RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	**Patricia Morales Arteaga**
FACULTAD	**Facultad de Ciencias Agrarias y del ambiente**
PLAN DE ESTUDIOS	**Ingeniería Ambiental**
DIRECTOR	**Pablo Alberto Herrera**
TÍTULO DE LA TESIS	**Evaluación De La Eficiencia En Las Operaciones Unitarias Realizadas En La Planta De Tratamiento De Aguas Residuales (PTAR) Vía Puerto Mosquito Del Municipio De Aguachica-Cesar.**
TITULO EN INGLES	**Evaluation of Efficiency in Unit Operations at the Waste water Treatment Plant (PTAR) road Puerto Mosquito Of The Municipality Of Aguachica-Cesar.**

RESUMEN
(70 palabras)

En este proyecto se evalúo la eficiencia de las operaciones unitarias de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Aguachica obteniendo como resultado una eficiencia menor 60% para el parámetro de DQO y un aumento en la concentración de Oxígeno disuelto durante el tratamiento. Finalmente, se proponen indicadores de eficiencia y alternativas para mejorar la eficiencia en el proceso de tratamiento de las aguas residuales del municipio.

RESUMEN EN INGLES

This project evaluated the efficiency of the unitary operations of the wastewater treatment plant of the municipality of Aguachica, obtaining as a result an efficiency of less than 60% for the DQO parameter and an increase in the concentration of dissolved oxygen during treatment. Finally, efficiency indicators and alternatives to improve the efficiency of the municipality's waste water treatment process are proposed.

PALABRAS CLAVES	Eficiencia, Tratamiento de Aguas Residuales, Demanda Química De Oxigeno, Carga Contaminante, Remoción, Oxígeno Disuelto.
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Efficiency, Waste water Treatment, Chemical Oxygen Demand, Pollutant Load, Removal, dissolved oxygen.

CARACTERÍSTICAS

PÁGINAS: 101	PLANOS: 0	ILUSTRACIONES: 0	CD-ROM:

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA EN LAS OPERACIONES UNITARIAS REALIZADAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) VÍA PUERTO MOSQUITO DEL MUNICIPIO DE AGUACHICA-CESAR.

PATRICIA MORALES ARTEAGA

Director

PABLO ALBERTO HERRERA

Ingeniero ambiental

Trabajo de grado en modalidad pasantía, presentado como requisito para optar al título de ingeniera ambiental

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Aguachica, Colombia **Agosto 2021**

Dedicatoria

A Dios, por ser el guía de mi camino y permitirme cumplir mis sueños.

A mis padres María Arteaga y Jaime Morales, que con su esfuerzo y amor me ayudaron a lograr esta meta tan importante en mi vida, a mi hermano, sobrinos y demás familiares por el apoyo y sus consejos durante este proceso.

A los docentes y amigos que me han aportado grandes experiencias y aprendizaje durante esta etapa de mi vida.

Agradecimientos

Primero, agradecer a DIOS por darme la oportunidad de culminar mi carrera profesional con éxito.

Agradecer a la universidad francisco de paula Santander seccional Ocaña por admitirme para terminar mi pregrado. A los docentes de la alma mater y demás profesionales de la institución, por sus conocimientos, apoyo, dedicación, esfuerzo y paciencia durante este proceso.

A mi director de proyecto y jefe el ingeniero Pablo Alberto Herrera, quien, con sus conocimientos, experiencia y dedicación, fue de gran apoyo y guía durante las prácticas profesionales y pasantía, aportando nuevas experiencias y conocimientos a mi vida en la etapa laboral.

A la Empresa De Servicios Públicos de Aguachica- ESPA, por brindarme las instalaciones de esta gran entidad y el apoyo de todo su equipo de trabajo, para lograr realizar plenamente mis pasantías y poder obtener mi título de ingeniera ambiental.

Contenido

Resumen ix

Introducción xv

Capítulo 1. Evaluación De La Eficiencia En Las Operaciones Unitarias Realizadas En La Planta De Tratamiento De Aguas Residuales (PTAR) Vía Puerto Mosquito Del Municipio De Aguachica-Cesar. 1

1.1. Descripción de la empresa 1

1.1.1. Misión 2

1.1.2. Visión 2

1.1.3. Objetivos de la Empresa. 2

1.1.4. Estructura Organizacional. 4

1.1.5. Descripción De La Dependencia Asignada 5

1.2. Diagnóstico inicial de la dependencia asignada 7

1.2.1 Planteamiento del problema 9

1.3. Objetivos de la pasantía 10

1.3.1. General 10

1.3.2 Específicos 10

1.4. Descripción de las actividades a desarrollar en la pasantía. 11

Capítulo 2. Enfoques Referenciales 13

2.1. Enfoque conceptual 13

2.1.1. Afluente: 13

2.1.2. Aguas residuales: 13

2.1.3. Aguas residuales domésticas: 13

2.1.4. Aguas residuales municipales: 14

2.1.5. Análisis 14

2.1.6. Conductividad 14

2.1.7. Demanda Química de Oxígeno (DQO): 14
2.1.8. Desarenador: 14
2.1.9. Eficiencia de tratamiento: 14
2.1.10. Efluente 15
2.1.11. Filtro percolador 15
2.1.12. indicador 15
2.1.13. Lechos de secado 15
2.1.14. Muestra puntual 15
2.1.15. Parámetro 16
2.1.16. PTAR: 16
2.1.17. Pretratamiento: 16
2.1.18. Rosetón: 16
2.1.19. Solidos Disueltos totales (TDS) 16
2.1.20. Solidos Suspendidos Totales: 17
2.1.21. Tratamiento primario: 17
2.1.22. Tratamiento secundario: 17
2.2. Enfoque legal 17
2.2.1 Ley 23 de 1973. 18
2.2.2. Decreto ley 2811 del 18 de Diciembre de 1974. 18
2.2.3. Ley 9 de 1979. 19
2.2.4. Decreto 1594 De 1984. 19
2.2.5. Constitución política de Colombia de 1991. 19
2.2.6. Ley 99 de 1993. 20
2.2.7. Ley 142 de 1994. 20
2.2.8. Resolución 1096 del 2000 - RAS 2000. 20

2.2.9. Decreto 3930 De 2010. 21

2.2.10. Decreto 2667 del 2012. 21

2.2.11. Resolución 1207 de 2014. 21

2.2.12. Resolución 0631 del 2015. 21

2.2.13. Decreto 1076 del 2015. 22

2.2.14. Resolución 0330 del 2017. 22

Capítulo 3. Informe De Cumplimiento De Trabajo 23

3.1. Analizar los porcentajes de remoción de DQO y comportamiento del oxígeno disuelto en las operaciones unitarias de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) vía puerto mosquito del municipio de Aguachica-Cesar. 23

3.1.1. Toma de muestras de agua residual en los procesos unitarios de la PTAR. 27

3.1.2. Análisis de parámetros de DQO y Oxígeno Disuelto (O.D) en el laboratorio de la PTAR. 31

3.1.3. Calculo de la remoción de DQO y análisis del comportamiento del O.D en las unidades de operación de la PTAR. 44

3.2. Establecer indicadores de eficiencia en las operaciones unitarias realizas en la PTAR vía puerto mosquito del municipio de Aguachica- Cesar. 57

3.2.1. Revisión de la información obtenida en los análisis de DQO y comportamiento de O.D en las operaciones unitarias. 57

3.2.2. Definir indicadores de eficiencia en las operaciones unitarias de la PTAR. 57

3.3. Proponer alternativas para mejorar la eficiencia en las operaciones unitarias de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) vía puerto mosquito del municipio de Aguachica-Cesar. 59

3.3.1. Revisión y análisis de los datos obtenidos en los cálculos de remoción de DQO y comportamiento de O.D 59

3.3.2. Plantear alternativas para mejorar la eficiencia en las operaciones unitarias de la PTAR. 60

Capítulo 4. Diagnóstico final 70

Capítulo 5. Conclusiones 72

Capítulo 6. Recomendaciones 74

Referencias 75

Apéndices 79

Lista de tablas

Tabla 1 Diagnóstico de la dependencia asignada..... 7

Tabla 2 Actividades a desarrollar en la pasantía..... 11

Tabla 3 Puntos de muestreo en el proceso de tratamiento de la PTAR vía Puerto Mosquito..... 27

