertimiento de agua residual no doméstica tratada, en cantidad de 3.3 Lts/seg con punto de vertimiento en las coordenadas planas N. 947301 E. 1051804, sobre la fuente hídrica caño Aguas Claras, la C.A.V es un centro de abastecimiento mayorista y minorista de productos agrícolas del Departamento del Meta y consta de cuatro bodegas con cerca de 1300 copropietarios. (Central de Abastos de Villavicencio (CAV), 2014)

La evaluación operativa y formulación de propuestas de la PTAR-nD en marco de la nueva normativa, se realizará en un tiempo estimado de 4 meses; donde los parámetros medidos *In situ*: pH, Conductividad, Temperatura (°C) y *Ex situ*: Sólidos Suspendidos Totales (SST), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Grasas y Aceites (G&A), estos últimos analizados en el Laboratorio de Aguas, Campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomas Villavicencio.

4. Antecedentes

La falta de plantas de tratamiento para las aguas residuales en las ciudades y en las industrias, hoteles y explotaciones mineras, agrícolas y ganaderas, ocasiona grandes desechos de aguas contaminadas que perjudican al medio ambiente. La mayoría de esas aguas es descargada en los ríos, lagos, mares, en los suelos a cielo abierto o en el subsuelo (Rodríguez, 2017).

Debido a la inadecuada o inexistente recolección, tratamiento y disposición de los vertimientos generados por actividades como la agricultura y la industria, y de las aguas residuales de origen doméstico, en el país se han generado, en forma sucesiva e incremental, problemas de salubridad y de calidad del agua en varias regiones. La situación comienza a ser insostenible, en la medida en que los cuerpos receptores alcanzan su capacidad de asimilar estos contaminantes, y tiene como consecuencia la alteración de la calidad del recurso para su uso posterior, lo cual agrega un costo adicional para su tratamiento. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial , 2004)

Las estadísticas que maneja el Ministerio de Desarrollo Económico indican que en Colombia la cobertura en tratamiento de aguas residuales industriales no supera el 15%, estos estudios realizados por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) demuestran que la baja cobertura en el sector agua potable y saneamiento es debida a limitaciones presupuestales, tecnológicas y de personal calificado. Es por esto que las entidades reguladoras del medio ambiente están encargadas de que las aguas que se vierten en el sistema de alcantarillado y cuerpos de agua sean lo menos contaminados posibles, para ello aplican sanciones y multas que resultan bastantes costosas a las industrias que no cumplen con los requisitos exigidos (Funeque, 2006).

Un ejemplo de tratamiento de aguas en Colombia es la Planta de San Fernando, situada en el Municipio de Itagüí. Esta planta recibe para su tratamiento las aguas industriales y residenciales de Envigado, Itagüí, Sabaneta, La Estrella y parte del sur de Medellín. La Planta de San Fernando efectúa un tratamiento secundario y remueve entre el 80 y el 85% de la contaminación del agua antes de devolverla al río Medellín.

Otra planta similar inaugurada en 2015: la Planta de Tratamiento de Bello, en el Norte del Valle de Aburra, que recibe las aguas residuales residenciales, industriales y comerciales de

Medellín y Bello y ayudará también a sanear el río Medellín. En términos operativos, la Planta de Bello triplica a la de San Fernando. Ambas alcanzan un cubrimiento global del 95 % de las aguas que se vierten al río (Almuneda, 2014).

Uno de los grandes problemas de contaminación hídrica lo constituye la descarga de elementos peligrosos como los metales pesados (Plomo, Mercurio, etc.), los compuestos orgánicos volátiles como el triclorometileno y los solventes halogenados, que acaban con la vida acuática y ponen en peligro la salud de los habitantes que entran en contacto con cuerpos de agua contaminados o con productos irrigados con estas aguas residuales. Estos compuestos son vertidos por muchas industrias (Tales como: la refinación de petróleo, la industria química y la de curtiembres) que los utilizan en sus procesos industriales, o son descargados con los lixiviados que se originan en los rellenos sanitarios mal operados, como es el caso del relleno sanitario de Doña Juana en Santa Fe de Bogotá, cuyos lixiviados caen al río Tunjuelo). También los contaminantes se originan en los tratamientos de efluentes industriales de industrias como la galvanoplastia, donde forman parte de los lodos de las plantas de tratamiento (DNP, 1994), (Ojeda & Arias, 2000).

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Puerto López (PTAR) fue una de las obras que más se resaltó en el Departamento del Meta. Esta inversión fue uno de los grandes aportes de la administración departamental al saneamiento básico no solo de la población sino de toda la región de la Altillanura. Se trata de un sistema que, con un gran esfuerzo económico por parte de Edesa ESP, se logró terminar y hoy día permite la reducción del 95 por ciento de la carga contaminante que genera el municipio, al tratar 90 litros de aguas negras por segundo. “La planta tuvo una inversión total de 10.500 millones de pesos y duro aproximadamente siete años en construcción y podemos decir que ya está en funcionamiento”, según el gerente de Edesa, Orlando Guzmán Virgüez.

Los expertos dicen que es la mejor PTAR de la Orinoquia pues no solo tratará las aguas residuales del municipio, sino que ayudara al saneamiento de varios ríos y caños (Dussan, 2017).

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales no Domestica de la C.A.V. no cuenta con reportes o estudios por parte de alguna otra entidad o institución debido a que esta planta se construyó hace aproximadamente 17 años y los registros históricos fueron perdidos en los cambios de administración.

5. Justificación

A partir de los últimos 50 años la presión ejercida sobre los cuerpos de agua para obtener agua de uso potable se ha incrementado considerablemente (Organización de las Naciones Unidas (ONU), s.f.). Por lo que en las últimas décadas se ha mostrado gran preocupación por las aguas residuales y la búsqueda de soluciones en el marco de los objetivos de desarrollo sostenible, para solucionar problemas relacionados con el inadecuado tratamiento y disposición de vertimientos a los ríos y demás corrientes de aguas, provenientes de actividades de uso doméstico, comercial e industrial. Estas aguas no tratadas son vertidas en los diferentes cuerpos de agua, ocasionando serios problemas medio ambientales y de salud pública ya que son una fuente potencial de enfermedades, al ser estos cuerpos de agua usados para el consumo humano. (Rodríguez, 2017)

Estimaciones realizadas por el instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en su estudio nacional del agua 2014, dan como resultado que 10 millones de habitantes en Colombia presentan índices altos de escasez de agua lo cual impactó en los hábitos de higiene y estos a su vez en la incidencia de diarreas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012).

Uno de los mayores costos de la degradación ambiental en Colombia está asociada con una morbilidad y mortalidad por enfermedades transmitidas por el agua. En Colombia estudios recientes han demostrado que el volumen de aguas residuales generadas es aproximadamente de un 70% - 80% en comparación con el volumen restante de agua potable esto debido a las descargas incontroladas o por el mal funcionamiento de sistemas de tratamiento a falta de mantenimiento, siendo así más grave la solución que el problema inicial, si se considera que se han invertido recursos y grandes esfuerzos de los actores involucrados (Hidalgo Santana & Mejia Alvarez, 2010).

Es por esto que se busca conocer el funcionamiento actual de la planta de Tratamiento de Aguas Residuales no Doméstica de la Central de Abastos de Villavicencio para determinar si está cumpliendo con las exigencias sobre los límites máximos permisibles para vertimientos

establecidos en la legislación nacional. Ya que un inadecuado funcionamiento conlleva a maximizar la degradación del ecosistema y repercute en la salud y la calidad de vida de los habitantes de la ciudad, en especial a la invasión Aguas Claras ya que han reportado a la C.A.V., quejas e inconformismo por los malos olores y enfermedades provenientes aguas abajo del punto de vertimiento de la PTAR-nD, es decir que los principales beneficiados del desarrollo de este proyecto en primera medida son aquellos que viven en el barrio Aguas Claras que cuenta con una población aproximada de 500 personas, según información suministrada en la zona de estudio por parte del representante de la Junta de Acción Comunal.

6. Marco Referencial

6.1. Marco Teórico

En esta sección se presentan los fundamentos teóricos necesarios para la comprensión del tratamiento de aguas residuales:

6.1.1. Agua Residual (AR)

Las aguas residuales son las aguas usadas y los sólidos que por uno u otro medio se introducen en las cloacas y son transportados mediante el sistema de alcantarillado (Espigares García & Pérez López, s.f.).

Tabla 1. Contaminantes importantes de las aguas residuales.

Contaminante	Fuente	Importancia ambiental
Sólidos suspendidos.	Uso doméstico, desechos industriales y agua infiltrada a la red.	Causa depósitos de lodo y condiciones anaerobias en ecosistemas acuáticos.
Compuestos orgánicos.	Desechos domésticos e industriales.	Causa degradación biológica, que incrementa la demanda de oxígeno en los cuerpos receptores y ocasiona condiciones indeseables.
Microorganismos patógenos.	Desechos domésticos.	Causan enfermedades transmisibles.
Nutrientes.	Desechos domésticos e industriales.	Pueden causar eutrofización.
Compuestos orgánicos refractarios.	Desechos industriales.	Pueden causar problemas de sabor y olor, pueden ser tóxicos o carcinogénicos.
Metales pesados.	Desechos industriales, minería, etc.	Son tóxicos, pueden interferir con el tratamiento y reuso del efluente.
Sólidos inorgánicos disueltos.	Debido al uso doméstico o industrial se incrementan con respecto a su nivel en el suministro de agua.	Pueden interferir con el reuso del efluente.

NOTA: Descripción de las fuentes contaminantes, Adaptado de (Lizarazo Becerra & Orjuela Gutiérrez, 2013)

6.1.2. Toma de muestra para control de procesos.

El muestreo de afluente y efluente es la única forma para establecer las eficiencias de remoción y el funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales (HC Ingenieros SAS, 2014).

6.1.3. Muestreo aleatorio.

El muestreo aleatorio, es decir, la recolección de muestras individuales cada cierto tiempo, proporciona únicamente la composición del agua residual en el momento del muestreo. Se recomienda tomar una muestra aleatoria simple sólo cuando se espera un cambio muy lento en la composición del agua a ser analizada. (HC Ingenieros SAS, 2014)

6.1.4. Muestreo de acuerdo al tiempo.

El muestreo de acuerdo al tiempo o en proporción al tiempo, que se conoce también como muestreo semicontinuo, consiste en la toma de muestras de volúmenes iguales de agua residual a intervalos específicos en un período determinado, por ejemplo, cada 15 o 30 minutos, cuya combinación y mezcla conforma la muestra compuesta. Cuando las muestras en proporción al tiempo se recogen durante períodos de más de 2 horas se recomienda tomar dos muestras a la vez. Una de ellas se utiliza para producir la muestra compuesta de acuerdo al tiempo y la segunda pasa a formar parte de una muestra compuesta de 2 horas que se utiliza para medir ciertos parámetros puntuales tales como el pH y temperatura, el alícuota o porción para conformar la muestra de grasas y aceites, o para determinar los sólidos sedimentables. (HC Ingenieros SAS, 2014)

6.1.5. Muestreo de acuerdo al caudal.

La técnica de muestreo de acuerdo al caudal resulta especialmente adecuada para determinar cargas de contaminación, sobre todo cuando varían las cantidades y concentraciones del agua residual. Esta técnica exige conocer el volumen del efluente de agua residual por unidad de tiempo. El volumen de la alícuota se calcula mediante la siguiente expresión:

$$V_a = V_p (Q_m/Q_p)$$

Donde,

V_a = Volumen alícuota en mililitros

V_p = Volumen constante para condiciones de caudal promedio medido en mililitros

Q_m = caudal medido en el instante t , l/s

Q_p = caudal promedio, l/s

Para el muestreo de acuerdo al volumen también es necesario anotar siempre la información relativa a las mediciones en el punto de muestreo; por ejemplo, la temperatura, el pH y la determinación de los sólidos sedimentables en cada muestra compuesta parcial. (HC Ingenieros SAS, 2014)

6.1.6. Agua Residual no Doméstica (ARnD)

Prácticamente todas las actividades productoras de bienes generan contaminantes como subproductos no deseado. Entre los contaminantes más importantes del agua creados por las actividades humanas se encuentran microbios patógenos, nutrientes, sustancias que consumen el oxígeno del agua, metales pesados y materia orgánica persistente, así como sedimentos en suspensión y pesticidas, los cuales, en su mayoría, provienen de fuentes difusas (no localizadas). El calor, que eleva la temperatura de las aguas receptoras de vertidos también puede ser considerado un contaminante. Generalmente, los contaminantes son la causa más importante de la pérdida de calidad del agua en todo el mundo.

La industria genera más presión sobre los recursos hídricos a través de los impactos que producen las descargas de aguas residuales y su potencial contaminante, que por la cantidad de agua utilizada en la producción (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP), 2017).

Estas aguas pueden variar desde aquellas con alto contenido de materia orgánica biodegradable (mataderos, industria de alimentos), otras con materia orgánica y compuestos químicos (curtiembre, industria de celulosa) y finalmente industrias cuyas aguas residuales

contienen sustancias inorgánicas u orgánicas no degradables (metalúrgicas, textiles, químicas, mineras) (Universidad de Piura., s.f.).

Se estima que el 59% del consumo total de agua en los países desarrollados se destina a uso industrial. El sector Industrial / Producto no sólo es el que más gasta agua, también es el que más contamina. Más de un 80% de los desechos peligrosos vertidos a los alcantarillados y cuerpos de agua superficial provenientes de procesos industriales (Syner Tech S.A.S , 2018).

6.1.7. Tratamiento de Aguas Residuales no Domésticas

Hoy en día, toda industria en cualquier parte del planeta contempla como fundamental un programa de gestión ambiental. Al igual que las aguas residuales domésticas, las aguas procedentes de procesos industriales, de no ser tratados, pueden afectar la salud de las personas y la calidad del ambiente en el que vivimos.

Las Aguas utilizadas en procesos industriales o comerciales, poseen alta contaminación según las actividades de origen, por lo que es importante la reducción/eliminación de los contaminantes contenidos en dicha agua, utilizando métodos químicos (Dosificación de químicos floculantes, coagulantes y de precipitación) y métodos físicos (decantación, flotación y filtración) (Syner Tech S.A.S , 2018).

Las aguas residuales son tratadas mediante procesos físicos, químicos y biológicos que eliminan contaminantes presentes en el agua. Los procesos para tratar el agua son los siguientes:

Tratamiento preliminar: el primer paso en el tratamiento de agua residual, tanto de origen municipal como industrial, es el pretratamiento mecánico de aguas residuales a través de los siguientes procesos.

Tabla 2. Procesos del pretratamiento del agua residual.

Pretratamiento	
Desbaste	El correcto funcionamiento de un sistema de depuración depende en gran medida del tipo de sustancias que llegan a él. La entrada de elementos como palos y plásticos, o partículas como piedras y arena entorpecen los procesos de depuración, provocan problemas de obstrucción y averías en la instalación. (GEDAR - Gestion de Aguas y Residuos, s.f.)
Tamizado	El tamizado es un proceso imprescindible cuando las aguas residuales brutas llevan cantidades excepcionales de sólidos en suspensión, flotantes o residuos, y que consiste en una filtración en la que se hace pasar el agua residual bruta del tamiz. El objetivo de este proceso es conseguir la eliminación de materia que por su tamaño pueda interferir en los tratamientos posteriores. (Pramar, s.f.)
Desarenado	Los desarenadores son estructuras hidráulicas que tienen como función remover las partículas de cierto tamaño que la captación de una fuente superficial permite pasar, se utilizan en tomas para acueductos, centrales hidroeléctricas (pequeñas), plantas de tratamiento y en sistemas industriales. (Universidad EIA, 2003)
Trampas de grasa	Utilizados en establecimientos donde la producción de grasa es bastante alta. Las mismas son utilizadas para la prevención de taponamientos de tuberías debido a la acumulación de grasas. El objetivo de una trampa de grasa es separar las grasas y los sólidos suspendidos del agua clarificada. El agua entra en la primera cámara, todo el material flotante como las grasas, ascienden en el segundo compartimento de la cámara ya que son más livianas (menos densas) que el agua, mientras que el material más pesado se asienta como lodo en el fondo de la trampa de grasa. Por último, en el tercer compartimento de la cámara, el agua clarificada sin grasa sale como efluente. (Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales, 2000)

NOTA: Descripción del proceso. Por Daniel, Escobar, 2018

Tratamiento primario: Los tratamientos primarios son aquellos que eliminan los sólidos en suspensión presentes en el agua residual. Los principales procesos físico-químicos que pueden ser

incluidos en el tratamiento primario son los siguientes: sedimentación, flotación, coagulación – floculación y filtración.

Tabla 3. Procesos del tratamiento primario.

Tratamiento primario	
Sedimentación	Proceso físico de separación por gravedad que hace que una partícula más densa que el agua tenga una trayectoria descendente, depositándose en el fondo del sedimentador. Esta operación será más eficaz cuanto mayor sea el tamaño, del peso específico y de la morfología de las partículas.
Flotación	Proceso físico fundamentado en la diferencia de densidades. La flotación permite separar la materia sólida o líquida de menor densidad que la del fluido, por ascenso de ésta hasta la superficie del fluido, ya que, en este caso, las fuerzas que tiran hacia arriba (rozamiento y empuje del líquido) superan a la fuerza de la gravedad. Se generan pequeñas burbujas de gas (aire), que se asociarán a las partículas presentes en el agua y serán elevadas hasta la superficie, donde son arrastradas y sacadas del sistema.
Coagulación	En muchos casos parte de la materia en suspensión está formada por partículas de muy pequeño tamaño, lo que conforma una suspensión coloidal. Estas suspensiones coloidales suelen ser muy estables, en muchas ocasiones debido a interacciones eléctricas entre las partículas. Por tanto tienen una velocidad de sedimentación extremadamente lenta, por lo que haría inviable un tratamiento mecánico clásico.
filtración	La filtración es una operación en la que se hace pasar el agua a través de un medio poroso, con el objetivo de retener la mayor cantidad posible de materia en suspensión. El medio poroso tradicionalmente utilizado es un lecho de arena, de altura variable.

NOTA: Descripción del proceso. Adaptado de (Cyclus ID, 2018)

Tratamientos secundarios: El objetivo de este tratamiento es remover la demanda biológica de oxígeno (DBO) soluble que escapa a un tratamiento primario, además de remover cantidades adicionales de sólidos sedimentables.

El tratamiento secundario intenta reproducir los fenómenos naturales de estabilización de la materia orgánica, que ocurre en el cuerpo receptor. La ventaja es que en ese proceso el fenómeno se realiza con más velocidad para facilitar la descomposición de los contaminantes orgánicos en períodos cortos de tiempo. Un tratamiento secundario remueve aproximadamente

85% de la DBO y los SST aunque no remueve cantidades significativas de nitrógeno, fósforo, metales pesados, demanda química de oxígeno (DQO) y bacterias patógenas.