Tabla 4 Tipo de material y volumen de los recipientes utilizados en cada punto de muestreo.... 30

Tabla 5 Rangos de los viales (dicromato de potasio) para medición de DQO..... 32

Tabla 6 Resultados del análisis fisicoquímico realizados el 19 de abril del 2021 en la PTAR y su comparación con la resolución 0631 del 2015..... 36

Tabla 7 Resultados del análisis fisicoquímico realizados el 5 de mayo del 2021 en la PTAR y su comparación con la resolución 0631 del 2015..... 36

Tabla 8 Resultados del análisis fisicoquímico realizados el 24 de mayo del 2021 en la PTAR y su comparación con la resolución 0631 del 2015.. 37

Tabla 9 Resultados del análisis fisicoquímico realizados el 9 de junio del 2021 en la PTAR y su comparación con la resolución 0631 del 2015..... 38

Tabla 10 Resultados del análisis fisicoquímico realizados el 12 de julio del 2021 en la PTAR y su comparación con la resolución 0631 del 2015. 38

Tabla 11Resultados de carga contaminante en los puntos de muestreos realizado el 19 de abril del 2021..... 45

Tabla 12 Resultados de carga contaminante en los puntos de muestreos realizado el 5 de mayo del 2021..... 46

Tabla 13 Resultados de carga contaminante en los puntos de muestreos realizado el 24 de mayo del 2021..... 47

Tabla 14 Resultados de carga contaminante en los puntos de muestreos realizado el 9 de Junio del 2021..... 48

Tabla 15 Resultados de carga contaminante de los puntos de muestreos realizado el 9 de Julio del 2021..... 49

Tabla 16 Resultados obtenidos en los cálculos de eficiencia en la PTAR vía puerto mosquito Aguachica. 50

Tabla 17 Comparación de la eficiencia del tratamiento por unidad con la Resolución 0330 del 2017..... 53

*Tabla 18. Indicadores de eficiencia en las operaciones unitarias de la PTAR……..….*58

Tabla 19 Dosificación de productos químicos tecnobio y micronutrientes..... 68

Lista de figuras

Figura 1. Organigrama de la E.S.P. De Aguachica. Fuente. Control interno E.S.P. *5*

Figura 2. Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Aguachica. Fuente. Autor del proyecto. *24*

Figura 3. Esquema de los procesos de la planta de tratamiento de aguas residuales vía Puerto Mosquito del municipio de Aguachica, cesar. Fuente. Autor del proyecto *26*

Figura 4. Puntos de muestreo en la planta de tratamiento de aguas residuales. Fuente. Autor del proyecto. *28*

Figura 5. Toma de muestra puntual en el afluente de la PTAR vía puerto mosquito. Fuente. Autor del proyecto. *29*

Figura 6. Viales de Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$), rango medio. Fuente. Autor del proyecto. *32*

Figura 7. Determinación de DQO con el Equipo Termoreactor (izquierda) y el Multiparametro (derecha). Fuente. Autor del proyecto. *34*

Figura 8. Grafica de temperaturas registradas en los cinco monitoreos en cada punto de muestreo. Fuente. Autor del proyecto. *40*

Figura 9. Gráfica de los valores de conductividad registrados en los monitores en cada punto de muestreo. Fuente. Autor del proyecto. *41*

Figura 10. Parámetros en aguas residuales municipales. Fuente: Lopez Vazquez , Buitrón , García Delgado, & Cervantes , (2018). *42*

Figura 11. Gráfica de los valores de DQO registrados en los monitores en cada punto de muestreo. Fuente. Autor del proyecto. *43*

Figura 12.Eficiencia por tratamiento (preliminar, primario, secundario) en la PTAR. Fuente. Autor del proyecto..... 51

Figura 13.Mediciones de oxígeno disuelto en el afluente y efluente realizados por el Laboratorio Nancy flores en diciembre del año 2020.Fuente. Autor del proyecto..... 55

Figura 14. Mediciones de oxígeno disuelto en el afluente y efluente realizados por el laboratorio SEGIMA en el mes de julio del año 2021. Fuente. Autor del proyecto..... 55

Figura 15. Rejilla de cribado (izquierda), tamiz deteriorado (derecha). Fuente. Autor del proyecto..... 60

Figura 16. Obstrucción de bomba de 10 hp por residuos durante el dragado de lodos del tanque de sedimentación 1. Fuente: autor del proyecto..... 61

Figura 17. Diseño de rejilla nueva. Fuente.Aautor del proyecto..... 62

Figura 18. Operario realizando el retiro de filtros que se encontraban flotando en el tanque de sedimentación primario (izquierda), filtros sujetos con cuerdas aceradas (derecha). Fuente: Autor del proyecto..... 64

Figura 19.Esquema de fijación de los filtros de alta tasa. Fuente: Autor del proyecto..... 64

Figura 20. Sistema antiflotación de filtro de alta tasa. Fuente: TecnoConverting Engineering, (s.f.). 65

Figura 21. Acumulación de material en la parte superior del tanque (izquierda), lama en la parte inferior del tanque (derecha). Fuente: Autor del proyecto. 67

Figura 22. Tablero del laboratorio de la PTAR con las actividades programadas por semana. Fuente. Autor del proyecto. 79

Figura 23. Registro de caudales diarios y mensuales, con los promedios diarios, mensuales, caudales máximos y mínimos. Fuente. Autor del proyecto..... 80

Figura 24. Carpeta donde se archiva los formatos físicos de dragado, caudales, operación de motores de agitación y aireación y órdenes de retiro. Fuente. Autor del proyecto. 81

Figura 25. Registro de resultados obtenidos en los análisis físico químicos con sus respectivas gráficas. Fuente. Autor del proyecto. 82

Figura 26. Acompañamiento en actividades realizadas por la ESPA en conmemoración del día del medio ambiente y actividades como siembra de árboles. Fuente. Autor de la pasantía. 83

Figura 27. Acompañamiento al personal de la empresa Segima en la toma de muestra apara análisis fisicoquímico y microbiológico de la planta de tratamiento de aguas residuales vía puerto mosquito. Fuente. Autor del proyecto. 84

Figura 28. Operarios iniciando labores de limpieza y mantenimiento del filtro biológico como alternativa para mejorar la eficiencia del proceso. Fuente. Autor del proyecto. 85

Figura 29. Preparación de muestras para análisis de DQO en compañía de la ingeniera Sindy Suarez y medición de Oxígeno Disuelto en situ en la PTAR vía puerto mosquito. Fuente. Autor del proyecto..... 86

Resumen

Este proyecto tiene como finalidad evaluar la eficiencia en las operaciones unitarias de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) vía puerto mosquito de la Empresa de Servicios Públicos de Aguachica E.S.P. con el propósito de dar cumplimiento se definieron metas a corto plazo como analizar los porcentajes de remoción del parámetro demanda química de oxigeno (DQO) y oxígeno disuelto (O.D) considerando la importancia como indicadores de calidad del agua y la disponibilidad de equipos; definir indicadores de eficiencia en los procesos unitarios y finalmente proponer alternativas para mejorar la eficiencia en las operaciones unitarias de la PTAR.

Para cumplir con los objetivos propuesto se llevaron a cabo cinco monitores de calidad del agua residual, tomando muestras en diferentes procesos del tratamiento y analizándolas en el laboratorio, con los resultados obtenidos se realizaron cálculos de eficiencia por proceso y tratamiento (preliminar, primario y secundario). Con base en los resultados se definieron indicadores de eficiencia y se plantearon alternativas para mejorar la eficiencia del tratamiento.

Finalmente se logra cumplir los objetivos y se tiene como resultado que el proceso de cribado requiere una nueva rejilla que permita la retención de mayor cantidad de residuos, el sedimentador primario, se debe realizar un sistema antiflotación que está perjudicando el sistema y filtro biológico tiene un muy bajo rendimiento por lo que es necesario dragar el tanque y realizar nueva inoculación de bacterias, de esta forma se puede lograr cumplir con el porcentaje de remoción que exige la norma, obteniendo beneficios como la reducción de costos de tasa retributiva y disminución del impacto ambiental en la fuente hídrica receptora, el caño el cristo.

Introducción

Uno de los problemas ambientales más frecuentes e intenso que se presentan actualmente en el mundo, es la contaminación del recurso hídrico por vertimiento de aguas residuales. Estos vertimientos pueden ser de tipo industrial, municipal o agropecuario y generan un gran impacto ambiental en el ecosistema y por lo tanto a la población aledaña a este recurso.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales es una de las alternativas más común y eficiente para reducir los niveles de contaminación generada por vertimientos de aguas contaminadas en fuentes hídricas receptoras y permitir la conservación de este vital recurso.

La empresa de servicios de públicos de Aguachica, Cesar como entidad prestadora del servicio de acueducto y alcantarillado, tiene la obligación y el compromiso de proteger los recursos naturales en el desarrollo de sus actividades. Con este fin, la empresa realiza el tratamiento de aproximadamente el 55% de las aguas residuales municipales en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) vía puerto mosquito y un 40% el sistema de lagunas de oxidación ubicadas en el barrio Jerusalén del municipio.

Considerando la importancia del buen funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio para conservar las fuentes hídricas y el bienestar de la comunidad, se plantea este proyecto que tienen como finalidad evaluar la eficiencia en las operaciones unitarias de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) vía puerto mosquito; lo anterior, en razón de que no solo es importante que la empresa tenga la

infraestructura para el tratamiento de las aguas residuales sino que los procesos funcione correctamente.

Por lo que se hace necesario realizar la evaluación y seguimiento de los procesos para determinar qué tan eficiente son y si es necesario buscar alternativas que permitan la mejora continua del tratamiento. Para lograr este objetivo se realizo toma de muestras y análisis de dos parámetros importantes como son oxígeno disuelto y demanda química de oxigeno DQO, luego se determinó indicadores de eficiencia con la información obtenida y finalmente se proponen alternativas para mejorar la eficiencia en el proceso del tratamiento en la PTAR y cumplir con lo exigido por la normatividad ambiental en busca de la conservación del medio ambiente.

Capítulo 1. Evaluación De La Eficiencia En Las Operaciones Unitarias Realizadas En La Planta De Tratamiento De Aguas Residuales (PTAR) Vía Puerto Mosquito Del Municipio De Aguachica-Cesar.

1.1.Descripción de la empresa

Reseña histórica

La prestación del servicio de Acueducto en el municipio de Aguachica, Cesar data desde mediados del Siglo XX, a través del INSFOPAL donde se efectuaba la prestación del servicio de manera insipiente. Luego el servicio de acueducto pasó a manos del departamento del Cesar mediante la empresa EMPOCESAR, centralizándose el servicio. Sin embargo, al disolverse la empresa departamental el servicio pasó a manos del municipio y se crea en el año de 1990 la EMPRESA DE OBRAS SANITARIAS DE AGUACHICA "EMPOAGUACHICA" como establecimiento público descentralizado del orden municipal.

Con la promulgación de la ley 142 de 1994, la empresa EMPOAGUACHICA paso de establecimiento público a empresa industrial y comercial del estado de orden municipal mediante el Acuerdo No. 0006 de 1998, creándose La Empresa De Servicios Públicos De Aguachica E.S.P, razón social con la que se conoce actualmente.

La Empresa de Servicios Públicos de Aguachica E.S.P., es una entidad adscrita a la Administración Municipal que presta servicios públicos de Acueducto y Alcantarillado a la

población de la zona urbana del Municipio de Aguachica. La empresa cuenta en su estadística con aproximadamente 25 mil subscritores de acueducto y 24 mil de alcantarillado. Actualmente se adelantan las obras de optimización del acueducto y alcantarillado para mejorar la continuidad del servicio y lograr un 100% de cobertura. (Empresa de servicios públicos de Aguachica E.S.P.A, 2021)

1.1.1. Misión

Somos una empresa prestadora de los servicios públicos domiciliarios de Acueducto y Alcantarillado, con procesos de calidad en el área urbana del municipio de Aguachica, buscando la satisfacción de nuestros clientes. (Empresa de servicios públicos de Aguachica E.S.P.A, 2021)

1.1.2. Visión

Trabajamos para ser reconocidos en el departamento del Cesar como líderes en la prestación de los servicios públicos domiciliarios de Acueducto y Alcantarillado, con una cultura organizacional fundamentada en valores con un crecimiento tecnológico, socioeconómico y ambiental, hacia un desarrollo sostenible. (Empresa de servicios públicos de Aguachica E.S.P.A, 2021)

1.1.3. Objetivos de la Empresa.

Somos una empresa prestadora de servicios públicos domiciliarios que desea brindar a la comunidad aguachiquense un buen servicio en el suministro de Agua potable, tratamientos de aguas residuales y saneamiento básico; y así contribuir al mejoramiento de

la calidad de vida en este, nuestro municipio. Los objetivos de la E.S.P Aguachica de acuerdo a la información brindada por control interno son:

- Organizar y prestar de forma eficiente y eficaz los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo en la zona urbana del Municipio de Aguachica Cesar.

- Construir, mantener y reparar oportunamente la infraestructura para la prestación de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo en la zona urbana del Municipio.

- Desarrollar una cultura orientada al manejo, mejoramiento y protección del medio ambiente que garanticen la prestación de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo en la zona urbana del Municipio de Aguachica Cesar.

- Promover el desarrollo del control social y la participación ciudadana en la prestación de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo en la zona urbana del Municipio de Aguachica Cesar.

- Garantizar la rentabilidad económica y social requerida para la sostenibilidad de la empresa en el corto, mediano y largo plazo.

- Establecer una cultura orientada al cliente, soportada con procesos organizacionales efectivos que respondan a las necesidades y oportunidades del mercado.

1.1.4. Estructura Organizacional.

El modelo de la estructura organizacional de la empresa tiene la siguiente jerarquía:

En la parte superior se encuentra la máxima autoridad que es la junta directiva que está conformada por el alcalde o delegado, jefe del departamento de planeación municipal, secretario de obras públicas municipales, asesor jurídico del municipio, 2 vocales de control registrados por los comités de desarrollo y control social de los servicios públicos domiciliarios y actuara como secretario de la junta el gerente de la entidad con voz pero sin voto. Esta junta directiva imparte las respectivas directrices hacia gerencia, bajo la revisión y asesoría de un control fiscal. El gerente como representante legal de la empresa, se encarga de ejecutar las directrices de la junta directiva bajo la asistencia de control interno que verifica el cumplimento de la normatividad y aplicación del sistema de control interno dentro de la organización.

En la cadena de mando, el gerente como segundo al mando delega 6 departamentos que son**:** El departamento operativo que el departamento más grande de la empresa, está conformado por un jefe operativo que se encarga de ejecutar políticas, planes, programas y normas establecidas por la entidad de materia operativa, también se encuentra un profesional universitario ambientalista, el cual está a cargo del proceso de Gestión ambiental y Tratamiento de Aguas Residuales en la Empresa de Servicios Públicos De Aguachica ESP, un químico, operadores de planta, ayudantes de planta, inspector de redes, sectorizado y plomeros. También está el departamento de sistemas; analista contable, facturación y cartera; analista presupuestal y tesorería; almacén y el departamento

comercial, de este último hace parte el jefe de comercial, un técnico comercial y el técnico PQR.