Además de la materia orgánica se va a presentar gran cantidad de microorganismos como bacterias, hongos, protozoos, rotíferos, etc., que entran en estrecho contacto con la materia orgánica la cual es utilizada como su alimento. Los microorganismos convierten la materia orgánica biológicamente degradable en CO_2 y H_2O y nuevo material celular. Además de estos dos ingredientes básicos microorganismos – materia orgánica biodegradable, se necesita un buen contacto entre ellos, la presencia de un buen suministro de oxígeno, aparte de la temperatura, PH y un adecuado tiempo de contacto. Para llevar a efecto el proceso anterior se usan varios mecanismos tales como: lodos activados, biodisco, lagunaje, filtro biológico. (Metcalf & Eddy, 1995)

Tabla 4. Tratamientos secundarios en las PTAR.

	Tratamiento secundario
Lodos activados	Permite el desarrollo de una depuración de origen natural en la que los microorganismos son capaces de devolver agua contaminada a su estado natural a través de la aireación prolongada y la recirculación de fangos activos que eliminan las sustancias biodegradables que están disueltas en el agua. (Soluciones medioambientales y aguas, S.A., 2016)
Biodisco	Es tan eficaz como los lodos activados, requiere un espacio mucho menor, es fácil de operar y tiene un consumo energético inferior. Está formado por una estructura plástica de diseño especial, dispuesto alrededor de un eje horizontal. Según la aplicación puede estar sumergido de un 40 a un 90% en el agua a tratar, sobre el material plástico se desarrolla una película de microorganismos, cuyo espesor se autorregula por el rozamiento con el agua, en la parte menos sumergida, el contacto periódico con el aire exterior es suficiente para aportar el oxígeno necesario para la actividad celular. (Metcalf & Eddy, 1995)
Lagunaje	Lagunas más extensas y menos profundas que las Anaerobias en las que coexisten condiciones anaerobias (en el fondo) y aerobias (en superficie), y una alternancia de las mismas en la zona intermedia de la laguna. Se producen, por lo tanto, procesos de degradación anaerobia de la materia orgánica que se acumula en profundidad y procesos de oxidación (degradación aerobia) en superficie, favorecida por el intercambio de oxígeno con la atmósfera y la acción de organismos fotosintéticos. (Asociación Épsilon Ecología., 2018)
Filtro biológico	Estos sistemas emplean reactores en los cuales el agua residual está en contacto con los microorganismos inmovilizados en una superficie. El área superficial de la bio-película es un complejo de agregación de microorganismos marcado por la excreción de una matriz adhesiva protectora.

NOTA: Descripción del proceso. Por Daniel, Escobar, 2018

Filtro Anaeróbico: Es un reactor biológico de cama fija. Al fluir las aguas residuales por el filtro, se atrapan las partículas y se degrada la materia orgánica por la biomasa que está adherida al material del filtro.

Esta tecnología consiste en un tanque de sedimentación (o fosa séptica) seguido de una o más cámaras de filtración. Los materiales comúnmente usados para el filtro incluyen grava, piedras quebradas, carboncillo, o piezas de plástico formadas especialmente. El tamaño típico de los materiales del filtro varía entre 12 y 55 mm de diámetro. Idealmente, el material proporcionará entre 90 y 300 m² de superficie por 1 m³ de volumen del reactor. Al proporcionar una gran superficie para la masa bacteriana, hay un mayor contacto entre la materia orgánica y la biomasa activa que la degrada efectivamente (Compendio de Sistemas y tecnologías de saneamiento, 2002).

Filtro percolador: Es una cama de grava o un medio plástico sobre el cual se rocían las aguas negras pretratadas. En este sistema de filtro percolador, los microorganismos se apegan al medio del lecho y forman una capa biológica sobre éste. A medida que las aguas negras se percolan por el medio, los microorganismos digieren y eliminan los contaminantes del agua. (Lesikar & Enciso, s.f.)

Filtro fitopedológico: Consiste en un tanque al aire libre, que está lleno de material grueso “grava” y en su parte superior está compuesto por una capa de material orgánico a la cual se le siembran plantas acuáticas las cuales hacen un proceso que ayuda a mejorar el tratamiento de las aguas residuales. (Quintero, 2015)

Lagunas de estabilización: Son el método más simple de tratamiento de aguas residuales que existe. Están constituidos por excavaciones poco profundas cercadas por taludes de tierra. Generalmente tiene forma rectangular o cuadrada. Las lagunas tienen como objetivos:

1. Remover de las aguas residuales la materia orgánica que ocasiona la contaminación.
2. Eliminar microorganismos patógenos que representan un grave peligro para la salud.
3. Utilizar su efluente para reutilización, con otras finalidades, como agricultura.

La eficiencia de la depuración del agua residual en lagunas de estabilización depende ampliamente de las condiciones climáticas de la zona, temperatura, radiación solar, frecuencia y

fuerza de los vientos locales, y factores que afectan directamente a la biología del sistema (Universidad Veracruzana, s.f.).

6.2. Marco Conceptual

En el presente trabajo se interrelacionan diferentes parámetros que son fundamentales para analizar la eficiencia de un tratamiento de aguas residuales:

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅): Es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, en condiciones aeróbicas, en un periodo de cinco días a 20 °C. En aguas residuales domésticas, el valor de la DBO a cinco días representa en promedio un 65 a 70% del total de la materia orgánica oxidable. La DBO, como todo ensayo biológico, requiere cuidado especial en su realización, así como conocimiento de las características esenciales que deben cumplirse, con el fin de obtener valores representativos confiables.

El ensayo supone la medida de la cantidad de oxígeno consumido por organismos vivos en la utilización de la materia orgánica presente en un residuo; por tanto, es necesario garantizar que durante todo el periodo de ensayo exista suficiente oxígeno disuelto para ser utilizado por los organismos (Navarro, 2007).

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Es el método tradicional que reemplaza la oxidación biológica realizada por los microorganismos por una oxidación química usando un oxidante fuerte, el dicromato de potasio en ácido sulfúrico y a alta temperatura. Como la cantidad de dicromato que reacciona está relacionada a la cantidad de oxígeno necesario para consumir la materia orgánica, puede estimarse el oxígeno que se consumiría junto con la materia orgánica, y ello en un tiempo de 90 minutos a 3 horas en lugar de 5 días, por lo que es mucho más práctico para controlar un proceso de tratamiento de agua (Aguasresiduales.net, 2015).

Sólidos Suspendidos Totales (SST): Son el residuo no filtrable de una muestra de agua natural o residual industrial o doméstica, se define como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente son secados a 103 -105 grados Celsius (°C) hasta llegar a un peso constate (Orjuela L. C, 2013). Los SST se asocian a la turbidez, color del agua, obedece también a la dinámica de los ríos, en cuanto al tipo de material del cauce y el clima de la región

(precipitación). Valores altos de SST ($>1000 \text{ mg L}^{-1}$) afectan la entrada de luz, limitando el desarrollo de la vida acuática, así como es posible que transporte sustancias tóxicas o nocivas cuando existe partículas pequeñas (Ruiz, 2017).

Concentración de iones hidrógeno (pH): La concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales. El intervalo de concentraciones adecuado para la adecuada proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico. El agua residual con concentraciones de ion hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración de ion hidrógeno en las aguas naturales si ésta no se modifica antes de la evacuación de las aguas (Avila, 2016).

Conductividad: Es la medida de la capacidad de una solución para conducir una corriente eléctrica y es a veces denominado "conductancia específica" (Hach Company, 2017).

6.3. Marco Legal

Tabla 5. Parámetros fisicoquímicos

Parámetro	Unidades	Valores límites máximos permisibles
Generales		
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	150,00
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	50,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	50,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	1,00
Grasas y Aceites	mg/L	10,00
Compuestos Semivolátiles	mg/L	Análisis y Reporte
Fenólicos		
Fenoles Totales	mg/L	0,20
Formaldehído	mg/L	Análisis y Reporte
Sustancias Activas al Azul de Metileno	mg/L	Análisis y Reporte

NOTA: Valores límites máximos permisibles, Adaptado de (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004)

Además de la normatividad anteriormente mencionada es necesario tener presente la política y normatividad relacionada con el manejo y tratamiento de aguas residuales.

Tabla 5. Normatividad nacional ambiental

Jerarquía	Norma	Fecha	Alcance
Constitución Política	Artículo 79 y Artículo 80 Artículo 49	1991	El manejo de vertimientos está ligado a la obligación del estado de garantizar un ambiente sano a todos los colombianos y de proteger la integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación ambiental. El saneamiento ambiental es un servicio público a cargo del estado.
Decreto/Ley	2811	1974	Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente: define normas generales y detalla los medios para el desarrollo de la Política Ambiental.
Ley	9	1979	Código Sanitario Nacional: Establece las normas generales para preservar, restaurar o mejorar las condiciones necesarias en lo que se relaciona a la salud humana y define desde el aspecto sanitario los usos del agua y los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de las descargas de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del Ambiente.
Ley	99	1993	Crea el Ministerio del Medio Ambiente, reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, y organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA.
Decreto	3100	2003	Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones.
Decreto	3440	2004	Por el cual se modifica el Decreto 3100 de 2003 en aspectos de la implementación de la tasa retributiva
Decreto	3930	2010	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI-Parte III-Libro II del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones
Decreto	4728	2010	Por el cual se modifica parcialmente el decreto 3930 de 2010

Tabla 6. Continuación

Resolución	1433	2004	Por la cual se reglamenta el artículo 12 del Decreto 3100 de 2003, sobre Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV y se adoptan otras determinaciones
Resolución	2145	2005	Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 1433 de 2004 sobre Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV.
Resolución	0631	2015	Establece los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.
Resolución	0631; Art. 9, Cap. VI	2015	Establece los parámetros fisicoquímicos y sus valores límites permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas a cuerpos de agua superficiales.
Resolución	0631; Art 6, Cap. III		Se dictan los parámetros microbiológicos de análisis y reporte en los vertimientos puntuales de aguas residuales (ARD y ARnD), Mediante las cuales se gestionan excretas humanas y/o de animales a cuerpos de agua superficiales, cuando la carga másica en las aguas residuales antes del sistema de tratamiento es mayor a 125,00 Kg/día de DBO ₅ .

NOTA: Relación de normatividad relacionada con las aguas residuales. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial , 2004)

7. Hipótesis

La planta de tratamiento de aguas residuales no domesticas presenta una operación deficiente de la remoción de materia orgánica por lo que no cumple con la normatividad (Resolución 0631 de 2015) de vertimientos a cuerpos de aguas superficiales.

8. Metodología

Este proyecto teórico-práctico se basó en la evaluación del desempeño del sistema de tratamiento que permitió identificar fallas y de este modo se permitió formular alternativas que pudieran dar el cumplimiento legal de los límites máximos permisibles de descarga establecidos en la legislación nacional, del proceso de tratabilidad de la PTAR-nD en la Central de Abastos de Villavicencio.

Para dar respuesta a los objetivos planteados, se diseñó una metodología que comprende cuatro fases:

Fase 1.Diagnóstico de los componentes de la planta de tratamiento: En esta etapa fue necesario conocer en detalle la planta de tratamiento de aguas residuales en estudio, la cual está compuesta por colectores de conexión y distribución de la red de alcantarillado, cajas de inspección de las ARnD, 380 trampas de grasa ubicadas en las instalaciones de la C.A.V, 2 filtros anaerobios, 1 filtro percolador, 1 filtro fitopedológico y 1 laguna de estabilización, de los cuales se desconocen las medidas de diseño de cada unidad y su funcionamiento.

Se completó la información técnica de la PTAR-nD para conocer las características y condiciones del sistema de tratabilidad de agua residual no doméstica realizando los siguientes pasos:

- Se identificó mediante visitas técnicas y observación directa la estructura y el estado en que se encontraba la PTAR-nD, por medio de registros fotográficos.
- Se hizo levantamiento de información *In situ* sobre las características de cada uno de los componentes de la planta, para esto se usaron cintas métricas y varas de referencia para las mediciones respectivas de cada unidad lo cual permitió conocer su ancho, largo, profundidad, diámetro, etc., según correspondía. Cabe resaltar que el levantamiento de esta información no se comparó ya que no existía información ni medidas de la planta en general.

- Se hicieron entrevistas al 5% del total de viviendas en la comunidad de la invasión Aguas Claras en las que se tuvo un aproximado de 200 casas para un total de 10 encuestas que permitirán identificar cómo ha impactado la PTAR-nD a esta comunidad. (Ver Anexo 1).
- Se realizaron dos entrevistas a los operarios de la PTAR-nD de los cuales una entrevista se le realizó a la responsable de la C.A.V y otra al encargado del mantenimiento de la PTAR-nD (Ver Anexo 2), para obtener algún tipo de dato de las dimensiones y de la operación de la planta que fueran útil para el desarrollo del proyecto.
- Se realizó una investigación documental sobre la existencia de planos, memorias y manual de operación en los diferentes entes gubernamentales de Villavicencio (Archivo Municipal, Alcaldía, Gobernación, Cormacarena)

Fase 2. Muestreo: En esta fase se establecieron los puntos de muestreo y los procedimientos acordes para la toma de muestras asegurando la calidad de los datos, con el fin de determinar las condiciones de las aguas vertidas.

- Se tomaron las muestras de forma puntual en 6 puntos del sistema; el primer punto de muestra se realizó a la entrada de la planta, el segundo punto al final del filtro anaerobio, el tercer punto al final del filtro percolador, el cuarto punto se tomó en el filtro fitopedológico, el quinto punto a la entrada de la laguna de estabilización y finalmente en el sexto punto se tomó a la salida de la PTAR-nD (Ver Anexo 3).
- Se ejecutaron aforos y muestras compuestas para evaluar los efectos de descargas y operaciones variables o irregulares y minimizar el efecto de las variaciones puntuales de la concentración de los elementos que se analizaron. la mayor actividad de la empresa ocurre en las horas de la mañana, por lo tanto, las muestras se tomaron de 6 a.m. a 10.00 a.m. (para el análisis de pH, conductividad, temperatura, SST, DBO, DQO y grasas y aceites).
- Estas muestras se realizaron con un intervalo de tiempo de 1 hora durante dos meses, lo que equivale a una vez por semana, donde se seleccionaron aleatoriamente los días de la semana para determinar el comportamiento y características de las aguas residuales. Hay que mencionar que debido a la disponibilidad del laboratorio e inconvenientes con el personal mencionado para el acompañamiento de las actividades programadas en la Central las fechas para las tomas de muestras se prolongó, además de que ningún muestreo se

realizó un sábado por la misma razón, este día no está disponible el Laboratorio y la DBO era necesario montarla el mismo día de recolección de la muestra. La mayor actividad laboral de la C.A.V. comprende casi todos los días de la semana, teniendo en cuenta que hay días con picos de flujo más altos que otros, como por ejemplo días dominicales, quincenales y mensuales, excepto el lunes que no hay servicio en la mayoría de las actividades comerciales. Estos flujos constantes se ven reflejados a partir de las 6 a.m. hasta el mediodía, Se realizó un análisis estadístico de los datos obtenidos durante el muestreo.

- En la siguiente tabla se especifican los métodos de muestreo, la frecuencia y los puntos de muestreo utilizados.

Tabla 6. Inventario de parámetros.

PARÁMETROS	METODO INSTRUMENTO	FRECUENCIA	TIPO DE MUESTRA
TEMPERATURA	Multiparametro	1 muestras, 1 vez por semana durante 2 meses	Compuesta
pH	Multiparametro (IDEAM)	1 muestras, 1 vez por semana durante 2 meses	Compuesta
DBO	Incubación por 5 Días (IDEAM)	1 muestras, 1 vez por semana durante 2 meses	Compuesta
DQO	Reflujo cerrado y volumetría (IDEAM)	1 muestras, 1 vez por semana durante 2 meses	Compuesta
SST	Secados a 103-105°C (IDEAM)	1 muestras, 1 vez por semana durante 2 meses	Compuesta
CONDUCTIVIDAD	Multiparametro (IDEAM)	1 muestras, 1 vez por semana durante 2 meses	Compuesta
GRASAS Y ACEITES.	Extracción con disolvente (IDEAM)	1 muestras, 1 vez por semana durante 2 meses	Compuesta

NOTA: Descripción del inventario, Por Daniel, Escobar, 2018

Fase 3. Eficiencia de la planta: Se determinó la capacidad operativa y las eficiencias de remoción de la PTAR-nD de la Central de Abastos de Villavicencio. Esta fase corresponde a la sección cuantificable del proyecto, ya que se usaron los datos obtenidos en los muestreos para

determinar la eficiencia de la PTAR-nD. Adicionalmente se analizaron los parámetros fisicoquímicos en relación con los valores límites máximos permisibles para los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas exigidos por la normatividad nacional (Resolución 0631 de 2015).

Estos datos requirieron tratamiento estadístico, por lo tanto, a continuación, se mostrarán las medidas estadísticas que se usaron para el correspondiente análisis.

- Medidas de tendencia central: indicaran entorno que valor (centro) se distribuyen los datos. Las medidas que se utilizaran son la moda, media, máximo y mínimo
- Medidas de dispersión: las medidas de dispersión permiten identificar cuanto se alejan del centro de los valores de la distribución. Las medidas que se utilizaran son: desviación estándar y varianza.
- Medidas de correlación: se determinará la relación o dependencia que exista entre dos variables, en este caso se correlacionaran aquellos parámetros que teóricamente estén directamente relacionados, para observar si el comportamiento es normal o anormal, esto se lograra a través del coeficiente de correlación de Pearson, dicho comportamiento se evaluara en función del tiempo.

Los datos fueron organizados teniendo en cuenta los valores registrados para cada parámetro en función del tiempo, esto se hizo con el fin de aplicar las medidas estadísticas ya mencionadas, a través del programa estadístico informático SPSS. Es necesario resaltar, que también se generaron graficas lineales, de dispersión y barras, para la visualización de los resultados.

Fase 4. Propuestas de mejoramiento: Se formularon propuestas que permitieron dar respuesta a los problemas identificados en el proceso de tratabilidad de la PTAR-nD de la C.A.V.

Esta etapa se usó la información cualitativa y cuantitativa recolectada en las etapas anteriores y a partir de ello se hicieron las recomendaciones pertinentes para mejorar los parámetros de operación de la planta que causaban que la misma no fuera eficiente y así mismo dar cumplimiento con la resolución 0631 de 2015.

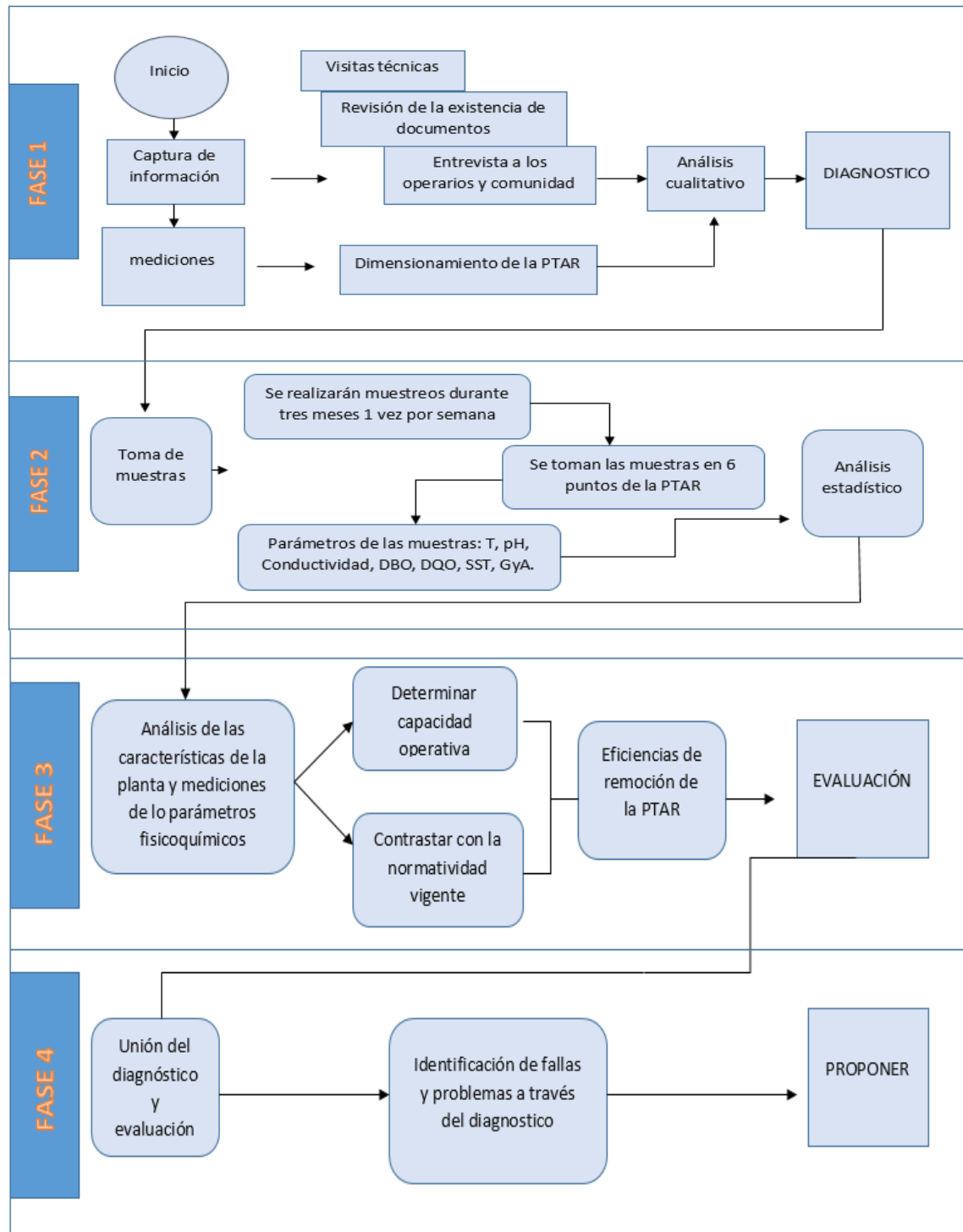


Figura 1. Diagrama de Flujo representando la metodología, Por Daniel, Escobar, 2018

9. Resultados

De acuerdo con las actividades propuestas en la metodología se obtuvieron los siguientes resultados:

Diagnóstico de la situación actual de la planta de tratamiento

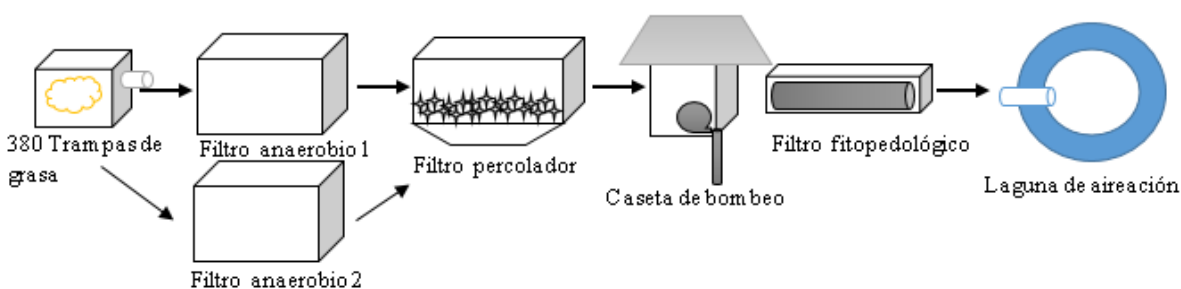


Figura 2. Esquema de la PTAR de la Central de Abastos de Villavicencio. Por Daniel, Escobar, 2018

La PTAR-nD de la Central de Abastos Villavicencio está diseñada con un sistema de tratamiento primario de 380 trampas de grasas ubicadas dentro de las instalaciones, bloques A, B, C, y D con el fin de retener sólidos provenientes de las actividades comerciales y reducir los sólidos en suspensión del agua, conducido por medio de una red de tubería de PVC al filtro anaerobio 1. La figura 2 muestra un diagrama simplificado de la PTAR-nD.



Figura 3. Caja de inspección entrada filtro anaerobio 1. Por Daniel, Escobar, 2018

La red de tubería de los bloques A, B, C, se unen en una primera caja de inspección, entrada del filtro anaerobio 1 (Figura 3) tratamiento secundario, la caja se encuentra saturada de sólidos y la lámina de agua está por encima del tubo de entrada lo que hace imposible determinar el flujo de entrada a esta unidad. El filtro está compuesto por cuatro cámaras, en las tres primeras se hace un proceso de sedimentación de lodos y en la última cámara en un proceso de filtración de flujo ascendente a través de un lecho de grava.

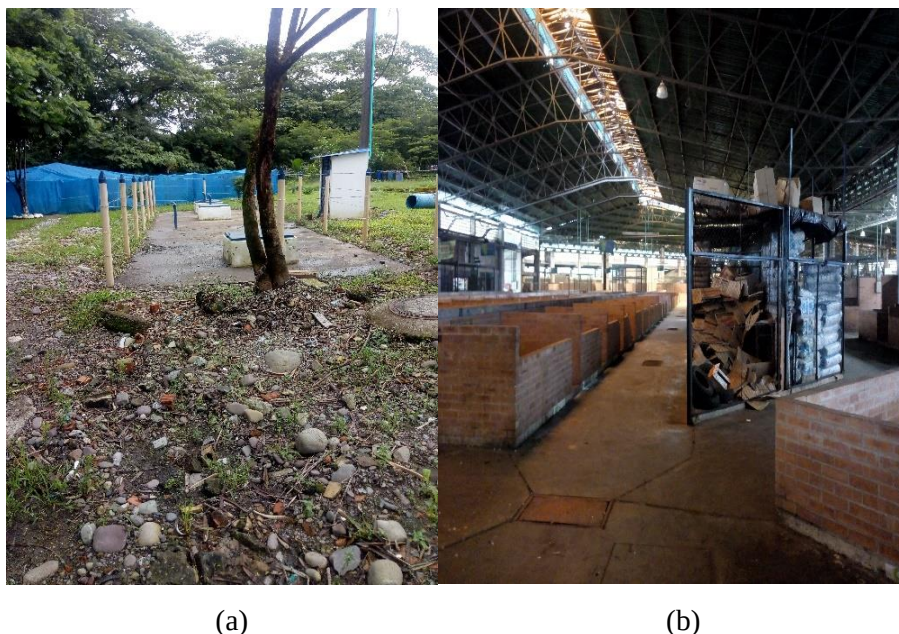


Figura 4. (a) Aspecto superficial del filtro anaerobio 2, (b) Bloque D. 2. Por Daniel, Escobar, 2018

El filtro anaerobio 2 está diseñado para tratar las aguas residuales provenientes del bloque D, actualmente sus instalaciones están vacías por lo que las generaciones de aguas residuales son mínimas, al igual que el filtro anaerobio 1 está compuesto de 4 cámaras y una bomba sumergible de 1 caballo de fuerza para bombear al filtro percolador.



Figura 5. Filtro percolador. Por Daniel, Escobar, 2018

Seguido del filtro anaerobio se continua el proceso de tratamiento con el filtro percolador (Figura 5), estas aguas son dirigidas por acción de la gravedad a la caja superior izquierda (caja señalada) este filtro percolador está compuesto por cuatro tanques subterráneos diseñados con una membrana para evitar filtraciones y una capa de gravilla de aproximadamente de 50 cm como filtro, el afluente llega a estos tanques realizando un proceso de recirculación con el fin de degradar la materia orgánica.



Figura 6. Tanques Filtro Percolador. Por Daniel, Escobar, 2018

En la Figura 6 se puede observar en una de las cámaras una tubería de 3” que se conecta al filtro percolador, se identificó que esta tubería proviene de una de las canales de aguas lluvia y sanitarios de la bodega D, inicialmente el tubo atravesaba el filtro para verter las aguas directamente al humedal aledaño a las instalaciones de la planta de tratamiento, pero para reducir el impacto generado fue cortado al punto del filtro percolador para que fueran tratadas.

El proceso finaliza en un tanque subterráneo ubicado en la caceta equipada con una bomba sumergible de 3” y de 1 caballo de fuerza, que tiene como función bombear las aguas de este tanque colector a un filtro fitopedológico y una laguna de oxidación.



Figura 7. Aspecto superficial del filtro fitopedológico. Por Daniel, Escobar, 2018

El agua bombeada pasa por el filtro fitopedológico, que consta de un canal cubierto por arena y gravilla, en el fondo un tubo de PVC de 3 pulgadas perforado por donde fluye el agua hasta llegar a una caja de inspección (Figura 7).



Figura 8. Laguna de oxidación aireada. Por Daniel, Escobar, 2018

Una vez pasa por el filtro fitopedológico el agua tratada es conducida a la laguna de oxidación aireada, que cuenta con una instalación con tubos PVC de 3" perforados suspendidos en el aire y por medio de una bomba absorbe el agua de la laguna para generar un efecto de aireación por cascada.



Figura 9. Zona de vertimiento Caño Aguas Claras. Por Daniel, Escobar, 2018

El efluente es vertido al Caño de Aguas Claras a la salida de la laguna, el agua residual es conducida a un lecho rocoso que sirve como filtro para retención de sólidos y materia orgánica. De acuerdo a la información obtenida en las entrevistas a los operarios, existía una tubería que cruzaba directamente al lecho rocoso sin pasar por la laguna de oxidación, teniendo en cuenta esto, se puede observar una caja de inspección cerca de la laguna por donde posiblemente transcurría la tubería. Esta caja se encuentra sellada debido a las raíces de los árboles que se encuentran en el perímetro, se desconoce su procedencia y su función, quizás sea esta una de las razones por la cual se evidenciaron picos altos de las concentraciones de los contaminantes al final del proceso.

Adicionalmente se recolectó información a partir de las encuestas realizadas a la comunidad y se identificaron algunos impactos por las descargas que realiza la PTAR al cuerpo de agua. Cuando se presentan precipitaciones intensas, el Caño Aguas Claras se desborda, causando problemas en la comunidad por los malos olores y proliferación de vectores. Adicionalmente el agua de este cuerpo hídrico es usada directamente, para las actividades domésticas diarias de la invasión Aguas Claras, especialmente en temporada de sequía, lo que ocasiona problemas de salud como brotes y dengues, debido a la afectación de la PTAR-nD de la C.A.V.

9.1. Dimensiones de los componentes de la PTAR

A continuación, en las Tablas 8 a 12 se presentan las dimensiones de cada uno de los componentes de la PTAR y se hace una representación esquemáticamente de la PTAR, (Ver Anexo 4).

9.1.1. Filtro Anaerobio 1.

Tabla 7. Dimensiones Filtro Anaerobio 1

Dimensiones	Unidades	Cámara 1	Cámara 2	Cámara 3	Cámara 4
Ancho	m	4	4	4	4
Largo	m	6	3	3	3
Profundidad Total	m	3	3	3	3
Altura lámina de agua	m	2, 90	2, 90	2, 90	2, 90
Altura del tubo	m	2, 50	2, 50	2, 50	2, 50
Capa de grava	cm	30	30	30	30
Diámetro de tubería	Pulgadas	3	3	3	3

NOTA: Datos de las dimensiones de la PTAR, Por Daniel, Escobar, 2018

9.1.2. Filtro Anaerobio 2.

Tabla 8. Dimensiones Filtro Anaerobio 2

Dimensiones	Unidades	Cámara 1	Cámara 2	Cámara 3
Ancho	m	4	4	4
Largo	m	6	3	3
Profundidad Total	m	3	3	3
Altura lámina de agua	m	2, 40	2, 40	2, 40
Altura del tubo	m	2, 50	2, 50	2, 50
Capa de grava	cm	30	30	30
Diámetro de tubería	Pulgadas	3	3	3

NOTA: Datos de las dimensiones de la PTAR, Por Daniel, Escobar, 2018

9.1.3. Filtro Percolador.

Tabla 9. Dimensiones Filtro Percolador

Dimensiones	Unid	Cámara 1	Cámara 2	Cámara 3	Cámara 4	Cámara 5	Cámara 6
Ancho	m	2	2	2	2	2	2
Largo	m	3	3	3	3	3	3
Profundidad total	m	3	3	3	3	3	3
Altura del tubo	m	2, 80	2, 80	2, 80	2, 80	2, 80	2, 80
Altura lámina de agua	m	2, 90	2, 90	2, 90	2, 90	2, 90	2, 90
Capa de grava	cm	30	30	30	30	30	30
Diámetro de tubería	Pulgada	3	3	3	3	3	3

NOTA: Datos de las dimensiones de la PTAR, Por Daniel, Escobar, 2018

9.1.4. Filtro fitopedológico.

Tabla 10. Dimensiones Filtro Fitopedológico

Dimensiones	Unidades	Valor
Ancho canal	m	0.6
Largo	m	35
Profundidad	m	1.20
Volumen	m ³	25.2
Tiempo de Retención	h	1.31
Caudal	L/s	5.33
Diámetro de tubería	Pulgadas	3

*Fórmula para caudal y tiempo de retención (Ver Anexo 5).

NOTA: Datos de las dimensiones de la PTAR, Por Daniel, Escobar, 2018

9.1.5. Laguna de Oxigenación Aireada.

Tabla 11. Dimensiones Laguna de Oxidación Aireada.

Dimensiones	Unidades	Valor
Ancho	m	10
Largo	m	17
Profundidad	cm	70
Nivel de lodos	cm	20
Volumen total*	m ³	106
Tiempo de Retención	h	4.42
Caudal máximo	L/s	5.33
Diámetro de tubería	Pulgadas	3

*El volumen total de la laguna (lodos y lámina de agua). Formula de volumen y tiempo de retención (Ver Anexo 5).

NOTA: Datos de las dimensiones de la PTAR, Por Daniel, Escobar, 2018

10.2. Evaluación del Sistema Operativo de la PTAR-nD

10.2.1. Parámetros *In situ*.

10.2.1.1. Determinación del caudal.

El sistema no tiene una estructura de aforo que permitiera medir directamente el caudal a la entrada de la planta de tratamiento, se procedió a realizar la medición del caudal en la primera caja de inspección ubicada antes de pasar por el filtro anaerobio 1, se identificó que no era posible

efectuar el aforo en el afluente del sistema debido a que la lámina de agua está muy por encima del tubo de entrada.

Es por esto que el caudal de la PTAR-nD está definido por una bomba sumergible de 3” y un caballo de fuerza ubicada al final de la unidad del filtro percolador. La bomba anteriormente se encendía automáticamente cada vez que el tanque colector se llenaba, debido a daños en el equipo, actualmente el personal de mantenimiento encargado la enciende cada hora, se tomó la decisión de realizar el aforo en el afluente de la laguna de oxigenación aireada mediante un aforo volumétrico.

Tabla 12 Análisis descriptivo del caudal

Estadísticos descriptivos						
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Varianza
Qpto5_M1	30	3,94	6,18	4,8733	0.50	0.25
N válido (por lista)	30					

NOTA: Datos estadísticos, Por Daniel, Escobar, 2018

El monitoreo del caudal del sistema dio como resultado un caudal mínimo de 3,94 L/s, un caudal medio de 5 L/s y un caudal máximo de 6.18 L/s. La desviación estándar no arrojó datos significativos por lo que no se alejan de la media, al igual que la varianza de los datos es mínima.

De acuerdo con la información suministrada por la empresa la planta tiene otorgado un caudal máximo de 3 L/s por la Autoridad Ambiental.

10.2.1.2. Temperatura.

La Tabla 14 muestra los resultados estadísticos de tendencia central de los datos de temperatura de cada punto cada hora.