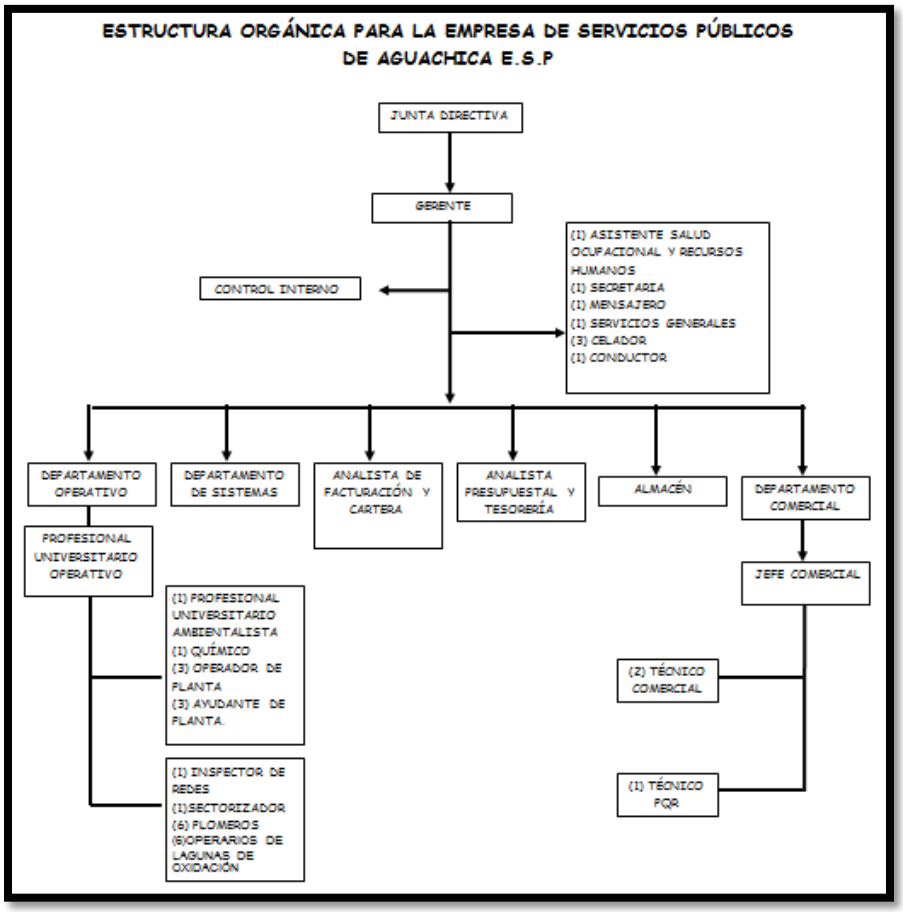


Figura 1. Organigrama de la E.S.P. De Aguachica. Fuente. Control interno E.S.P.

1.1.5. Descripción De La Dependencia Asignada

Como se observa en la estructura organizacional (figura 1), La Empresa de Servicios Públicos de Aguachica E.S.P.A no cuenta con un Departamento o Área Ambiental. Sin embargo el encargado de todo lo relacionado al proceso de gestión ambiental y tratamiento de aguas residuales, es el ingeniero ambiental Pablo Alberto Herrera el cual ocupa el cargo de profesional universitario ambiental dentro de la entidad.

El cargo de Profesional universitario ambiental de acuerdo con Empresa de servicios públicos de Aguachica E.S.P.A, (2021) tiene las siguiente funciones:

- Velar por el cumplimiento de la normatividad ambiental vigente. Esto incluye atender los requerimientos de las autoridades ambientales, al igual que los entes de control.
- Incorporar la dimensión ambiental en la toma de decisiones de la empresa.
- Brindar asesoría técnica-ambiental al interior de la empresa y la administración municipal cuando sea necesaria.
- Supervisar las actividades de operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales manejados por la E.S.P de Aguachica.
- Promover al mejoramiento de la gestión y desempeño ambiental al interior de la empresa.
- Liderar la actividad de formación y capacitación a todos los niveles de la empresa en materia ambiental.
- Mantener actualizada la información ambiental de la empresa y generar informes periódicos.

Este proceso de gestión ambiental dentro de la empresa es importante porque se encarga de incluir en cada una de las actividades que desarrolla la empresa la dimensión ambiental, buscando siempre la protección del medio ambiente, minimizar los impactos negativos que se puedan generar al ambiente por actividades internas y/o externas de la empresa; cumplir con la normatividad ambiental, proteger los recursos naturales y velar por el bienestar de los usuarios.

1.2.Diagnóstico inicial de la dependencia asignada

Para realizar un diagnóstico de la dependencia asignada con respecto al proyecto a desarrollar, se utiliza la herramienta MATRIZ DOFA, en el que se identifican Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas. Además se plantean estrategias como medida para el mejoramiento del funcionamiento de la dependencia.

Tabla 1

Diagnóstico de la dependencia asignada

	Positivos	**Negativos**	**Estrategia DO**
Internos (Factores de la empresa)	**Fortalezas**	**Debilidades**	.Dar a conocer a los altos ejecutivos la importancia y beneficio de invertir en recursos para el laboratorio y materiales necesarios para el mantenimiento de los equipos que ayudan a mejorar la eficiencia del tratamiento
	F.1. Apoyo por parte del personal operativo para la realización de las actividades **F.2.** Cuenta con el profesional universitario ambiental el ingeniero Pablo Herrera. **F.3**. Cuenta con un sistema de tratamiento para el tratamiento de aguas residuales **F.4.** La PTAR tiene un laboratorio con equipos y materiales para medición de algunos parámetros físico químicos **F.5.** Disponibilidad de manuales de operación y puesta en marcha de la PTAR	**D.1.** No hay disponibilidad de recursos y algunos elementos de trabajo para el mantenimiento de la PTAR. **D.2.** Falta de personal profesional como apoyo a las actividades que se desarrollan en el proceso de gestión ambiental. **D.3.** Pocos reactivos en el laboratorio para medición de parámetros fisicoquímicos.	

Tabla 1. Continuación

	Oportunidades	Amenazas	Estrategia FA
Externos (Factores del ambiente)	**O.1.** Interés de la alta gerencia por mejorar los procesos dentro de la PTAR para mejorar la calidad del agua residual. **O.2** Obtener información, datos y cálculos de los parámetros fisicoquímicos de calidad de agua residual. **O.3**. la empresa busca el beneficio de reducir el valor de los pagos de tasa retributiva.	**A.1.** Incremento de gastos en recursos. **A.2.** Enfermedades relacionadas con el sistema de tratamiento de aguas residuales. **A.3.** Los problemas sociales (invasión a los predios, deforestación)	Buscar alternativas físicas o químicas que contribuyan a mejorar el tratamiento de las aguas residuales para mitigar la contaminación a las fuentes hídricas protegiendo la salud de la población.
	Estrategia FO	**Estrategia DA**	
	Al contar con personal y recurso humano de apoyo para la realización del proyecto, se gestionan estrategias para mejorar continuamente el tratamiento que se realiza en la PTAR, buscando el beneficio de la empresa y la comunidad.	Realizar el monitoreo y seguimiento de los procesos en la planta de tratamiento de aguas residuales para realizar un proceso eficiente, protegiendo los recursos y ofreciendo un excelente servicio a la comunidad.	

Nota: Se utiliza la matriz DOFA para mostrar la situación de la dependencia asignada con respecto al trabajo a desarrollar. Fuente. Autor del proyecto.

1.2.1 Planteamiento del problema

Colombia es un país privilegiado por contar con una gran riqueza hídrica, gracias a los ecosistemas productores de agua como lo son los páramos. El agua como sustancia fundamental para la supervivencia y desarrollo de la sociedad, es utilizada para cada una de las actividades realizados por el hombre, dejando como resultado aguas residuales. "Las aguas residuales se definen como el agua que contiene material disuelto y en suspensión, luego de ser usada por una comunidad o industria" (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia, 2000).

Cuando las aguas residuales, se vierten directamente al medio ambiente generan gran afectación a los ecosistemas y problemas de salubridad que afectan calidad de vida de las personas. Por tal motivo, es necesario la recolección, transporte y tratamiento de estas aguas antes de ser vertidas a un cuerpo de agua u otro recurso natural. En la PTAR vía puerto mosquito del municipio de Aguachica- Cesar se realiza el tratamiento del 55% de las aguas residuales municipales, por lo que la eficiencia en el proceso de tratamiento puede impactar significativamente en el ambiente, sobre todo en el recurso hídrico y en la salud de las personas que utilizan la fuente hídrica.