Tabla 13. Resultados estadísticos de la variable Temperatura

Temperatura (°C)											
Puntos		Punto 1					Punto 2				
Componente estadístico	Hora	6am	7am	8am	9am	10am	6am	7am	8am	9am	10am
N° de datos		7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Mínimo		25.40	25.30	25.70	26.00	25.70	24.90	25.00	24.90	25.10	24.90
Máximo		27.60	28.60	29.10	29.40	27.60	27.10	27.60	27.90	27.70	27.00
Media		26.300	26.45	26.67	26.75	26.40	25.80	25.94	25.88	25.95	25.87
Moda		26.00	-	-	26.60	26.30	-	25.50	25.30	25.50	-
Desviación estándar		.7767	1.0306	1.1686	1.1998	.7023	.6831	.8283	.9940	.8541	.6395
Varianza		.603	1.190	1.366	1.440	.493	.467	.686	.988	.730	.409

Puntos		Punto 3					Punto 4				
Componente estadístico	Hora	6am	7am	8am	9am	10am	6am	7am	8am	9am	10am
N° de datos		7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Mínimo		24.70	24.90	24.70	25.00	25.00	24.90	24.90	25.00	25.10	25.10
Máximo		28.00	31.00	27.20	27.80	26.90	27.40	27.10	27.30	26.70	26.70
Media		25.75	26.28	25.77	25.88	25.77	25.87	25.87	25.90	25.88	26.04
Moda		25.40	25.50	26.00	25.70	25.90	-	25.60	-	25.70	26.70
Desviación estándar		1.0690	2.1051	.7846	.8989	.5822	.8807	.7111	.8041	.5241	.5996
Varianza		1.143	4.431	.616	.808	.339	.776	.506	.647	.275	.360

Puntos		Punto 5					Punto 6				
Componente estadístico	Hora	6am	7am	8am	9am	10am	6am	7am	8am	9am	10am
N° de datos		7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Mínimo		24.40	24.80	24.90	25.00	25.00	24.00	23.20	24.60	24.80	24.90
Máximo		26.70	26.30	26.30	26.90	27.00	25.60	25.80	26.30	27.10	27.20
Media		25.51	25.58	25.64	25.68	25.87	24.97	25.04	25.50	25.75	25.97
Moda		-	-	-	-	26.10	25.20	25.80	-	-	-
Desviación estándar		.7603	.4947	.4894	.6817	.6369	.5707	.9253	.5775	.7568	.7952
Varianza		.578	.245	.240	.465	.406	.326	.856	.333	.573	.632

Figura 10. Variación de la Temperatura en la PTAR el 10 de abril 2018. Por Daniel, Escobar, 2018

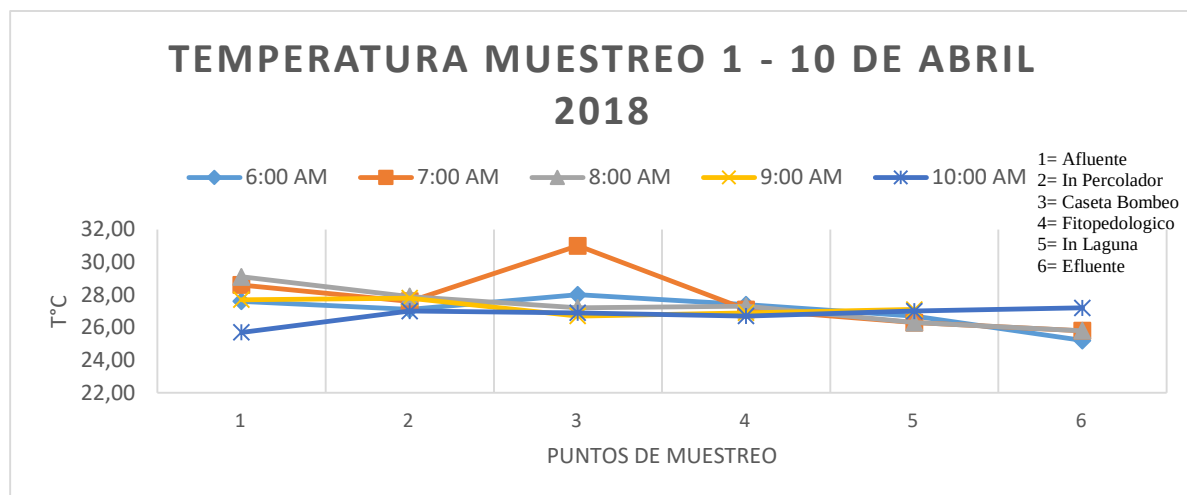


Figura 11. Variación de la Temperatura en la PTAR el 10 de abril 2018. Por Daniel, Escobar, 2018

En los seis puntos muestreados la mayor temperatura registrada fue de 31°C a las 7 a.m. en el punto 3, más exactamente en el tanque colector donde está ubicada la bomba sumergible, la temperatura mínima fue de 23.20°C en la salida de la laguna de aireación el punto 6 a las 7 a.m.; la desviación estándar ilustra diferencias poco significativas, la varianza no presenta valores elevados, teniendo 2,10 el dato más alto y 0.,24 el más bajo, la moda oscila entre los 25°C y 26.70°C. Estos resultados registrados no exceden los límites máximos permisibles de la Resolución 0631 de 2015. Estos resultados registrados no exceden los límites máximos permisibles de la Resolución 0631 de 2015

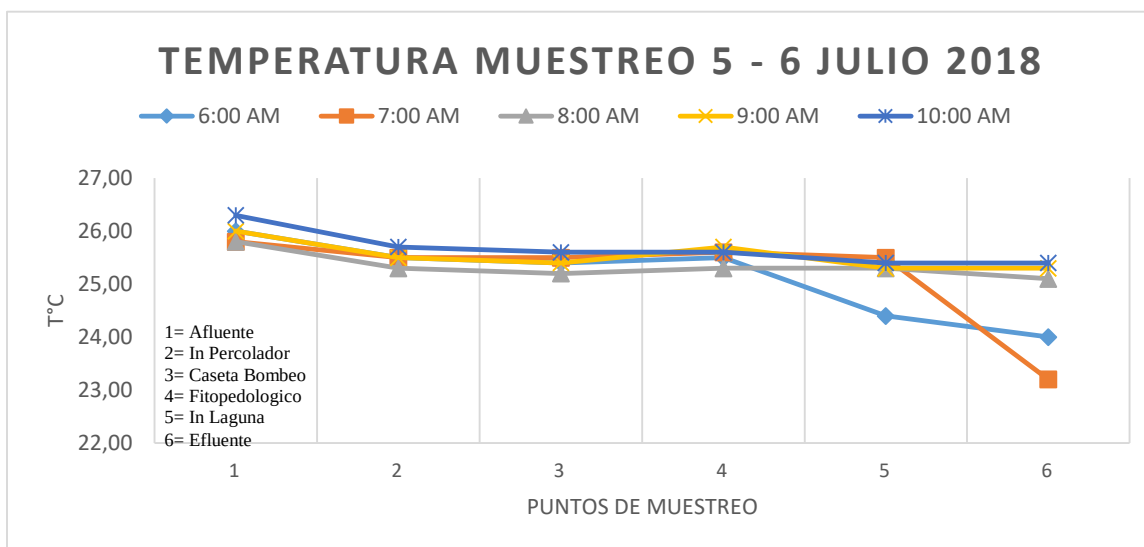


Figura 12. Variación de la Temperatura en la PTAR el 6 de julio 2018. Por Daniel, Escobar, 2018

La temperatura en el sistema de tratamiento registrada el 10 de abril y 6 de julio del 2018 varía entre 23 y 31°C siendo una temperatura óptima para la degradación de la materia orgánica. El registro más alto se presentó a las 7 a.m. al final del proceso del filtro percolador, este dato se dio en el punto donde se encuentra el tubo proveniente de uno de los canales de aguas lluvia y sanitarios del bloque D. Se infiere que debido a las actividades rutinarias y la intensidad del brillo solar de este día sobre las instalaciones e infraestructura provocó un aumento en la temperatura del agua residual, por otro lado, la Figura 11 muestra el comportamiento de la temperatura que se mantiene en un rango de 25 a 26°C excepto en el punto 6 la laguna de aireación a las 7 y 10 a.m. donde se reduce la temperatura por las condiciones climáticas y el proceso de aireación que se presenta en este punto.

Se puede observar que el comportamiento de la temperatura a lo largo de la planta se mantiene en un rango de 25 a 27 °C, temperatura óptima para la actividad bacterial, propiciando la degradación de la materia orgánica e incrementando la tasa de sedimentación de sólidos (Romero Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales, 2000).

Valores de la concentración de Potencial de hidrogeno (pH)

Tabla 14. Resultados estadísticos de la variable PH

pH											
Puntos		Punto 1					Punto 2				
Componente estadístico	Hora	6am	7am	8am	9am	10am	6am	7am	8am	9am	10am
Mínimo		6.05	6.01	6.00	5.98	6.16	6.03	6.00	6.02	6.02	6.68
Máximo		7.41	7.71	7.74	7.64	7.81	7.44	7.38	7.31	7.31	7.35
Media		6.83	6.91	6.90	6.96	6.99	6.80	6.78	6.77	6.77	6.89
Desviación estándar		.4019	.4963	.5546	.5004	.5012	.4222	.4121	.3903	.3903	.2174
Varianza		.162	.246	.308	.250	.251	.178	.170	.152	.152	.047

pH											
Puntos		Punto 3					Punto 4				
Componente estadístico	Hora	6am	7am	8am	9am	10am	6am	7am	8am	9am	10am
Mínimo		6.04	6.02	5.99	6.69	6.70	6.46	6.03	6.00	6.75	6.75
Máximo		7.55	7.47	7.43	7.51	7.40	7.56	7.52	7.49	7.42	7.46
Media		6.81	6.81	6.80	6.93	6.92	6.91	6.85	6.83	6.98	6.96
Desviación estándar		.4482	.4316	.4298	.2685	.2298	.3409	.4425	.4392	.2121	.2368
Varianza		.201	.186	1.85	.072	.053	.116	.196	.193	.045	.056

Tabla 15. Continuación

Puntos		Punto 5					Punto 6				
Componente estadístico	Hora	6am	7am	8am	9am	10am	6am	7am	8am	9am	10am
Mínimo		6.43	6.03	6.00	6.99	6.75	6.05	6.03	6.01	7.08	7.06
Máximo		7.56	7.52	7.49	7.42	7.46	7.78	7.78	7.83	7.88	7.79
Media		7.08	7.07	7.08	7.35	7.23	7.08	7.07	7.08	7.35	7.23
Desviación estándar		.5269	.5297	.5433	.3344	.2611	.5269	.5297	.5433	.3344	.2611
Varianza		.278	.281	.295	.112	.068	.278	.281	.295	.112	.068

NOTA: Descripción datos estadísticos por puntos y tiempos de aplicación. Por Daniel, Escobar, 2018

Los resultados para pH en los muestreos realizados a lo largo de la planta registraron un dato máximo de 7, 88 unidades en el punto 6 a las 9 a.m. y un mínimo de 5, 98 unidades en el punto 1, la desviación estándar muestra que la separación entre los datos es en promedio 0, 36 para los 6 puntos de muestreo, la varianza muestra valores pequeños con respecto a la media, para la moda no se presentaron datos en ninguno de los puntos muestreados.

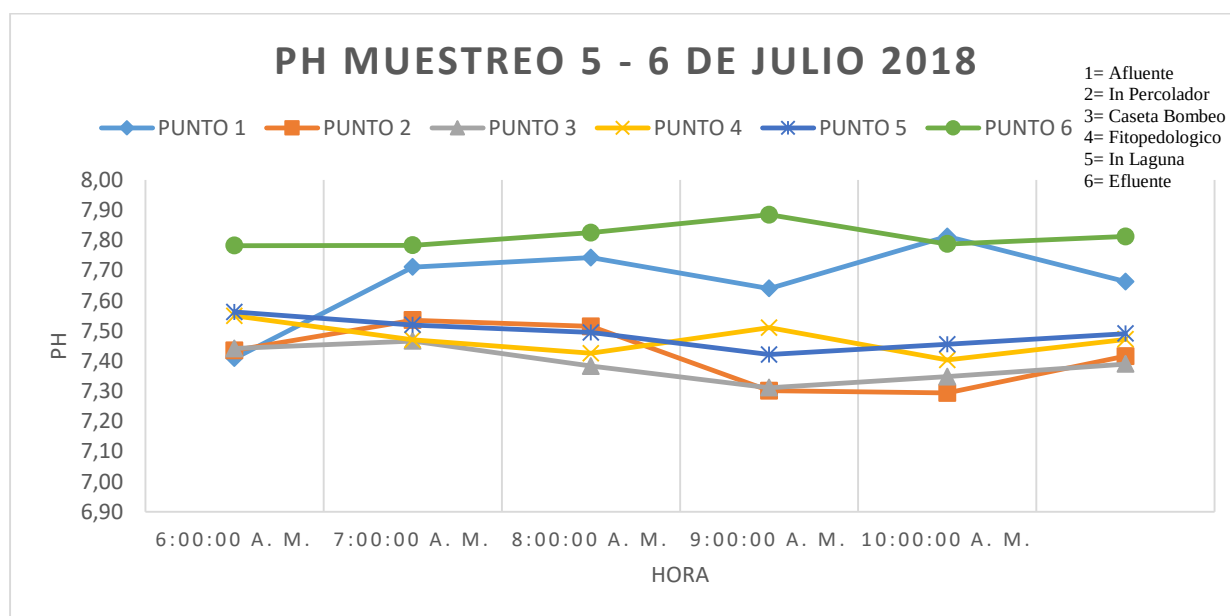


Figura 13. Variación del pH en la PTAR el 6 de julio 2018. Por Daniel, Escobar, 2018

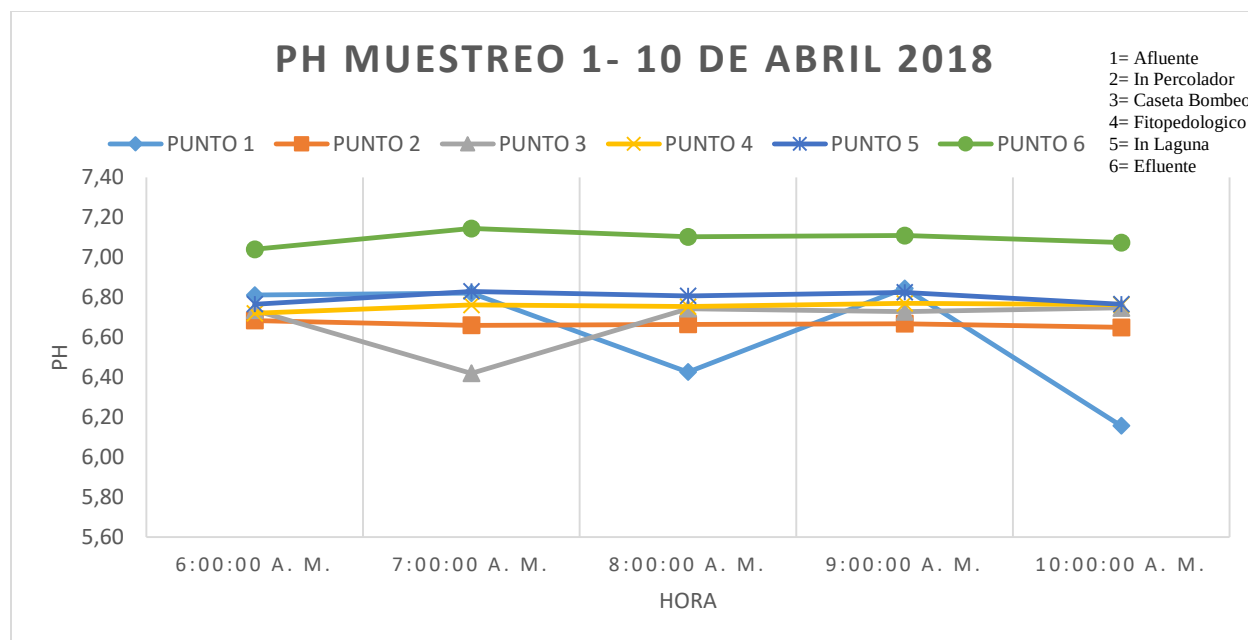


Figura 14. Variación del pH en la PTAR el 10 de abril 2018. Por Daniel, Escobar, 2018

De acuerdo con los datos obtenidos del pH para los muestreos realizados se observa una variación entre 6 y 7,9 unidades, lo que se mantienen dentro de los parámetros establecidos por la normatividad en un rango de 6 – 9 unidades. En la Figura 12 y 13 se puede observar el comportamiento punto por punto en el transcurso de la mañana. Para el punto 1 el pH varía debido a las cargas contaminantes provenientes las trampas de grasas producto de las cocinas, lavados, descargas de los sanitarios. Para los demás puntos se destaca un pH estable una vez comienza a pasar por las unidades de tratamiento, es notorio que los resultados arrojados del pH en el punto 6, donde se encuentra la laguna de oxidación, se elevan debido a las condiciones climáticas, como la intensidad del brillo solar y la temperatura que influye en las actividades naturales como la fotosíntesis donde se hace uso del dióxido de carbono, además del sistema de aireación que acelera la degradación y oxidación de la materia orgánica en la laguna producen incrementos de pH (Romero Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales, 2000).

10.2.1.3. Conductividad.**Tabla 15.** Resultados estadísticos

Puntos		Punto 1					Punto 2				
Componente estadístico	Hora	6am	7am	8am	9am	10am	6am	7am	8am	9am	10am
Mínimo		299	310	326	366	388	337	335	333	338	339
Máximo		450	503	573	628	626	488	488	488	607	486
Media		381.71	417.42	489.00	524.57	512.00	428.57	427.71	426.71	450.14	426.71
Moda		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Desviación estándar		51.49	73.98	98.29	110.36	94.26	48.46	48.57	48.94	83.19	45.82
Varianza		2651.90	5474.28	9661.33	12180.61	8885.66	2348.95	2359.90	2395.57	6921.14	2100.23

Puntos		Punto 3					Punto 4				
Componente estadístico	Hora	6am	7am	8am	9am	10am	6am	7am	8am	9am	10am
Mínimo		356	358	359	358	359	357	359	359	359	361
Máximo		447	451	454	458	461	448	450	452	458	460
Media		414.00	412.71	419.14	412.71	412.71	414.14	413.00	412.86	411.86	412.43
Moda		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Desviación estándar		35.06	33.08	37.71	34.71	34.64	34.854	33.516	34.426	34.701	34.573
Varianza		1229.66	1094.57	1422.14	1205.23	1199.90	1214.81	1123.33	1185.14	1204.14	1195.28

Puntos		Punto 5					Punto 6				
Componente estadístico	Hora	6am	7am	8am	9am	10am	6am	7am	8am	9am	10am
Mínimo		357	358	358	359	362	352	346	356	357	357
Máximo		450	449	452	457	461	489	495	471	461	461
Media		415.14	412.29	421.29	411.43	412.14	436.29	429.86	425.00	422.71	423.29
Moda		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Desviación estándar		35.90	34.05	34.15	34.11	34.30	50.38	51.90	41.53	37.69	38.84
Varianza		1289.14	1159.81	1166.23	1163.95	1176.81	2538.23	2694.14	1725.33	1420.90	1508.90

NOTA: Datos estadísticos dentro de la variable Conductividad. Por Daniel, Escobar, 2018

Para los datos registrados en los puntos de muestreo del parámetro conductividad se observa un máximo de 628 μ s/cm a las 9 a.m. en el punto 1 y un dato mínimo de 299 μ s/cm a las 6 a.m. en el punto 1, la desviación estándar con respecto a la media presenta poca variación y no

se presentaron valores modales, los datos presentan una varianza alta con un valor máximo de 12180 en la entrada del anaerobio 1a las 9:00 a.m.

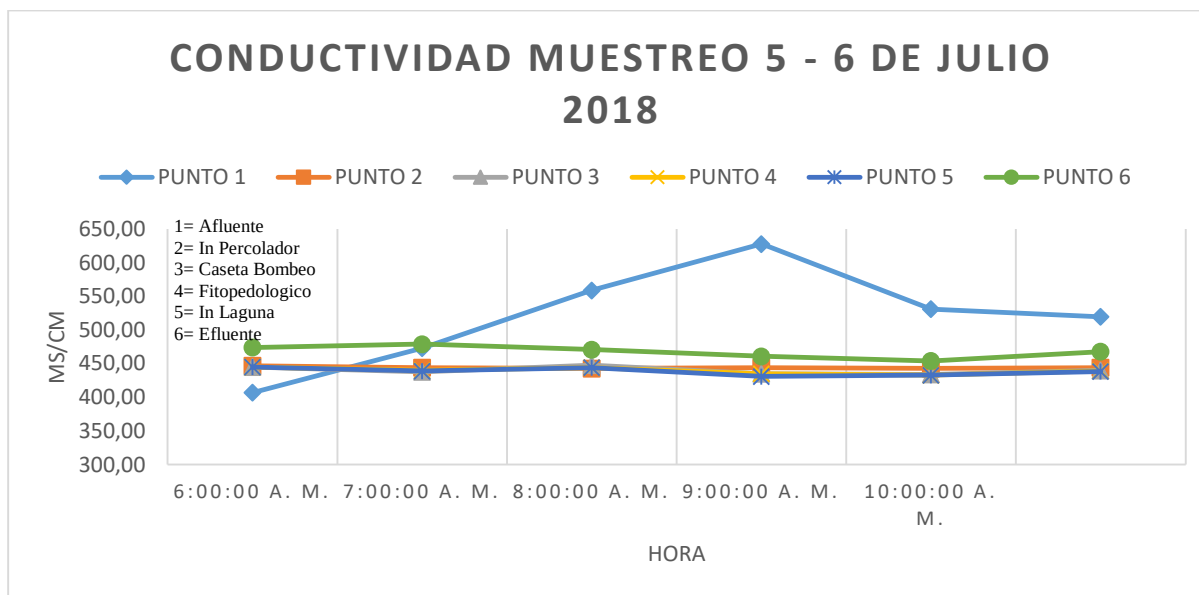


Figura 15. Variación de la conductividad en la PTAR el 6 de julio 2018. Por Daniel, Escobar, 2018

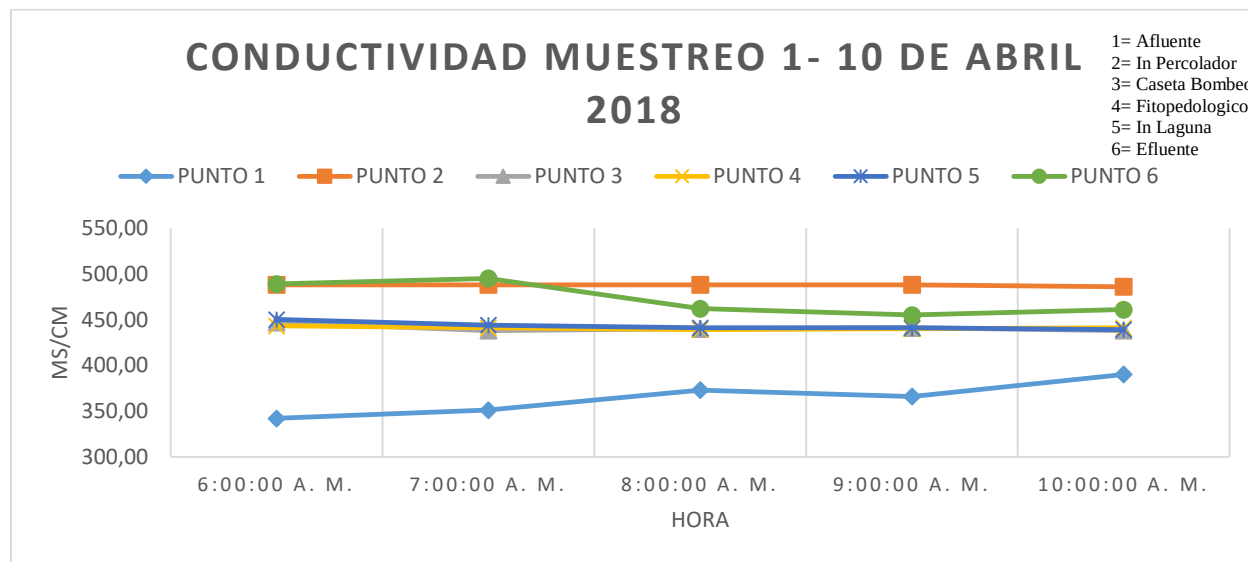


Figura 16. Variación de la conductividad en la PTAR el 10 de abril 2018. Por Daniel, Escobar, 2018

Según los datos registrados se observa que los valores se mantienen en un rango de 350 a 500 μ s/cm lo que no afecta en el proceso biológico de depuración, este valor tiende a incrementar al paso de las unidades de tratamiento por lo cual está estrechamente relacionado con la pureza del

agua, la concentración de sólidos y sales disueltas en el agua residual (Lopez del Pino & Martín, 2017). La Figura 14 muestra el pico más alto con un valor registrado en el muestreo 5 de 628 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el afluente del filtro anaerobio 1, es destacable que este día se registraron variaciones significativas en los parámetros de pH, SST y GyA.

En la tabla 17 se muestran los porcentajes de remoción de cada día muestreado para los parámetros DBO₅, DQO, GyA, y SST a partir de la realización de los muestreos compuestos en las horas picos de 6 a.m. a 10 a.m. una toma cada hora en el afluente y efluente de la PTAR.

10.2.2. Parámetros en Laboratorio

10.2.2.1. Determinación del porcentaje de remoción.

Tabla 16. Eficiencias de remoción de la PTAR.

10 de abril				
Parámetro	Unidad	Afluente	Efluente (6)	Eficiencia (%)
DBO ₅	mg/L O ₂	101.25	99.63	1.6
DQO	mg/L O ₂	148.33	152.04	-2.50
GyA	mg/L	9525	1975	79
SST	Mg/L	140	200	-42
10 de mayo				
Parámetro	Unidad	Afluente	Efluente	Eficiencia (%)
DBO ₅	mg/L O ₂	150.99	35.91	76.22
DQO	mg/L O ₂	499.19	-	0
GyA	mg/L	100	2250	-2150
SST	Mg/L	580	830	-43
27 de mayo				
Parámetro	Unidad	Afluente	Efluente	Eficiencia (%)
DBO ₅	mg/L O ₂	136.05	70.66	48.06
DQO	mg/L O ₂	416.15	72.66	82.54
GyA	mg/L	1775	450	74
SST	Mg/L	370	240	35

Tabla 17. Continuación

6 de julio				
Parámetro	Unidad	Afluyente	Efluente	Eficiencia (%)
DBO5	mg/L O ₂	132.12	107.83	18.39
DQO	mg/L O ₂	324.62	260.45	19.77
GyA	mg/L	6150	725	88
SST	Mg/L	1990	590	70
12 de julio				
Parámetro	Unidad	Afluyente	Efluente	Eficiencia (%)
DBO5	mg/L O ₂	167.60	57.98	65.41
DQO	mg/L O ₂	110.41	11.32	89.74
GyA	mg/L	600	2025	-237
SST	Mg/L	540	260	51
24 de agosto				
Parámetro	Unidad	Afluyente	Efluente	Eficiencia (%)
DBO5	mg/L O ₂	174.24	72.45	58.42
DQO	mg/L O ₂	289.70	161.36	44.30
GyA	mg/L	225	600	-166
SST	Mg/L	530	400	24

NOTA: Datos arrojados dentro de la remoción de la PTAR. Por Daniel, Escobar, 2018

Las remociones de DBO₅ de la PTAR se encuentran entre 1% - 76%, la DQO entre el 19% - 89% de remoción, se resalta que el 10 de mayo se registró como cero la DQO del efluente debido a los resultados obtenidos en laboratorio y se determinó que las concentraciones de la muestra a tratar se encontraban muy diluidas; para Grasas y Aceites entre 74% - 88% y los SST entre 24% - 70%; En los dos últimos parámetros se registraron casos en que las concentraciones del efluente superaban las del afluyente. Se contempla que las eficiencias de remoción no son las óptimas para los parámetros en estudio, se observan variaciones en los resultados debido a la carga hidráulica repentina que entra a la planta y su capacidad de operación.

Teniendo en cuenta la eficiencia de remoción de los parámetros por componente de la PTAR-nD (ver Anexo 6) se contempla una deficiencia en el filtro percolador, siendo nula en la mayoría de los días muestreados para DBO₅, DQO y baja para los SST. En las GyA se contempla una remoción en un rango de 50% a 90% en la mayoría de los días muestreados, esta unidad no

cuenta con los parámetros de diseño de un filtro percolador, teniendo como único fin una recirculación del agua residual y retención de sólidos,

En el filtro fitopedológico las eficiencias de remoción para DBO5 están entre 2% a 55%, y DQO de 11% a 95% esto se debe a la variedad de microorganismos (biopelícula) presente en el sistema para degradar la materia orgánica, para SST el porcentaje de remoción es de 0% - 29 % y en GyA la remoción es deficiente debido al tiempo de retención de esta unidad que es de 1 hora 40 min aproximadamente con capacidad volumétrica de 25,2 m³, lo cual es bajo.

Para la laguna de oxidación aireada el porcentaje de remoción es bajo en todos los parámetros analizados, en este punto se observan que poco más del 40%, de los resultados de los parámetros analizados se elevan, resultando ser mayor la carga contaminante en el efluente que la del afluente de la laguna, generalmente el efluente de las lagunas presentan concentraciones elevadas en la DBO y SST debido al crecimiento de la biomasa suspendida por las algas que crecen en estos sistemas (Manga, Molinares, & Arrieta, 2007).

Al observar la Tabla 17, se aprecia que en la mitad de los muestreos los valores de Grasas y Aceites (10 de mayo, 12 de julio y 24 de agosto) fueron mayores a la salida de la laguna durante estos días y que el Afluente presentaba niveles bajos de grasa. En estos casos se pudo deber a la presencia de algas, que en el caso del afluente con alta carga de grasas no era apreciable, y estas con su contenido de grasas pueden alterar. También se pudo deber a las descargas desconocidas dentro del sistema. Aunque esta afirmación no puede confirmarse visualmente, ya que en la laguna no se observa presencia de algas (Figura 16), no se puede descartar, ya que el sistema de aireación genera turbidez en el agua, la temperatura, la luz solar y el tiempo prolongado pueden provocar este tipo de microorganismos. Cabe resaltar que esta laguna no se ha desenlodado desde que comenzó su funcionamiento por lo que puede estar colmatada por la alta formación de espuma y natas, trayendo como consecuencia variaciones en los parámetros estudiados en el efluente de la laguna.



Figura 17. Laguna de Oxidación aireada, Tomada Por Daniel, Escobar, 2018

Esta unidad cuenta actualmente con nivel de lodos alrededor 0,2 m y una lámina de agua de 0,5 m con un tiempo de retención de 4,42 horas y una capacidad volumétrica de 106,4 m³. Para estos sistemas de aguas residuales industriales se recomiendan tiempos de retención de 10 a 40 días y una profundidad de 0,5 a 1,2 m para que el proceso de degradación de la materia orgánica sea más completo (Romero Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales, 2000).

A continuación, se presentan los datos registrados en los puntos muestreados de la planta de tratamiento (ver Anexo 7) comparándolos con los valores límites máximos permisibles establecidos en la resolución 0631 de 2015.

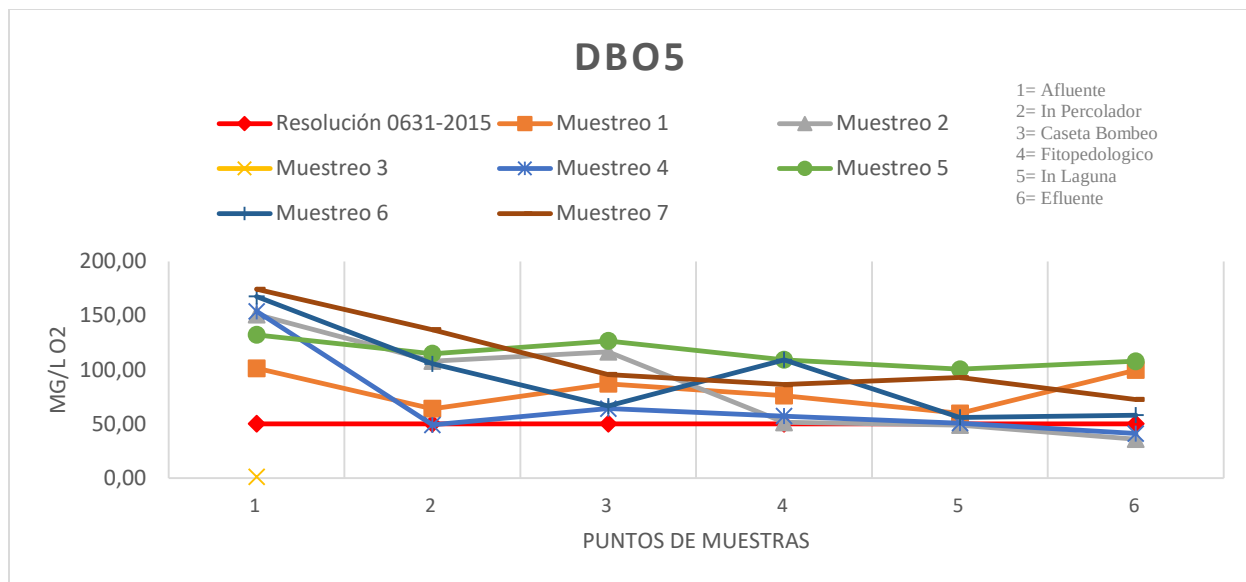


Figura 18. Variaciones de la DBO5 y cumplimiento Resolución 0631 de 2015. Por Daniel, Escobar, 2018

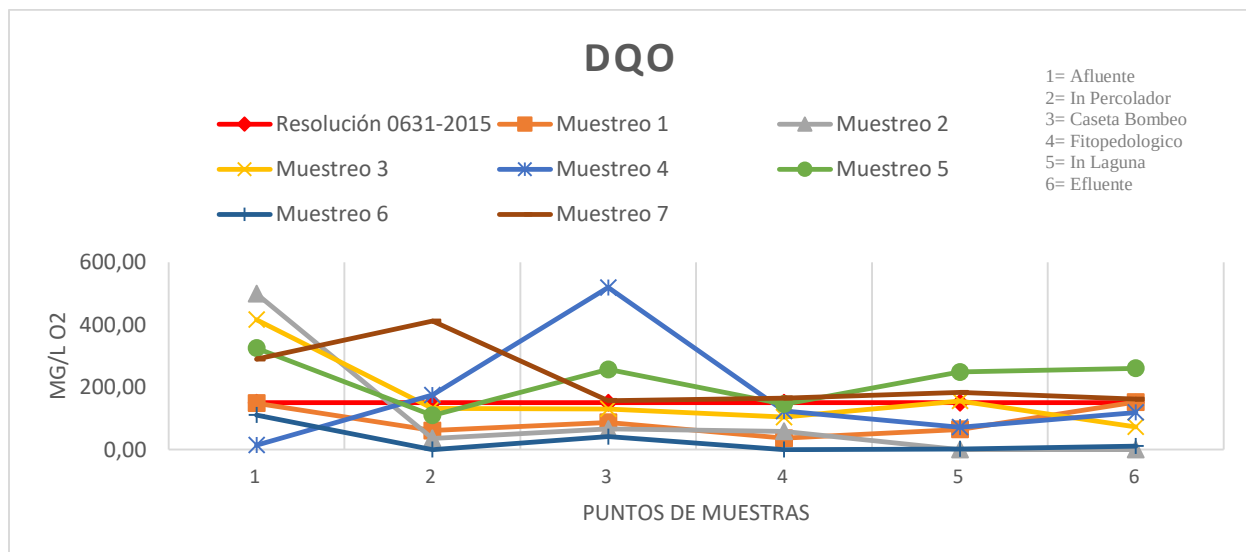


Figura 19. Variaciones de la DQO y cumplimiento Resolución 0631 de 2015. Por Daniel, Escobar, 2018

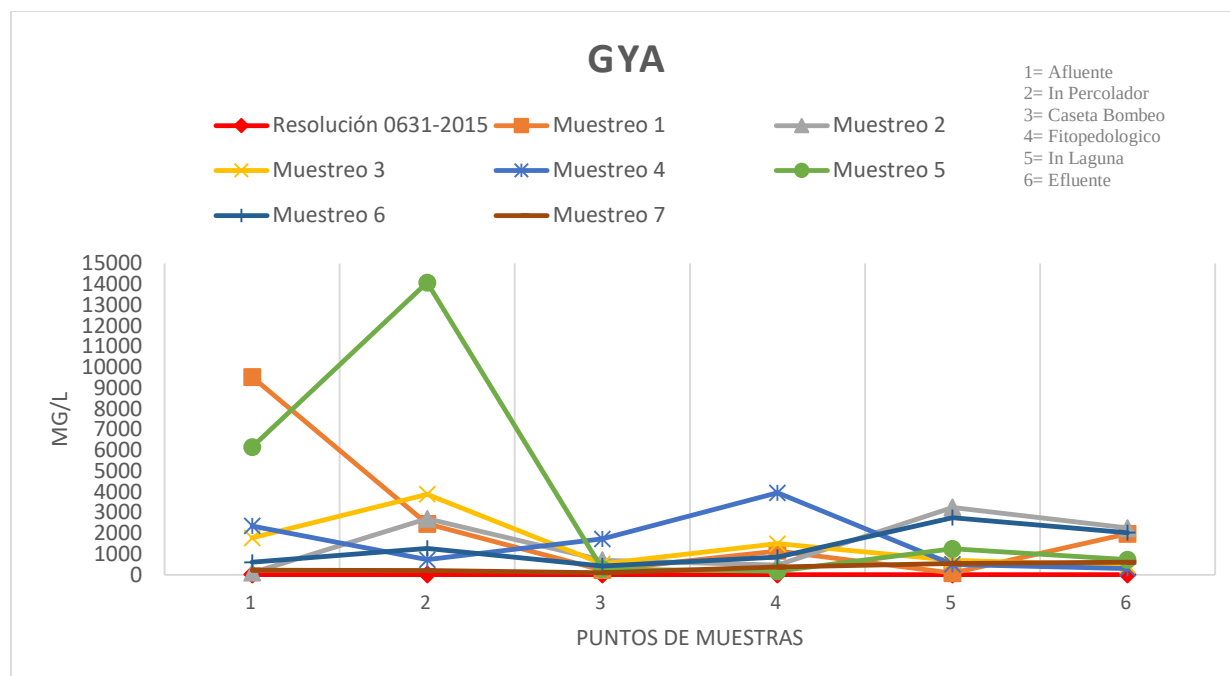


Figura 20. Variaciones de la GyA y cumplimiento Resolución 0631 de 2015. Por Daniel, Escobar, 2018