El caño el cristo, es fuente receptora del efluente que sale de la planta de tratamiento y aguas abajo es utilizada por la población aledaña para diferentes usos, sobre todo el agropecuario. Entonces, es importante que la empresa vele por el cumplimiento de la normatividad en la eficiencia de sus procesos y optimizarlos para lograr una mejor remoción de la carga contaminante. Sin embargo, en la PTAR no se cuenta actualmente con análisis fisicoquímicos que permitan conocer el desempeño por procesos o tratamientos para identificar los problemas y buscar alternativas a implementar para

mejorar la eficiencia del tratamiento obteniendo un beneficio social, económico y ambiental tanto para la empresa como para la ciudadanía.

1.3.Objetivos de la pasantía

1.3.1. General

Evaluar la eficiencia en las operaciones unitarias de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) vía puerto mosquito del municipio de Aguachica-Cesar.

1.3.2 Específicos

- Analizar los porcentajes de remoción de DQO y comportamiento del oxígeno disuelto en las operaciones unitarias de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) vía puerto mosquito del municipio de Aguachica-Cesar.
- Establecer indicadores de eficiencia en las operaciones unitarias realizas en la PTAR vía puerto mosquito del municipio de Aguachica- Cesar.
- Proponer alternativas para mejorar la eficiencia en las operaciones unitarias de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) vía puerto mosquito del municipio de Aguachica-Cesar.

1.4. Descripción de las actividades a desarrollar en la pasantía.

Tabla 2

Actividades a desarrollar en la pasantía.

Objetivo general	Objetivo específicos	Actividades a desarrollar en la empresa para hacer posible el cumplimiento de los Obj. Específicos
Evaluar la eficiencia en las operaciones unitarias de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) vía puerto mosquito del municipio de Aguachica-Cesar.	Analizar los porcentajes de remoción de DQO y comportamiento del oxígeno disuelto en las operaciones unitarias de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) vía puerto mosquito del municipio de Aguachica-Cesar.	Toma de muestras de agua residual en los procesos unitarios de la PTAR Análisis de parámetros de DQO y Oxígeno Disuelto (O.D) en el laboratorio de la PTAR Calculo de la remoción de DQO y análisis del comportamiento del O.D en las unidades de operación de la PTAR
	Establecer indicadores de eficiencia en las operaciones unitarias realizas en la PTAR vía puerto mosquito del municipio de Aguachica- Cesar.	Revisión de la información obtenida en los análisis de DQO y comportamiento de O.D en la operaciones unitarias Definir indicadores de eficiencia de las operaciones unitarias de la PTAR.

	Proponer alternativas para mejorar la eficiencia en las operaciones unitarias de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) vía puerto mosquito del municipio de Aguachica-Cesar.	Revisión y análisis de los datos obtenidos en los cálculos de remoción de DQO y comportamiento de O.D plantear alternativas para mejorar la eficiencia en las operaciones unitarias de la PTAR

Fuente. Autor del proyecto

Capítulo 2. Enfoques Referenciales

2.1. Enfoque conceptual

A continuación, se definen los conceptos más relevantes en relación al proyecto evaluación de la eficiencia de planta de tratamientos de aguas residuales de Aguachica, para una mayor comprensión e interpretación del plan de trabajo realizado.

2.1.1. Afluente:

Agua residual u otro líquido que ingrese a un reservorio, o algún proceso de tratamiento. (RAS, 2000).

2.1.2. Aguas residuales:

Las aguas residuales son aquellas cuya calidad está afectada negativamente por la influencia antropogénica. Las aguas residuales incluyen las aguas usadas, domésticas, urbanas y los residuos líquidos industriales o mineros eliminados, o las aguas que se mezclaron con las anteriores (aguas pluviales o naturales). (IDEAM, s.f.)

2.1.3. Aguas residuales domésticas:

Son procedentes de los hogares, así como las de las instalaciones en las cuales de desarrollan actividades industriales, comerciales o de servicios que corresponden a:

- Descargas de los retretes y servicios sanitarios
- Descargas de los sistemas de aseo personal (duchas y lavamanos), de las áreas de cocinas, cocinetas, de las pocetas de lavado de elementos de aseo y lavados de paredes y pisos y del lavado de ropa (No se incluyen las de los servicios de lavandería industrial). (Resolucion 0631, 2015).

2.1.4. Aguas residuales municipales:

Agua residual de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos humanos. (RAS, 2000).

2.1.5. Análisis

Examen del agua, agua residual o lodos, efectuado por un laboratorio. (RAS, 2000).

2.1.6. Conductividad

La conductividad es la medida de la capacidad que tiene, en este caso el agua residual, para conducir o transportar la corriente eléctrica. En el Sistema Internacional de Unidades se expresa como siemens por metro (S/m), pero por simplicidad se utiliza µS/cm a una temperatura de 25°C. La conductividad del agua está relacionada con la concentración de las sales en disolución, cuya disociación genera iones capaces de transportar la corriente eléctrica. (Solís-Castro, Zúñiga-Zúñiga, & Mora-Alvarado, 2018).

2.1.7. Demanda Química de Oxígeno (DQO):

Medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales (RAS, 2000).

2.1.8. Desarenador:

Componentes destinado a la remoción de arenas y solidos que están en suspensión en el agua mediante un proceso de sedimentación. (Resolución 0330, 2017).

2.1.9. Eficiencia de tratamiento:

Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el afluente, para un proceso o planta de tratamiento y un parámetro específico; normalmente se expresa en porcentaje. (RAS, 2000).

2.1.10. Efluente

Líquido que sale de un proceso de tratamiento. (RAS, 2000).

2.1.11. Filtro percolador

Tanque que contiene un lecho de material grueso, compuesto en la gran mayoría de los casos de materiales sintéticos o piedras de diversas formas, de alta relación área/volumen, sobre el cual se aplican las aguas residuales por medio de brazos distribuidores fijos o móviles. Este es un sistema de tratamiento aerobio. (RAS, 2000).

2.1.12. indicador

Un INDICADOR es una expresión cualitativa o cuantitativa observable que permite describir características, comportamientos o fenómenos de la realidad a través de la evolución de una variable o el establecimiento de una relación entre variables, la que comparada con periodos anteriores o bien frente a una meta o compromiso, permite evaluar el desempeño y su evolución en el tiempo. (Departamento Administrativo de la Función Pública (DAFP), 2012)

2.1.13. Lechos de secado

Dispositivos que eliminan una cantidad de agua suficiente de lodos para que puedan ser manejados como material sólido. (Resolución 0330, 2017).

2.1.14. Muestra puntual

Muestra de agua residual tomada al azar en un momento determinado para su análisis. Algunos parámetros deben determinarse in situ y otros en el laboratorio. (RAS, 2000).

2.1.15. Parámetro

Variable que, en una familia de elementos, sirve para identificar cada uno de ellos mediante su valor numérico. (Decreto 1076 , 2015)

2.1.16. PTAR:

Planta De Tratamiento De Aguas Residuales. Conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar las aguas residuales. (Resolución 0330, 2017).

2.1.17. Pretratamiento:

Proceso previo que tiene como objetivo remover material orgánico e inorgánico flotante, suspendido o disuelto del agua antes del tratamiento primario. (Resolución 0330, 2017).

2.1.18. Rosetón:

El Rosetón Plástico Filtrante es un anillo con 20 cavidades fabricadas en polipropileno, materiales que garantiza su durabilidad y resistencia al ataque de los hongos y bacterias. El rosetón es utilizado en filtros percoladores como medio de soporte en el que se adhiere la materia orgánica de la biomasa, la cual se va degradando, logrando aumentar la eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales. (TL INGEAMBIENTE , s.f.)