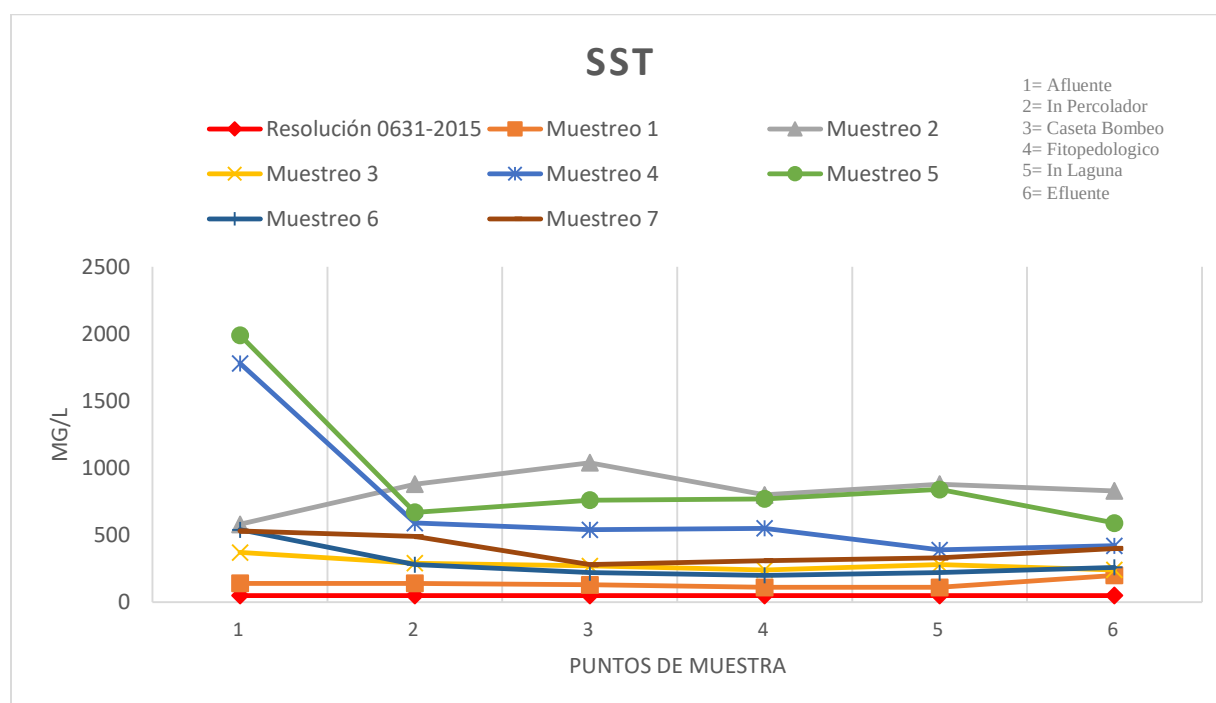


Figura 21. Variaciones de la SST y cumplimiento Resolución 0631 de 2015. Por Daniel, Escobar, 2018

En la Figura 16 a la 19 se observa el comportamiento de los parámetros en estudio de los 7 muestreos en la planta frente a los valores máximos permisibles. Se observa que los resultados no cumplen con la normatividad en su mayoría como lo son GyA y SST para la DBO5 y la DQO. Aunque algunos días muestreados logra entrar dentro los límites permisibles, los valores típicos en agua residuales para la DBO5 varía entre 200 y 400 mg/L (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010). Aunque los resultados están por debajo de estos valores típicos, se muestra una tendencia de reducción en la carga contaminante pero aun así no es suficiente para estar por debajo de la normatividad. Es claro que la cantidad de materia orgánica proveniente de los residuos alimenticios, son elevados y se ven reflejados en los resultados para SST y GyA en el afluente del sistema.

En los resultados de los SST se observan variaciones en el efluente en un rango de 200 a 800mg/L valores por encima de los permitidos, del mismo modo se presenta para GyA con concentraciones muy altas entre 300 y 2000 mg/L. Como se mencionó anteriormente, esto se puede deber a la creación de biomasa por las condiciones aeróbicas y de radiación solar en la laguna, que de acuerdo a los datos de GyA podrían tratarse de algas. Al ser descargada directamente al caño Aguas Claras sin un proceso de sedimentación, no se puede descartar esta posibilidad. Adicionalmente puede verse afectado este parámetro por la presencia de lodos en la laguna.

Las gráficas muestran fluctuaciones en los puntos 3, 4 y 6. Teniendo en cuenta esto se destaca que en el tanque colector (punto 3), donde está la bomba sumergible se presentan descargas repentinas de los sanitarios y canal de aguas lluvia del bloque D, esto se debe a que la red de tuberías de las aguas lluvia de este bloque atravesaban internamente el filtro percolador y eran conducidas fuera de la planta. Se encontró que uno de los baños estaba conectado a esta tubería por lo que se hicieron modificaciones cortando el tubo a la altura del filtro percolador. Esta modificación se realizó dentro de las fechas programadas de los muestreos, razón por la cual no se consideró al inicio del estudio. Esta modificación generó variaciones de carga contaminante en el sistema, también se ve reflejado el aumento de carga orgánica en el filtro fitopedológico, debido a que el agua vertida se mezcla con la del tanque colector, de donde es bombeada al filtro.

Adicionalmente, los diseños del filtro percolador de la PTAR no cumplen con los parámetros convencionales expuestos en la literatura. Estos tipos de filtros son usualmente

circulares con un lecho filtrante impermeable normalmente de piedra por donde fluye el agua y se adhieren los microorganismos, cada filtro tiene un sistema de drenaje inferior para recoger el agua residual tratada (Romero Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales, 2000). El proceso que ocurre en la PTAR-nD de la C.A.V. difiere de lo mencionado. En el caso de la C.A.V, en lo que es llamado filtro percolador, se observa una recirculación a través de 4 tanques rectangulares conectados con codos de 3 pulgadas en la parte superior y un lecho filtrante de 30 cm, razón por la cual no se consigue una eficiencia de remoción aceptable para ningún parámetro (DBO₅, DQO, SST y G&A) y se elevan en algunos casos las concentraciones contaminantes en esta unidad.

10.2.3. Análisis Estadístico de los parámetros más relevantes

Tabla 17. Correlación DBO₅ vs SST

Correlaciones			
		DBO5_muestreo1	SST
DBO5_muestreo1	Correlación de Pearson	1	.813*
	Sig. (bilateral)		.049
	N	6	6
SST	Correlación de Pearson	.813*	1
	Sig. (bilateral)	.049	
	N	6	6

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas). Por Daniel, Escobar, 2018

Para la DBO₅ y los SST se tiene un coeficiente de correlación de Pearson de 0.813 una relación positiva muy buena, ya que se acerca a 1 estas variables están ligadas y son directamente proporcional indicando el comportamiento entre los SST y la DBO₅ siendo dependientes, el valor de significancia es de 0.049 en el nivel de 0.05, esto indica que al aumentar los SST lo hará la DBO indicando que gran parte de estos SST corresponde a materia producida en la C.A.V. Esto es coherente con el hecho de que la DBO presente es insoluble.

Tabla 18. Correlación DQO vs SST

Correlaciones			
		DQO_muestreo1	SST_muestreo1
DQO_muestreo1	Correlación de Pearson	1	.769
	Sig. (bilateral)		.074
	N	6	6
SST_muestreo1	Correlación de Pearson	.769	1
	Sig. (bilateral)	.074	
	N	6	6

NOTA: Datos Estadísticos, Por Daniel, Escobar, 2018

Entre la DQO y SST se observa una correlación de 0,769 como moderadamente buena lo que quiere decir que posiblemente los cambios de la variable SST se verán reflejados del mismo modo en la DQO, el resultado del valor significativo se aproxima al nivel del 0, 05%, valor que puede ser modificado por el margen de error estimado en los procedimientos de laboratorio en la DQO. Esto confirma que gran parte de los SST está constituido por sustancias orgánicas, las cuales se encuentran caracterizadas por la DQO.

Tabla 19. Correlación SST vs G&A

Correlaciones			
		SST_muestreo1	GyA_muestreo1
SST_muestreo1	Correlación de Pearson	1	.030
	Sig. (bilateral)		.955
	N	6	6
GyA_muestreo1	Correlación de Pearson	.030	1
	Sig. (bilateral)	.955	
	N	6	6

NOTA: Datos Estadísticos, Por Daniel, Escobar, 2018

La correlación entre estas variables es de 0.030 indica una correlación positiva. Esto indica que hay una relación proporcional entre las grasas y aceites y los sólidos totales suspendidos. Por consiguiente, lo habrá con la DBO y la DQO, que se relacionó proporcionalmente con este parámetro. Como se observó en los resultados de las Grasas y Aceites, los valores presentados fueron altos, por lo que se atribuyen como un residuo relevante dentro de la C.A.V. Sin embargo, hay que considerar la interferencia de la biomasa que puede ser formada en la laguna aerobia por parte de las condiciones presentes, razón por la cual la relación, aunque positiva no es tan marcada (0.030) por la interfencia mencionada.

Esto influye en la operación de la planta, ya que este tipo de residuos se degradan más lentamente, requiriendo tiempos de degradación mayores, es decir tiempos de retención altos. La laguna de oxidación aireada presenta un TRH de 4,02 horas y concentración alta de SST, lo cual no es recomendado para este tipo de sistemas en las que se recomiendan TRH de varios días y SST bajos.

10. Propuestas de Mejora

De acuerdo con la información obtenida anteriormente del diagnóstico de cada una de las unidades de la PTAR-nD, la situación actual de la planta, el análisis de los parámetros medidos, se pudo identificar y determinar las alternativas de mejora.

- Modificar y separar la conexión de las aguas negras con las aguas lluvias en el sector de la bodega D y dirigir las primeras al filtro anaerobio 2.
- Revisar y suspender la red de tubería desconocida que generen descargas sobre los componentes de la planta que puedan entorpecer su funcionamiento. En el caso del filtro percolador se lograría reducir en un 40% - 60% aproximadamente las concentraciones de DBO proveniente de la bodega D, esta unidad trabaja con un porcentaje de remoción del 30%.
- Al no poder modificarse las dimensiones del tanque percolador ni su forma de operación, se recomienda la instalación inmediata de soportes para el crecimiento de biopelículas en el interior del mismo con el fin de fomentar la degradación de la materia orgánica presente con la ayuda de microorganismos. En este caso es recomendable utilizar un material de relleno de plástico para aguas residuales con cargas orgánicas altas de hasta 4,8 kg DBO₅/m³/d y una altura de 2 – 3 m, tal como se presenta en el afluente de la unidad del percolador con carga orgánica variable de 2,43 – 3,29 kg DBO₅/m³/d, condiciones favorables para la actividad bacteriana teniendo en cuenta el alto contenido de materia orgánica y nutrientes para su crecimiento, logrando un porcentaje de eliminación de DBO alrededor del 65% (Jacome, Suarez, & Ures, 2015).
- En el filtro fitopedológico instalar una capa vegetal o humus sobre el lecho filtrante de tierra para optimizar el proceso de remoción. Las plantas más recomendadas son aquellas que tienen rizomas y raíces densas y profundas apropiadas para alimentarse con desechos ricos en nutrientes (Quintero, 2015), una de estas plantas son de especies *Phragmites Australis* conocida como caña esta planta presenta una elevada transferencia de oxígeno a la zona de raíces. Estas plantas son capaces de remover hasta un 60% la DBO y DQO presente (Morales, Lopez, Vera, & Vidal, 2013).

- Recomendable reparar el automático de la bomba ubicada en el filtro percolador para evitar subir el nivel del agua en este tanque ya que se está prendiendo manualmente aproximadamente cada 1 hora.
- Para que una planta de tratamiento dure y permanezca activa en óptimas condiciones es necesario que se realice el mantenimiento preventivo en tiempo y forma, por lo que es de suma importancia saber programar y desarrollar los procedimientos acordes para su ejecución. Se recomienda que la limpieza de las unidades y tuberías sea diario o día por medio.
- Instalación del sistema de aforo para caudales a la entrada de la planta de tratamiento. Con el fin de tener mayor control en la medición del agua que ingresa al sistema. Se recomienda un aforo volumétrico el cual es un método sencillo y para caudales pequeños.
- Construcción e instalación de rejillas de limpieza manual para la extracción de basuras y reducir la tendencia a obstrucciones. Según el tamaño de los sólidos encontrados al inicio de la planta es conveniente usar este tipo de rejilla ya que son apropiadas para plantas pequeñas y sus barras suelen tener de 25 a 50 mm de paso y la inclinación de las barras suelen estar entre 30 y 45 grados respecto a la vertical para facilitar la limpieza. (Secretaría del medio ambiente y recursos naturales, s.f.)
- Para la laguna de oxigenación aireada recomiendan tiempos de retención de 10 a 40 días, con las características de las aguas residuales presentadas de 100mg DBO/L, con un %R 90% y un caudal máximo registrado de 533,9 m³/d se recomienda un tiempo de retención de 10 días a una profundidad de 0,7 m se obtiene un área superficial 7627 m² y un Volumen de configuración de 5339 m³ (Romero Rojas, Lagunas de estabilización de aguas residuales, 2005).
- Impermeabilización de la laguna de aireación, esto se hace mediante recubrimientos de telas plásticas, geomembrana, capas de arcilla o tierra compactada. Para evitar infiltración en el suelo y acuíferos se recomienda una capa de arcilla para reforzar el actual impermeabilizante que es de suelo-cemento (Manga, Molinares, & Arrieta, 2007).

Conclusiones

- El caudal medio registrado fue de 5 L/s y el máximo registrado fue de 6 L/s, por lo que excede el caudal de descarga permitido, esto se ve influenciado por el aporte de agua lluvia en la laguna de oxidación aireada.
- La remoción de DBO5 de la PTAR se encuentran entre 1% - 76%, la DQO entre el 19%-89% de remoción para grasas y aceites entre 74%-88% y los SST entre 24%-70%, en los dos últimos parámetros se registraron casos en que las concentraciones del efluente superaban las del afluente, estas variaciones en los resultados se deben a la carga hidráulica repentina (producto de las operaciones comerciales) que entra a la planta y su capacidad de operación. Si bien el agua de lluvia puede afectar la laguna de aireación, por sus pequeñas dimensiones y los resultados obtenidos, no es relevante.
- Según las características del filtro fitopedológico y partiendo de un caudal medio de entrada de 5 L/s se determinó un tiempo de retención de 1,4 horas y una capacidad volumétrica de 25,2 m³, lo que se ven reflejados en valores de remoción bajos especialmente para sólidos totales y GyA.
- A partir de los resultados obtenidos se puede apreciar concentraciones elevadas en la planta de SST y GyA con valores promedio de 800 mg/L y 3000 mg/L respectivamente, esto se debe a las actividades en la C.A.V, en la cual se producen apreciables cantidades de grasas de origen animal y vegetal en sus residuos líquidos. Sin embargo, en algunos días se observaron interferencias en estos parámetros, debido posiblemente a masa biológica de la laguna de aireación.
- La laguna de aireación está diseñada con un volumen total aproximado de 106400 L y un tiempo de retención de 5,9 horas. El nivel actual de lodos es de alrededor de 0,2m y una lámina de agua de 0,5 m, es decir un volumen de 72400 L con un tiempo de retención de 4 horas. La aireación se realiza con un sistema tipo cascada que permite la oxigenación. Aun así, los porcentajes de remoción son muy bajos, esto se debe principalmente al tiempo de retención el cual es insuficiente para promover completamente la oxidación biológica y tratar los contaminantes presentes en el agua.

- Los análisis de los parámetros fisicoquímicos no cumplen con la Resolución 0631 de 2015, basados en los valores promedios en la entrada de la laguna en la DBO5 el 60% de los datos excedieron los niveles máximos permisibles en alrededor de 15 mg/L, La DQO el 80% estuvieron dentro de la normatividad, el otro 20% se presentaron errores en los resultados de laboratorio debido a que las muestras esos días se encontraban muy diluidas, en las GyA el 100% de los datos no cumplieron con la normatividad se presentaron alteraciones en todo el sistema con valores de 65 – 3240 mg/L por encima del valor permitido, En los sólidos suspendidos totales el 60% de los datos obtenidos sobre pasan los valores limites excediéndose hasta 30 mg/L. Basados en los valores promedios a la salida de la laguna se observan para la DBO y DQO que el 70% y 60% de los datos respectivamente no cumplen con la normatividad, para GyA y SST el 100% de los datos obtenidos no cumplen la norma.

Recomendaciones

- Es imprescindible la limpieza periódica para las unidades de retención de lodos y trampas de grasas dentro de las instalaciones, a fin de evitar daños y obstrucciones en la planta ya que se presentan concentraciones elevadas en estos parámetros.
- Separar las aguas residuales y las aguas lluvia en el sistema de tratamiento a fin de evitar sobrecargas de caudales, afectar la capacidad y los tiempos de retención diseñados para cada unidad, en este caso el filtro percolador se encuentra sobrecargado lo que genera el arrastre de sólidos sedimentables saturando las unidades de tratamiento.
- Se recomienda construir un tanque de homogenización en la cabeza del proceso para la amortiguación de los picos de carga orgánica. Debido a las características de la C.A.V las descargas provenientes de las trampas de grasa varían de forma notable a lo largo del día. Con este tipo de tanque se podría controlar y estabilizar el flujo de entrada para que la planta trabaje en mejores condiciones.
- Se recomienda desenlazar la laguna de oxidación aireada ya que desde su puesta en marcha no se le ha realizado mantenimiento lo que trae como consecuencia alteraciones en los parámetros de DBO y SST en el efluente de la laguna.
- En una próxima investigación es necesario ampliar los puntos a muestrear para así tener datos más precisos en las unidades de tratamiento principalmente en el filtro percolador y la laguna teniendo en cuenta que son las unidades donde más se presentan variaciones en las concentraciones.
- En el caso de la laguna aireada es necesario realizar una sedimentación de las muestras para evitar la interferencia de la masa biológica producida en esta unidad de la planta. Una vez realizadas las mejoras en las unidades anteriores de la planta, sería necesario reevaluar la eficiencia en esta unidad, para determinar si sería necesario un sedimentador a la salida de la laguna.

Referencias bibliográficas

- Aguasresiduales.net. (20 de 02 de 2015). *Análisis, comparativas y relaciones entre la DBO, DQO, COT*. Obtenido de aguasresiduales.info:
<https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/analisis-comparativas-y-relaciones-entre-la-dbo-dqo-cot>
- Almuneda, M. (14 de Abril de 2014). *El tratamiento de aguas residuales en colombia*. Obtenido de twenergy.com/: <https://twenergy.com/co/a/el-tratamiento-de-aguas-residuales-en-colombia-1142>
- Asociación Épsilon Ecología. (2018). *Lagunaje*. Obtenido de epsilonecologia.org:
<http://epsilonecologia.org/Depuracion-de-Aguas/Lagunaje/>
- Avila de Navia, S., Gomez, A., Estupiñan, S., & Arcos, M. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *NOVA - Publicación científica*, p.6979. Obtenido de http://www.unicolmayor.edu.co/invest_nova/NOVA/ARTREVIS2_4.pdf
- Avila, M. L. (2016). “Eficiencia de pistia stratiotes (lechuga de agua) en remoción de contaminantes del agua residual doméstica, en una laguna de maduración de la ptar de EMAPACOP S.A. Del sector 09, distrito de manantay, provincia de coronel portillo, dpto de Ucayali - 2016. *Tesis de grado*. Pucallpa, Perú: Universidad Nacional de Ucayali. Obtenido de <https://edoc.site/perfil-tesis-pistia-impreso-pdf-free.html>
- Central de Abastos de Villavicencio (CAV). (2014). *Departamento de gestión ambiental: Acto Administrativo emitido por CORMACARENA*. Obtenido de cav.com.co:
http://cav.com.co/central_ambiente.php
- Compendio de Sistemas y tecnologías de saneamiento. (2002). *T2 - Filtro Anaeróbico*. Obtenido de alianzaporelagua.org/: <http://alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias/t/t2.html>
- Cyclus ID. (2018). *Tratamiento Primario*. Obtenido de cyclusid.com:
<http://www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales/tratamiento-aguas/tratamiento-primario/>
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba: Centro AGUA.

- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (17 de Octubre de 2017). Cuenta Ambiental y Económica de Flujo de Agua, en unidades físicas: 2010-2015 provisional. *Boletín técnico*. Bogotá: DANE. Obtenido de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/cuentas_ambientales/cuenta-del-agua/Boletin-tecnico-cuenta-ambiental-y-economica-del-agua-2015p.pdf
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (Junio de 2004). *¿Qué es el portal territorial de Colombia?* Obtenido de portalterritorial.gov.co: http://portalterritorial.gov.co/apc-aa-files/7515a587f637c2c66d45f01f9c4f315c/PLAN_NACIONAL_DE_MANEJO_DE_AGUAS_RESIDUALES_MUNICIPALES_EN_COLOMBIA.pdf
- Dussan, J. (27 de Junio de 2017). *Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, en Puerto López, es un gran avance para sanear el río Meta*. Obtenido de Gobernación del Meta: <http://www.meta.gov.co/web/blog/planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-en-puerto-l%C3%B3pez-es-un-gran-avance-para-sanear-el-r%C3%ADo>
- Espigares Garcia, & Pérez López. (s.f.). *Aguas residuales. Composición*. Obtenido de cidta.usal.es: http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf
- Fernandez-Alba, A. e. (2006). *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. Obtenido de [www.madrimasd.org](http://www.madrimasd.org/uploads/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT2_Tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf): http://www.madrimasd.org/uploads/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT2_Tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf
- Funeque, G. A. (2006). Diseño y simulacion de una planta automatizada de tratamiento de aguas para la industria farmaceutica. *Proyecto de grado de Ingeniería Mecatrónica*. Bogota, Colombia: Universidad San Buenaventura. Obtenido de <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/37484.pdf>
- GEDAR - Gestion de Aguas y Residuos. (s.f.). *Desbaste*. Obtenido de [gedar.com](http://www.gedar.com/residuales/desbaste.htm): <http://www.gedar.com/residuales/desbaste.htm>
- Hach Company. (2017). *¿Qué es la conductividad?* Obtenido de [latam.hach.com](https://latam.hach.com/cms-portals/hach_mx/cms/documents/Que-s-la-conductividad-Final.pdf): https://latam.hach.com/cms-portals/hach_mx/cms/documents/Que-s-la-conductividad-Final.pdf

- HC Ingenieros SAS. (mARZO de 2014). *Manual de operación, mantenimiento y control de la planta de. Tratamiento de aguas residuales de la universidad. Tecnológica de Pereira*. Obtenido de <http://bookdocument.com/ebook/manual-de-operacion-y-mantenimiento-de-plantas-de-tratamiento:> <https://www.utp.edu.co/cms-utp/data/bin/UTP/web/uploads/media/contratacion/documentos/1480454882-INSTRUCTIVODEOPERACIN.pdf.pdf>
- Hidalgo Santana, M., & Mejia Alvarez, E. (2010). Diagnóstico de la contaminación por aguas residuales domésticas, cuenca baja de la quebrada La Macana, San Antonio de Prado. Municipio de Medellín. *Tesis de Especialización en Gestión Ambiental*. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia. Obtenido de <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/handle/10495/1304>
- Hidalgo, M., & M. E. (2010). Diagnóstico de la contaminación por aguas residuales domésticas, cuenca baja de la quebrada la macana, san Antonio de Prado. Municipio de Medellín. *Monografía de Investigación Aplicada de Especialización en gestión Ambiental*. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia. Obtenido de <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/1304/1/DiagnosticoContaminacionAguasResidualesDomesticas.pdf>
- Ingeniería Ambiental Sustentable del Agua S.A. de C.V (IASA). (2008). *Plantas de tratamiento de aguas residuales industriales (PTAR-I)* . Obtenido de [iasaambiental.com:](http://www.iasaambiental.com:iasaambiental.com:) http://www.iasaambiental.com/files/2014_ptar_industriales.pdf
- IngenieriaQuimica. (06 de Abril de 2012). *Introducción al tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de [ingenieriaquimica.org:](http://www.ingenieriaquimica.org:ingenieriaquimica.org:) <http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/introduccion-tratamiento-aguas-residuales>
- Jacome, A., Suarez, J., & Ures, P. (2015). Lechos Bacterianos. *Serie: tratamientos secundarios*. La Coruña: Universidad Da Coruña. Obtenido de <https://www.wateractionplan.com/documents/177327/558161/Lecho+bacteriano.pdf/859d4f2e-b442-f84d-3756-9981e25ae7cd>
- Lesikar, B., & Enciso, J. (s.f.). *Sistemas individuales para el tratamiento de aguas negras*. Obtenido de Texas A&M Agrilife Extensión: <http://aglifesciences.tamu.edu/baen/wp-content/uploads/sites/24/2017/01/L-5345S.-Trickling-Filter-Spanish-Version.pdf>

- Lizarazo Becerra, J., & Orjuela Gutiérrez, M. (2013). *Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia*. Recuperado el 10 de 2017, de Universidad Nacional de Colombia: <http://www.bdigital.unal.edu.co/11112/1/marthaisabelorjuela2013.pdf>
- Lopez del Pino, S. J., & Martín, S. (2017). *UF1666 - Depuración de Aguas Residuales*. Elearning, S.L.
- Manga, J., Molinares, N., & Arrieta, J. (2007). *Tratamiento de Aguas Residuales Mediante Sistemas de Lagunaje*. Barranquilla: Ediciones Uninorte.
- Metcalf, & Eddy. (1995). *Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización*. Mexico D.F.: Mc Graw Hill. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/295690189/INGENIERIA-de-AGUAS-RESIDUALES-Tratamiento-Vertido-y-Reutilizacion-Metcalf-Tomo-I>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (Diciembre de 2012). *Diagnostico nacional de salud ambiental*. Obtenido de [minsalud.gov.co: https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/IGUB/Diagnostico%20de%20salud%20Ambiental%20compilado.pdf](https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/IGUB/Diagnostico%20de%20salud%20Ambiental%20compilado.pdf)
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial . (Junio de 2004). *Plan nacional de manejo de aguas residuales municipales en Colombia*. Obtenido de Versión final: http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/PLAN_NACIONAL_DE_MANEJO_DE_AGUAS_RESIDUALES_MUNICIPALES_EN_COLOMBIA.pdf
- Morales, G., Lopez, D., Vera, I., & Vidal, G. (2013). Humedales construidos con plantas ornamentales para el tratamiento de materia organica y nutirentes. *Revista Theoria*, 22(1), p.33-46. Obtenido de [http://www.ubiobio.cl/miweb/webfile/media/194/v/v22-1/vidal_theo22\(1\)-2013.pdf](http://www.ubiobio.cl/miweb/webfile/media/194/v/v22-1/vidal_theo22(1)-2013.pdf)
- Navarro, M. O. (04 de Junio de 2007). *Demanda bioquímica de oxígeno 5 días, Incubación y electrometría* . Obtenido de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM): <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Bioqu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/ca6e1594-4217-4aa3-9627-d60e5c077dfa>
- Ojeda, E., & Arias, R. (2000). Recursos Hídricos, Agua Potable y Saneamiento. *Informe nacional sobre la gestión del agua en Colombia*. Bogota: Comisión Económica para América Latina

- y el Caribe (CEPAL). Obtenido de <https://www.cepal.org/drni/proyectos/samtac/inco00200.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (s.f.). *Objetivos de desarrollo sostenible*. Obtenido de un.org: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Pimentel, H. R. (13 de 03 de 2017). *www.iagua.es*. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>
- Pramar. (s.f.). *Tamices para el tratamiento de aguas. Tamizado*. Obtenido de pramar.net: <http://www.pramar.net/es/web/tratamiento-de-aguas/tecnologia-equipos/tamices>
- Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP). (2017). *Hechos y Cifras. Gran parte de las aguas residuales industriales se vierten sin tratamiento en los cursos de agua abiertos, lo cual reduce la calidad de mayores volúmenes de agua*. UNESCO. Obtenido de <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact-36-industrial-wastewater/>
- Pulido, M. d., & Ávila de Navia, S. (12 de 12 de 2005). *unad.edu.co*. Obtenido de <http://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/6648/1/vol03n04art07.pdf>
- Quintero, I. F. (2015). Ejecución del sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas de la empresa Palma del Cesar. *Trabajo de grado de Ingeniería Civil*. San Martin, Cesar, Colombia: Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Obtenido de <http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/bitstream/123456789/582/1/26819.pdf>
- Resolución No.631. (17 de Marzo de 2015). *Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Obtenido de http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf
- Rodriguez, H. (13 de 03 de 2017). *Las aguas residuales y sus efectos contaminantes*. Obtenido de *iagua.es*: <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>

- Rojas, J. A. (2000). *Capítulo IV. Lagunas de estabilización*. Obtenido de Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Comunidades. : <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/19117/capitulo4.pdf>
- Rojas, J. A. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Bogota: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Romero Rojas, J. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Bogota: Escuela Colombiana de ingeniería.
- Romero Rojas, J. (2005). *Lagunas de estabilización de aguas residuales*. Bogota: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Ruiz, D. C. (2017). Método de Estimación de Sólidos Suspendidos Totales como Indicador de la Calidad del Agua Mediante Imágenes Satelitales. *Tesis de investigación en Maestría en Geomática*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de Método de Estimación de Sólidos Suspendidos Totales como Indicador de la Calidad del Agua Mediante Imágenes Satelitales: <http://bdigital.unal.edu.co/57367/1/2949594699.2017.pdf>
- Sainz Sastre, J. A. (2005). *Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales*. Madrid: Fundación EOI .
- Secretaría del medio ambiente y recursos naturales. (s.f.). Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Pretratamiento y Tratamiento Primario. *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. México D.F., México: Comisión Nacional del Agua. Obtenido de <http://www.mapasconagua.net/libros/SGAPDS-1-15-Libro26.pdf>
- Soluciones medioambientales y aguas, S.A. (12 de Enero de 2016). *Qué es el proceso de lodos activados*. Obtenido de smasa.net: <http://www.smasa.net/proceso-lodos-activados/>
- Syner Tech S.A.S . (2018). *Tratamiento de Aguas Residuales Industriales*. Obtenido de nyfdecolombia.com: <https://www.nyfdecolombia.com/plantas/tratamiento-de-aguas-residuales-industriales>
- Universidad de Piura. (s.f.). *Naturaleza del agua residual doméstica y su tratamiento* . Obtenido de biblioteca.udep.edu.pe: http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_135_183_88_1242.pdf
- Universidad EIA. (2003). *Suministro y disposiciones de aguas*. Obtenido de fluidos.eia.edu.co: <http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/desarenadores/desarenadores.html>
- Universidad Jorge Tadeo Lozano. (30 de Septiembre de 2013). *Tratamiento de aguas residuales industriales y sus avances científicos*. Obtenido de Ingeniería Química:

<http://www.utadeo.edu.co/es/noticia/opinion/ingenieria-quimica/82/tratamiento-de-aguas-residuales-industriales-y-sus-avances>

Universidad Veracruzana. (s.f.). *Bioingeniería: Lagunas de estabilización*. Obtenido de Facultad de Ciencias Químicas: <https://sites.google.com/site/bioingenieriauv15/unidad-1-sistemas-de-depuracion-de-agua/1-2-lagunas-de-estabilizacion>

Vitutor.net. (2005). *Fórmulas de Estadística*. Obtenido de vitutor.net: <https://www.vitutor.net/1/estadistica.html>

Anexos

Anexo 1. Formato de preguntas para la ejecución de la entrevista a la comunidad de la invasión Aguas Claras.

Fecha de entrevista

Nombre del barrio

Nombre del entrevistado

Área en la que trabaja

Nivel de estudios

Carrera

1. ¿Es usted oriundo de la ciudad de Villavicencio?
2. ¿Cuánto tiempo lleva usted viviendo en la invasión Aguas Claras?
3. ¿Conoce los impactos negativos y positivos que sufrió la comunidad al instalarse la PTAR-nD de la C.A.V.?
4. ¿ha afectado a la comunidad la operación de la planta?
5. ¿Conoce si la comunidad utiliza el agua del Caño Aguas Claras para realizar alguna clase de tarea doméstica o laboral?
6. ¿Conoce de algún caso de emergencia de salud pública causado por la contaminación del afluente, desde que la planta suspendió la mayor parte de su proceso de tratabilidad?
7. ¿Conoce de derechos de petición, tutelas, o documentos legales que la comunidad haya presentado por inconformidades con la instalación, operación, o inactividad de la planta?
8. ¿Conoce cuál es el estado actual de la PTAR-nD de la C.A.V.?

Anexo 2. Formato de preguntas para la ejecución de las entrevistas a los operarios.**Fecha de entrevista**

Nombre de la empresa

Nombre del entrevistado

Área en la que trabaja

Nivel de estudios

Carrera

1. ¿Cuánto tiempo lleva usted laborando en la empresa?
2. ¿En el periodo laboral que lleva en la empresa, ha observado que alguna unidad de tratabilidad haya presentado fallas mecánicas, o disminución de su eficiencia? ¿Cuáles unidades? ¿Qué tipo de fallas?
3. ¿según el conocimiento que tiene de la planta, conoce desde que año empezó a presentar fallas?
4. ¿las lluvias han afectado en algún momento el proceso normal de tratabilidad de las aguas residuales no domesticas?
5. ¿Cree usted que el sistema de tratabilidad que compone la PTAR-nD es suficiente para tratar de manera eficaz las aguas residuales domesticas municipales?
6. ¿Tiene algún dato importante que aporte información sobre el proceso de tratabilidad?

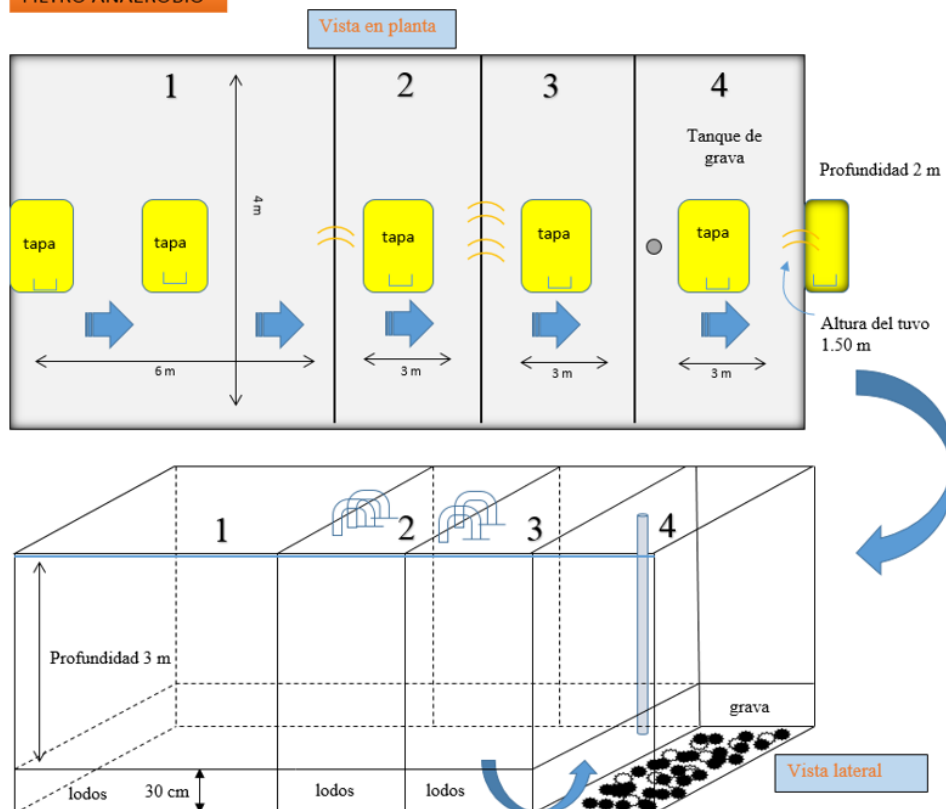
Anexo 3. Puntos de muestreos seleccionados en la PTAR