2.1.19. Solidos Disueltos totales (TDS)

TDS es una medida de la materia en una muestra de agua, más pequeña de 2 micrones (2 millonésimas de un metro) y no pueden ser removidos por un filtro tradicional. TDS es básicamente la suma de todos los minerales, metales, y sales disueltos en el agua y es un buen indicador de la calidad del agua. (Sigler & Bauder, 2017)

2.1.20. Solidos Suspendidos Totales:

Los sólidos suspendidos totales (SST) incluyen al plancton, minerales de arcilla, arena, limo, coloides agregados, materia orgánica e inorgánica finamente dividida y otros microorganismos en el agua. los sólidos suspendidos totales 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 (ºC) hasta llegar a un peso constate. (Ruiz RamÍrez, 2017).

2.1.21. Tratamiento primario:

Tratamiento en el que se remueve una porción de los sólidos suspendidos y de la materia orgánica del agua residual. Esta remoción normalmente es realizada por operaciones físicas como la sedimentación. El efluente del tratamiento primario usualmente contiene alto contenido de materia orgánica y una relativamente alta DBO. (Resolución 0330, 2017).

2.1.22. Tratamiento secundario:

Es aquel directamente encargado de la remoción de materia orgánica y solidos suspendidos. (Resolución 0330, 2017).

2.2. Enfoque legal

Las problemáticas ambientales que surgieron como consecuencia de la revolución industrial, conlleva a que los gobiernos a nivel mundial centren su atención en la protección y conservación del ambiente, esto se da en la Conferencia De Las Naciones Unidades Sobre El Medio Humano desarrollada en Estocolmo en el año de 1972. A raíz de

esta conferencia se plantearon acciones para la concientización de la importancia del medio ambiente y se marcó un punto de partida en el desarrollo del marco jurídico en materia ambiental. En el caso de Colombia, como resultado de la conferencia, se crea la ley 23 de 1973 con la cual se le da a faculta al gobierno de crear el Código Nacional De Recursos Naturales Y Protección Al Medio Ambiente, norma importante para la protección de los recursos naturales del país y el desarrollo de la legislación ambiental. A continuación se describen normas relacionadas a la protección y conservación del recurso hídrico, así como las relacionadas con el control y manejo de vertimientos de aguas residuales.

2.2.1 Ley 23 de 1973.

Por el cual se conceden facultades extraordinarias al Presidente de la República para expedir el Código de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente y se dictan otras disposiciones. Para el proyecto, se tienen en cuenta los artículos 1 al 5, donde se declara al medio ambiente como patrimonio común, se considera el recurso agua como un bien contaminable y se menciona todo lo relacionado a prevención y control de la contaminación del medio ambiente. (Ley 23, 1973).

2.2.2. Decreto ley 2811 del 18 de Diciembre de 1974.

Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Esta norma específica aquellos factores que deterioran el ambiente como lo es la contaminación de las aguas, en el artículo 8 y las acciones para la prevención y control de la contaminación del recurso hídrico. (Decreto Ley 2811, 1974).

2.2.3. Ley 9 de 1979.

Por la cual se dictan Medidas Sanitarias. Contiene todo lo referente a prohibiciones, procedimientos y las medidas que se deben adoptar para mejorar las condiciones sanitarias, entre ellas lo relacionado al manejo de residuos líquidos, articulo del 10 al 21. (Ley 9, 1979).

2.2.4. Decreto 1594 De 1984.

por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Esta norma contiene de forma amplia todo lo relacionado a los vertimientos de residuos líquidos (capitulo Vl) como prohibiciones, parámetros a medir, cargas máximas permisibles y tasa retributiva (artículo 142), entre otros aspectos. (Decreto 1594, 1984).

2.2.5. Constitución política de Colombia de 1991.

La constitución marcó un gran cambio a nivel nacional, debido a que se estableció el deber del Estado por proteger la diversidad e integridad del medio ambiente como se describe en los siguientes artículos:

Artículo 8°. Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la nación. (Constitucion politica de Colombia, 1991).

Artículo 79: Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo.

Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines. (Constitucion Politica de Colombia, 1991).

Artículo 80: El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. (Constitucion politica de Colombia, 1991).

Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas. (Constitucion Politica de Colombia, 1991).

2.2.6. Ley 99 de 1993.

Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. (Ley 99, 1993).

2.2.7. Ley 142 de 1994.

Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. Contiene las competencias de los municipios en cuanto a la prestación de los servicios públicos. (Ley 142, 1994).

2.2.8. Resolución 1096 del 2000 - RAS 2000.

Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Este documento técnico tiene en el título E, todo lo relacionado al tratamiento de aguas

residuales, en donde se especifican los criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales. (Resolucion 1096, 2000)

2.2.9. Decreto 3930 De 2010.

Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª 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. Esta norma deroga al decreto 1594 de 1984 a excepción de los articulo 20 y 21. En el capítulo Vl describe todo lo relacionado a vertimientos como prohibiciones, control de saneamiento, entre otros. (Decreto 3930, 2010).

2.2.10. Decreto 2667 del 2012.

Por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones. (Decreto 2667, 2012).

2.2.11. Resolución 1207 de 2014.

Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas. (Resolución 1207, 2014).

2.2.12. Resolución 0631 del 2015.

Por la cual se adoptan medidas relacionadas con los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. (Resolución 0631, 2015).

2.2.13. Decreto 1076 del 2015.

Por medio del cual se expide el Decreto Único. Este es un decreto compilatorio de normas reglamentarias en materia ambiental vigentes. (Decreto 1076 , 2015).

2.2.14. Resolución 0330 del 2017.

Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2009. Esta norma en el capítulo 5 describe los requisitos técnicos para los sistemas de tratamientos de aguas residuales municipales. (Resolucion 0330, 2017).

Capítulo 3. Informe De Cumplimiento De Trabajo

En este capítulo, se describe las actividades realizadas para el cumplimiento de cada uno de los objetivos propuestos en el proyecto Evaluación De La Eficiencia En Las Operaciones Unitarias Realizadas En La Planta De Tratamiento De Aguas Residuales (PTAR) Vía Puerto Mosquito Del Municipio De Aguachica-Cesar, realizado en el desarrollo de la pasantía en la empresa de servicios públicos de Aguachica ESPA.

3.1. Analizar los porcentajes de remoción de DQO y comportamiento del oxígeno disuelto en las operaciones unitarias de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) vía puerto mosquito del municipio de Aguachica-Cesar.

Antes de analizar los porcentajes de remoción y comportamiento de oxígeno disuelto, se describirán la PTAR y los procesos realizados en ella:

La planta de tratamiento de aguas residuales se encuentra ubicada al sur del municipio de Aguachica, en la vía que comunica al corregimiento de puerto mosquito con el municipio, en las coordenadas geográficas 8°17’45” de Latitud Norte y 73°38’7” Longitud Oeste, a 140 msnm. La PTAR fue un proyecto de la gobernación del Cesar, entregado y puesto en marcha en el año 2019 (antes, se realizaba a través de un sistema de lagunas facultativas) y recibe aproximadamente un 55% de las aguas residuales del casco urbano del municipio de Aguachica.