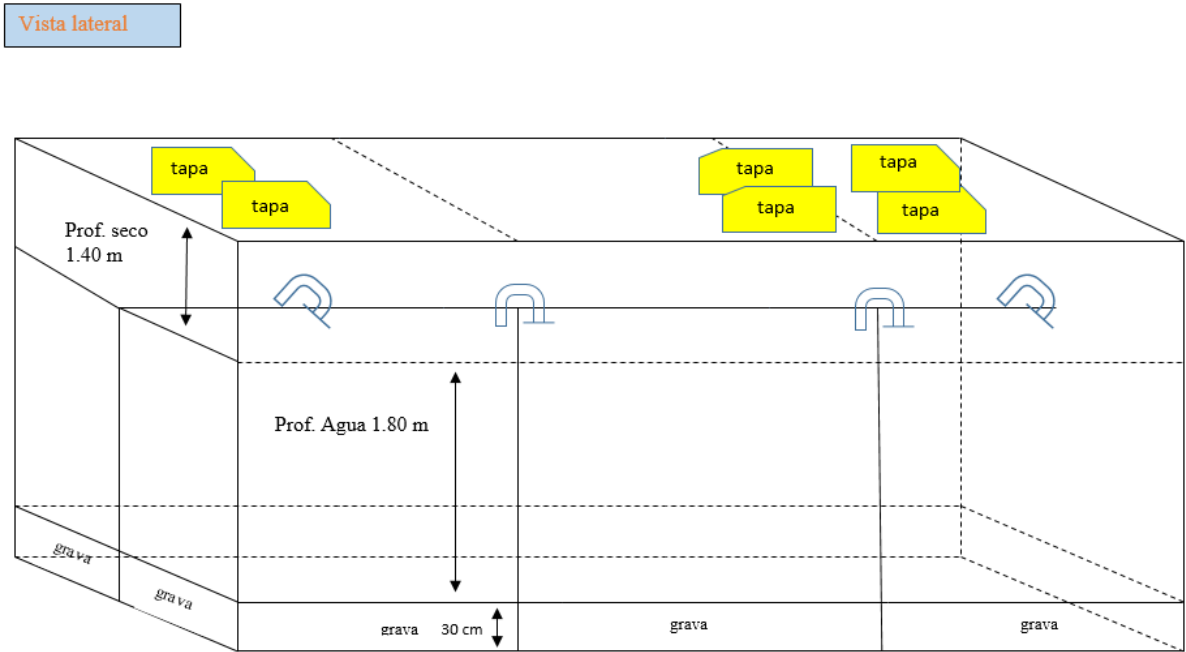
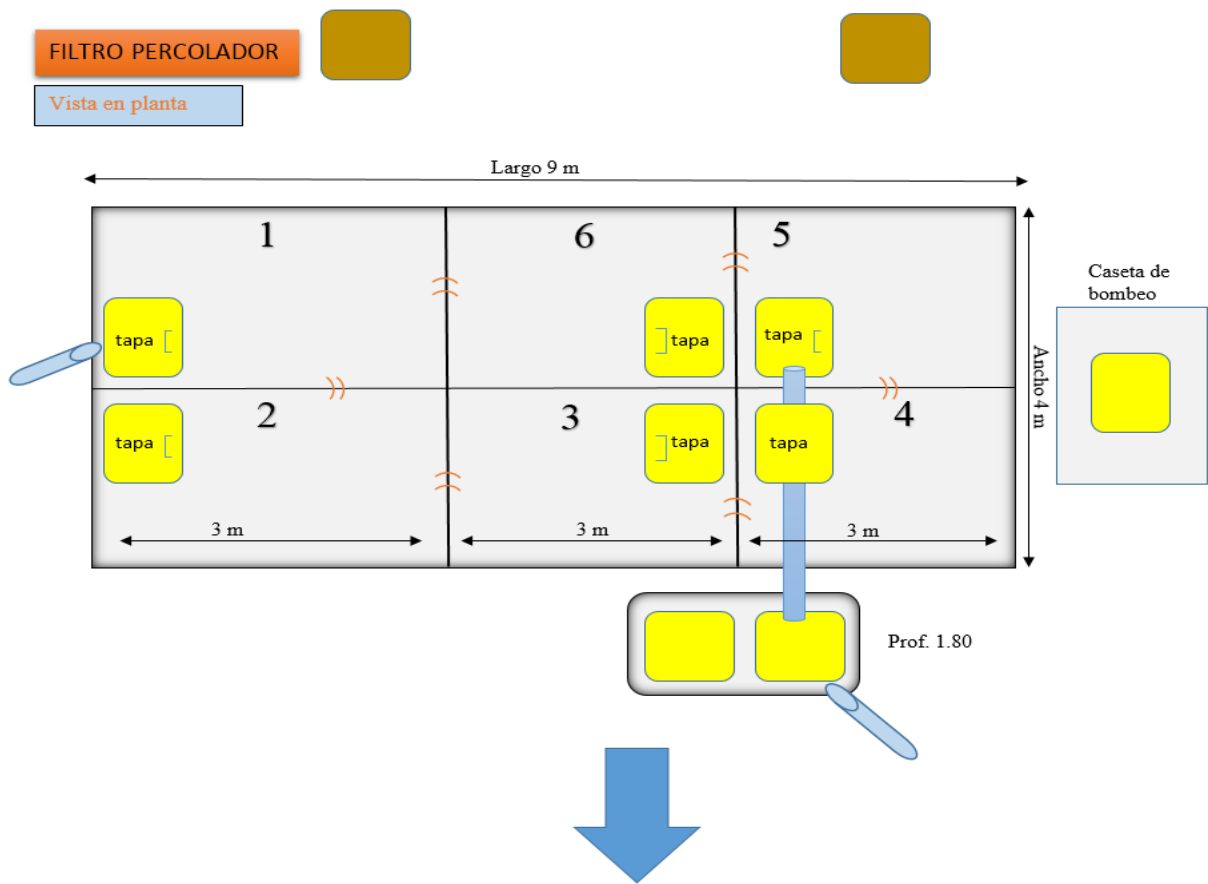
ITEM	REGISTRO FOTOGRAFICO	OBSERVACION
1		La central de abastos esta dividida en 4 bloques clasificadas como: A, B, C y D la red de tubería de aguas residuales de los primeros tres bloques conectan a un filtro anaerobio, primer proceso de tratamiento, donde se toma la primer muestra
2		seguido del filtro anaerobio pasa al filtro percolador, la segunda muestra se toma en la entrada de este proceso (caja señalada)
3		al terminar el recorrido del filtro el efluente llega a un tanque donde esta ubicada la caceta (tercera muestra), esta cuenta con una instalación que bombea hacia el filtro fitopedológico.
4		El agua bombeada para directamente al filtro percolador, la caja de inspección donde se toma la cuarta muestra se encuentra ubicada antes de pasar por el filtro fitopedológico.

5		tras pasar por el filtro fitopedologico el agua tratada es conducida a la laguna de oxidación donde se toma la quinta muestra
6		finalmente el efluente de la laguna es vertido al caño de aguas claras.

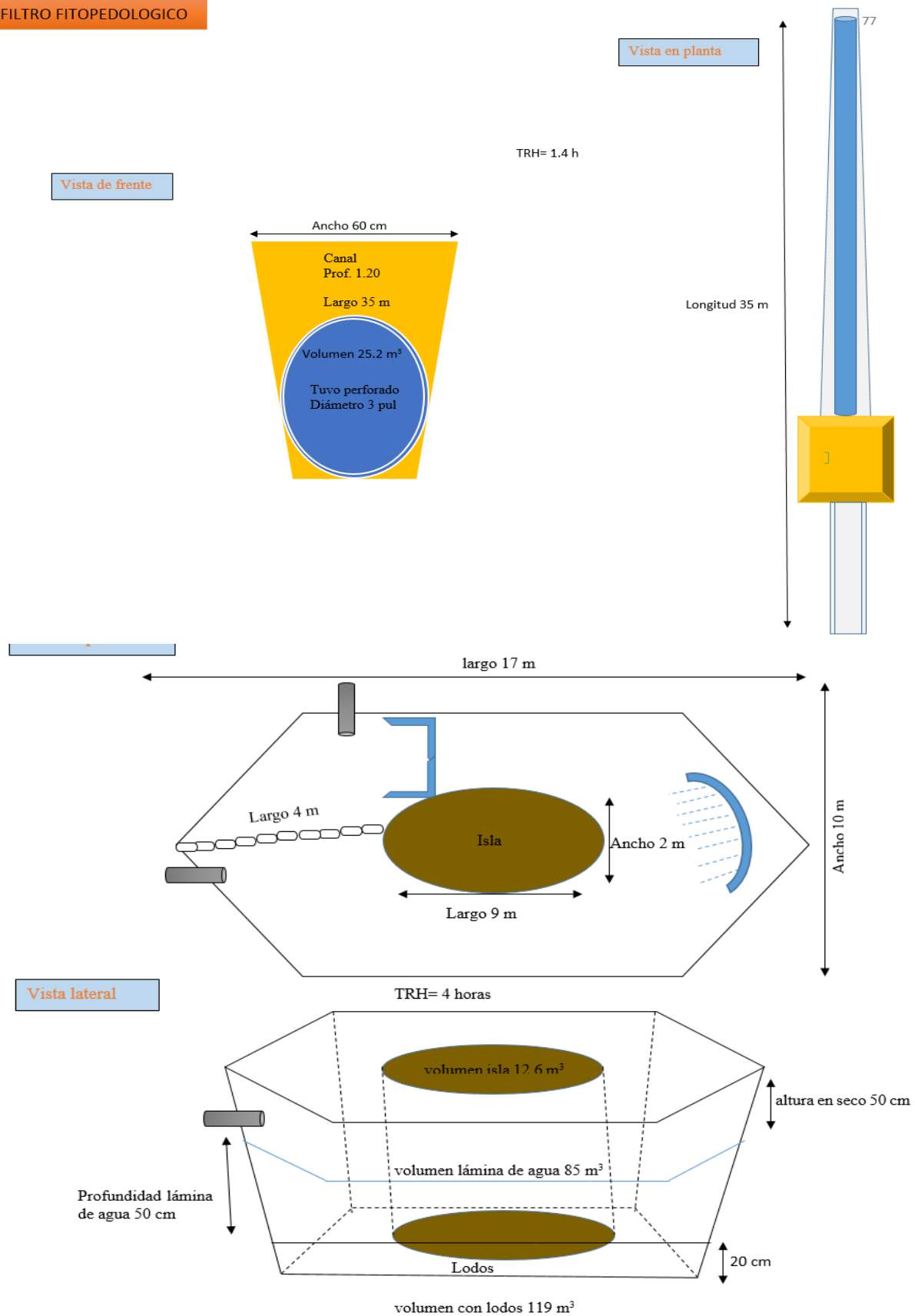
Anexo 4. Diagrama con las dimensiones de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales no domesticas de la Central de Abastos de Villavicencio

FILTRO ANAEROBIO





FILTRO FITOPEDOLOGICO



Anexo 5. Formulas aplicadas para la realización de algunos análisis.**FORMULAS**

- Calculo de volumen:

$$V = L * A * P$$

- Calculo del tiempo de retención:

$$TRH = \frac{V}{Q}$$

- = %EFR =

$$\frac{\text{Concentración del contaminante Afluente}(\frac{mg}{L}) - \text{Concentración del Contaminante Efluente}(\frac{mg}{L})}{\text{Concentración del contaminante del Afluente}} * 100$$

- Filtro fitopedologico=

$$volumen = 35 * 0.6 * 1.20 = 25.2 * 1000 = 25.200 L$$

$$TRH = \frac{25.200 L}{5 L/s} = 5.040s \div 3600s = 1.4 hrs$$

- Laguna de oxidación aireada=

$$volumen lodos = 17 * 10 * 0.7 = 119 * 1000 = 119000L$$

$$volumen isla = 12.5 m^3 * 1000 = 12600L$$

$$volumen total = 119000L - 12600L = 106400L$$

$$TRH Total = \frac{106400L}{5L/s} = 21280s \div 3600s = 5.9hrs$$

- Configuración de la laguna de oxidación aireada

$$\text{Caudal} = 533.9 m^3/d$$

$$\text{Profundidad} = 0.7 m$$

$$\text{Factor de oxigenación para una remoción DBO de 80\%} = 1.6$$

$$DBO^5 = 100 mg/L, \text{ concentración máxima en el afluente de la laguna}$$

$$DBOU = \frac{100}{1 - 10^{-0.1 * 5}} = 146 mg/L$$

- Se calcula el tiempo de retención a una profundidad de la laguna de 0.7 m, suponiendo una radiación solar de 209 cal/ cm²d teniendo una temperatura promedio de 20°C al mes más crítico.

$$TR = \frac{0.7 * 146}{0.028 * 1.6 * 209} = 10 d$$

$$\text{Área superficial} = \frac{533.9 * 10}{0.7} = 7627 m^2$$

Anexo 6. % Eficiencias de remoción

10 - Abril 2018					
Parametro	Unidad	Componente			
		Anaerobio 1	Filtro percolador	F. Fitopedologico	Laguna Aireación
DBO5	mg/L O2	36,91	-36,29	12,61	-67,16
DQO	mg/L O2	58,92	-42,55	57,99	-135,23
GyA	mg/L	74,28	90,82	-411,11	-2533,33
SST	mg/L	0,00	7,14	15,38	-81,82
10 - Mayo 2018					
Parametro	Unidad	Componente			
		Anaerobio 1	Filtro percolador	F. Fitopedologico	Laguna Aireación
DBO5	mg/L O2	28,47	-7,89	55,92	26,51
DQO	mg/L O2	92,82	-84,21	11,43	0,00
GyA	mg/L	-2600,00	74,07	32,14	30,77
SST	mg/L	-51,72	-18,18	23,08	5,68
27 - Mayo 2018					
Parametro	Unidad	Componente			
		Anaerobio 1	Filtro percolador	F. Fitopedologico	Laguna Aireación
DBO5	mg/L O2	64,02	-108,39	42,38	-42,52
DQO	mg/L O2	68,25	1,43	20,29	53,33
GyA	mg/L	-118,31	86,45	-185,71	35,71
SST	mg/L	21,62	6,90	11,11	14,29
27 - Junio 2018					
Parametro	Unidad	Componente			
		Anaerobio 1	Filtro percolador	F. Fitopedologico	Laguna Aireación
DBO5	mg/L O2	68,20	-31,02	10,86	19,05
DQO	mg/L O2	-1133,33	-197,30	76,18	-65,79
GyA	mg/L	69,15	-137,93	-128,99	40,00
SST	mg/L	66,85	8,47	27,78	-7,69
6 - Julio 2018					
Parametro	Unidad	Componente			
		Anaerobio 1	Filtro percolador	F. Fitopedologico	Laguna Aireación
DBO5	mg/L O2	13,12	-10,30	13,78	-7,38
DQO	mg/L O2	66,28	-134,48	43,38	-4,94
GyA	mg/L	-128,86	98,05	8,00	42,00
SST	mg/L	66,33	-13,43	29,76	29,76

12 - Julio 2018					
Parametro	Unidad	Componente			
		Anaerobio 1	Filtro percolador	F. Fitopedologico	Laguna Aireación
DBO5	mg/L O2	37,05	37,00	15,86	-3,67
DQO	mg/L O2	100,00	0,00	95,45	-500,00
GyA	mg/L	-112,50	66,67	-547,06	26,36
SST	mg/L	48,15	21,43	0,00	26,36
24 - Agosto 2018					
Parametro	Unidad	Componente			
		Anaerobio 1	Filtro percolador	F. Fitopedologico	Laguna Aireación
DBO5	mg/L O2	21,40	30,27	2,81	21,94
DQO	mg/L O2	-42,02	61,93	-5,42	11,86
GyA	mg/L	11,11	50,00	-450,00	-9,09
SST	mg/L	7,55	42,86	-17,86	-21,21

Anexo 7. Resultados de laboratorio de los parámetros DBO, DQO, SST, GyA.

Muestreo 1	punto	DBO5	DQO	GyA(mg/L)	SST(mg/L)
	1	101.25	148.33	1100	140
	2	63.87	60.93	1800	140
	3	87.05	86.85	225	130
	4	76.07	36.49	1150	110
	5	59.60	64.63	150	110
	6	120.02	152.04	600	200
Muestreo 2	punto	DBO5	DQO	GyA(mg/L)	SST(mg/L)
	1	150.99	499.19	100	580
	2	108.00	35.86	2700	880
	3	116.52	66.06	1575	1040
	4	51.37	58.51	475	475
	5	48.87	0.00	2450	880
	6	35.91	0.00	2250	830
Muestreo 3	punto	DBO5	DQO	GyA(mg/L)	SST(mg/L)
	1	136.05	416.15	1775	370
	2	48.95	132.11	3875	290
	3	102.02	130.22	525	270
	4	58.78	103.80	1500	240
	5	49.58	155.70	700	280
	6	70.66	72.66	450	240
Muestreo 4	punto	DBO5	DQO	GyA(mg/L)	SST(mg/L)
	1	153.97	14.15	2350	1780
	2	48.95	174.58	725	590
	3	64.14	519.01	1725	540
	4	57.17	123.62	3950	550
	5	50.65	71.72	500	390
	6	41.00	118.90	300	420
Muestreo 5	punto	DBO5	DQO	GyA(mg/L)	SST(mg/L)
	1	132.12	324.62	6150	1990
	2	114.79	109.46	14075	670
	3	126.61	256.67	275	760
	4	109.17	145.32	175	770
	5	100.41	248.18	1250	840
	6	107.83	260.45	725	590
Muestreo 6	punto	DBO5	DQO	GyA(mg/L)	SST(mg/L)
	1	167.60	110.41	600	540
	2	105.50	0.00	1275	280
	3	66.46	41.52	425	220
	4	88.98	0.00	850	200
	5	55.92	1.89	2750	220
	6	57.98	11.32	2025	260
Muestreo 7	punto	DBO5	DQO	GyA(mg/L)	SST(mg/L)
	1	174.24	289.70	225	530
	2	136.95	411.43	200	490
	3	95.50	156.65	100	280
	4	86.30	165.14	375	310
	5	92.82	183.07	550	330
	6	72.45	161.36	600	400

		DBO Inicial (mg/L)				
		Metodo triplicado (10ml)				
MUESTREO	PUNTO	A	B	C	promedio	BLANCO
						1
						2
						3
	1	7.52	7.47	7.08	7.36	
	2	7.64	7.59	7.15	7.46	
	3	7.17	7.2	7.08	7.15	
	4	7.19	7.2	7.11	7.17	
	5	7.17	7.16	7.07	7.13	
	6	7.05	7.04	7.2	7.10	

DBO5							
Metodo triplicado (10ml)				RESULTADOS			
A	B	C	BLANCO	A	B	C	promedio
			1	7.5			
			2	7.44			
			3	7.51			
5.13	4.23	1.38		64.052	86.83	152.85	101.25
5.83	5.16	4.24		48.508	65.12	77.99	63.87
3.7	4.47	3.54		92.996	73.16	94.99	87.05
4.35	4.55	4.09		76.112	71.02	81.09	76.07
4.97	5.24	4.515		58.96	51.46	68.38	59.60
2.59	1.04	4.225		119.528	160.80	79.73	120.02

Método triplicado con 0.01 L de muestra en un frasco ámbar de 0.268 L.

$$DBO_5 = \frac{\text{Concentración Inical } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) - \text{Concentración final } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)}{\text{Volumen de la muestra (L)}} * \text{Volumen Frasco}$$

DQO		
		100-200
[nm]	[A]	DQOY1
500	-0.603	148.33
500	-0.485	60.93
500	-0.52	86.85
500	-0.452	36.49
500	-0.49	64.63
500	-0.608	152.04

Absorbancia:

$$Y = -740.7x - 298.31$$

GRASAS Y ACEITES (20ml) (gr)					
ERLERMEYER 1		promedio (mg/L)	ERLERMEYER 2		promedio (mg/L)
VACIO	LLENO		VACIO	LLENO	
150.22	150.58	17950.00	125.65	125.67	1100
136.36	136.40	1800.00	121.54	121.60	3100
114.07	114.07	200.00	117.56	117.57	250
125.33	125.35	1150.00	150.54	150.56	1150
121.53	121.53	150.00	136.38	136.38	0
120.66	120.72	3350.00	114.03	114.04	600

Método alternativo Grasas y Aceites (Rose – Gottlieb).

Volumen usado de muestra = 0.02 L

$$GyA = \frac{(\text{Peso final} - \text{Peso inicial})}{\text{Volumen usado (L)}} = \frac{mg}{L}$$

SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (50ml) (gr)					
A		promedio (mg/L)	B		promedio (mg/L)
VACIO	LLENO		VACIO	LLENO	
93.00	93.01	160	92.78	92.79	120
91.83	91.84	140	89.08	89.09	140
84.88	84.89	140	87.46	87.47	120
91.92	91.93	100	82.34	82.35	120
91.84	91.85	120	86.81	86.81	100
88.97	88.98	180	89.72	89.73	220

Volumen de la muestra = 0.05 L

$$SST = \frac{\text{Muestra Final} - \text{Muestra Inicial}}{\text{Volumen de la muestra (L)}} = \left(\frac{mg}{L} \right)$$