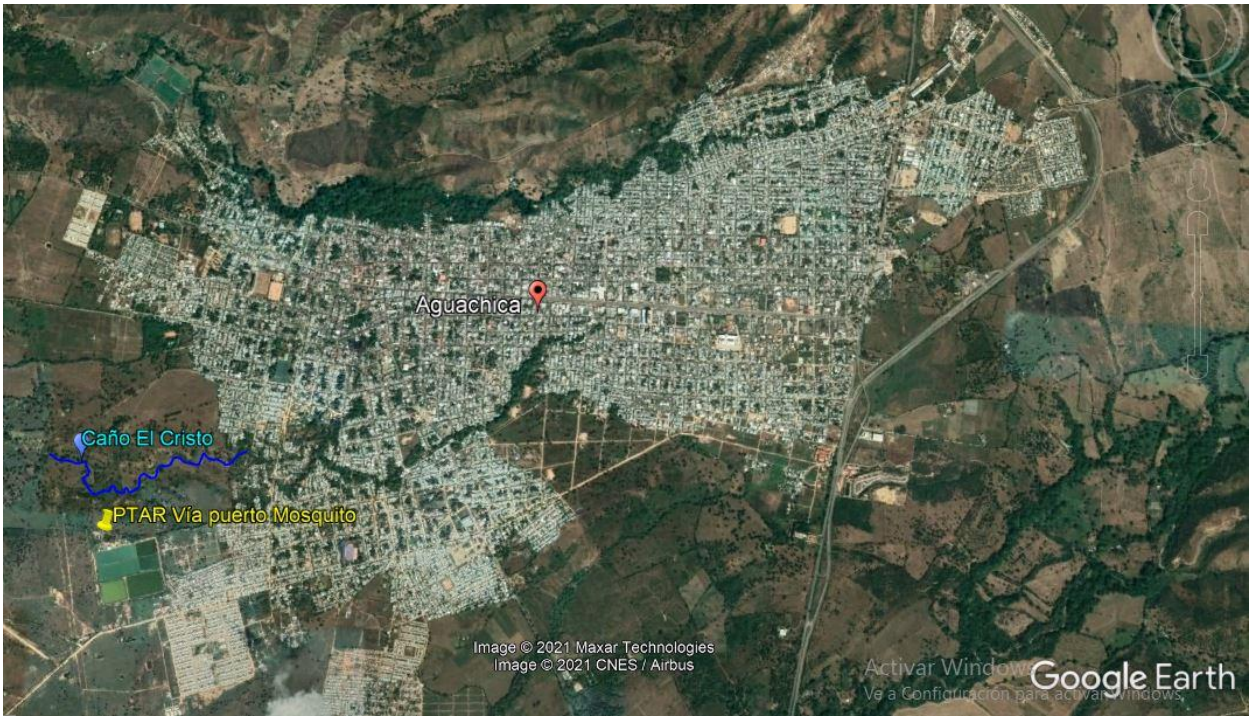


Figura 2. Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Aguachica. Fuente. Autor del proyecto.

Las aguas residuales que ingresan a la PTAR por la red matriz de alcantarillado, descarga en un canal que posee un bypass, allí las aguas se dividen en dos módulos o trenes para iniciar con el tratamiento que se da en 3 fases:

La primera fase es el **Pretratamiento,** aquí se llevan a cabo tres procesos: El **cribado**, que se realiza mediante una rejilla de acero inoxidable que permite la retención y remoción de materiales de gran tamaño que puedan afectar los equipos o procesos siguientes. **Desarenadores,** para la remoción de arenas y partículas gruesas. Después de este proceso las aguas residuales pasan por una canaleta Parshall que cuenta con una regleta que permite medir el caudal en litros por segundo (LPS) y finalmente ingresar al proceso de **homogenización** que permite dar uniformidad en la concentración de materia orgánica, pH y caudal en el agua, antes de ingresar a las siguientes etapas del tratamiento.

La segunda fase es **tratamiento primario,** este consiste en un tanque de **sedimentación primario,** donde el agua ingresa de forma ascendente y pasa a través de filtros de alta tasa tipo colmena para la remoción de sólidos en suspensión presentes en al agua residual.

Finalmente, la tercera fase, el **tratamiento secundario o tratamiento biológico** que busca eliminar la materia orgánica biodegradable por medio del uso de microorganismos. El agua residual que proviene del tanque de sedimentación pasa inicialmente a un **tanque de aireación** en el que se inyecta aire en el agua, creando un medio propicio para el crecimiento de las bacterias del tanque de **filtro biológico o filtro percolador,** en este filtro el agua ingresa de forma ascendente y pasa por los rosetones como medio de fijación de colonias bacterianas que realizan el proceso de degradación de materia orgánica. Como último proceso, el agua pasa a un tanque de **sedimentación secundario** donde se decantan los sólidos "clarificando" el agua para luego ser conducida y vertida a una fuente hídrica receptora, que en este caso es el caño El cristo.

Es importante resaltar que en los tanques de homogenización, aireación, sedimentación primaria y secundaria, cuenta con un sistema de purga o dragado, que se realiza con bombas de 10 hp y manguera que conducen los lodos hasta los lechos de secado; para las demás estructuras los dragados se realizan con una bomba de 25 hp.

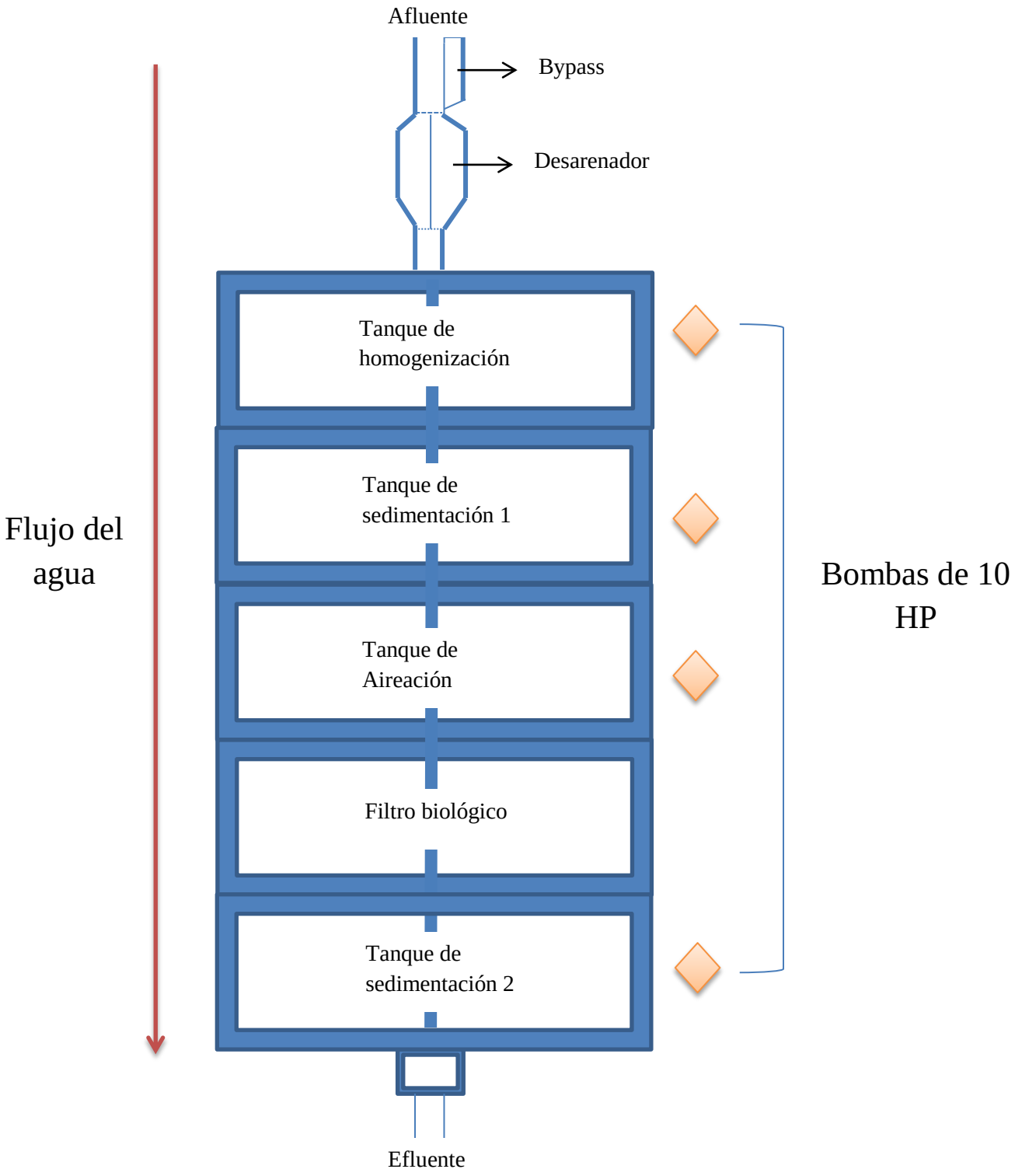


Figura 3. Esquema de los procesos de la planta de tratamiento de aguas residuales vía Puerto Mosquito del municipio de Aguachica, cesar. Fuente. Autor del proyecto

Conociendo las operaciones unitarias que se realizan en la PTAR, se procede a analizar los porcentajes de remoción de DQO y comportamiento del oxígeno disuelto en los procesos realizados, como primer objetivo a cumplir dentro del proyecto, para esto se llevaron a cabo las siguientes actividades:

3.1.1. Toma de muestras de agua residual en los procesos unitarios de la PTAR.

El objetivo del muestro es lograr obtener una muestra representativa de la sustancia, elemento o material a estudiar, en este caso, es el agua residual que recibe tratamiento en la PTAR vía puerto mosquito del municipio de Aguachica. Durante los primeros meses de la pasantía se realizaron 5 monitoreos de la calidad del agua residual y para esto se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones en la toma de las muestras:

- **Puntos de muestreo:** Se definieron 4 puntos en las estructuras del proceso de tratamiento, considerando la importancia del proceso, los parámetros a analizar y la relevancia de la información que puede proporcionar para la toma de decisiones para la mejora continua en la PTAR. Los puntos definidos son los siguientes:

Tabla 3

Puntos de muestreo en el proceso de tratamiento de la PTAR vía Puerto Mosquito.

Punto	Punto de muestreo	Observación
P1	Afluente	Salida de la red matriz de alcantarillado.
P2	Tanque de aireación	Final del tanque para pasar al filtro Biológico.
P3	Filtro biológico	Canal de rebose final del tanque. Antes de pasar al tanque de sedimentación secundario.
P4	Efluente	Caja de inspección de salida del agua residual de la PTAR

Fuente. Autor del proyecto.

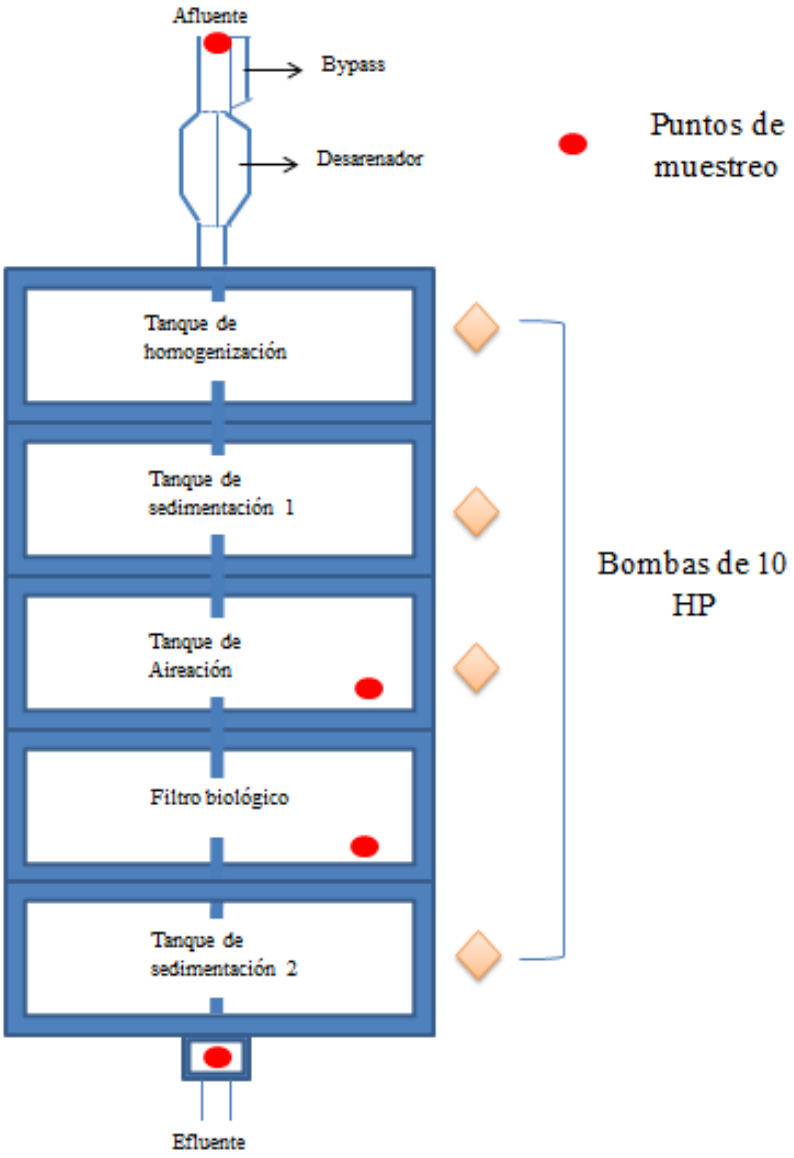


Figura 4. Puntos de muestreo en la planta de tratamiento de aguas residuales. Fuente. Autor del proyecto.

- **Tipo de muestra:** Se realizaron muestras de tipo puntual o simple. Estas muestras se toman en un lugar y tiempo determinado; en este caso se tomaron en los 4 puntos definidos dentro del proceso y a una hora específica del día.

La muestra simple representa la composición del agua en las circunstancia en que se toma la captación y por lo general se usan para determinar las características de descargas instantáneas, identificar la fuente y evaluar los efectos potenciales en los procesos de tratamiento, estudiar variaciones en flujos de desechos en un determinado periodo, entre otros. (RAS, 2000).



Figura 5. Toma de muestra puntual en el afluente de la PTAR vía puerto mosquito. Fuente. Autor del proyecto.

- **Tipo de recipiente y Volumen de muestra:** Para el almacenamiento de la muestra se utilizaron como recipiente vasos precipitados que tiene volumen definido. Estos vasos fueron marcados con el nombre del punto del muestreo y se utilizaron siempre los mismos en cada toma de muestra. Los recipientes son en material de vidrio y algunos de

plástico, material idóneo para el almacenamiento de la muestra porque evita la alteración de las características físico químicas del agua residual.

En el siguiente cuadro se describe el tipo de material y volumen de muestra tomado en cada punto, así como lo reglamentado por RAS 2000 en cuanto a requerimientos para el manejo y almacenamiento de muestras de acuerdo al parámetro analizar.

Tabla 4

Tipo de material y volumen de los recipientes utilizados en cada punto de muestreo.

Punto de muestreo	Material del recipiente	Volumen de muestra	Requerimientos del RAS 2000	
			Material	Volumen mínimo de la muestra (parámetro DQO)
Afluente	Plástico	1000 ml	P,V	100 ml
Tanque de aireación	Vidrio	400 ml	P,V	100 ml
Filtro Biológico	Vidrio	250 ml	P,V	100 ml
Efluente	Vidrio	250 ml	P,V	100 ml

Nota: En la columna de material la letra P: plástico y V: vidrio. Fuente. Autor del proyecto.

- **Parámetros a analizar:** Con los equipos del laboratorio de la PTAR se puede realizar la medición y análisis de los siguientes parámetros: conductividad, temperatura, DQO y oxígeno disuelto.
- **Datos de la muestra:** Cuando se realizan la toma de muestras es importante etiquetar o rotular los recipientes para su respectiva identificación y evitar confusiones a la hora de realizar el análisis, situación que conllevaría a una mala interpretación de las muestras analizadas. En cada monitoreo se registran de forma digital los siguientes datos:
  - ✓ Fecha y hora del muestreo.
  - ✓ Caudal en el momento de la toma de muestra.

- ✓ Nombre del punto del muestreo.

Es importante resaltar, que las muestras no requieren cadena de custodia porque las muestras son analizadas en el laboratorio que se encuentra en la planta de tratamiento y su análisis es casi que inmediato; para el caso de la medición de oxígeno disuelto se realiza en situ con el equipo de medición de este parámetro.

3.1.2. Análisis de parámetros de DQO y Oxígeno Disuelto (O.D) en el laboratorio de la PTAR.

Después de tomar las muestras en los puntos señalados anteriormente, de inmediato son llevadas al laboratorio de la planta para realizar la medición de los parámetros de conductividad, temperatura y DQO. El parámetro de O.D. Se mide en situ. El procedimiento llevado acabo para cada parámetro es el siguiente:

DQO: Demanda Química De Oxigeno: Para el análisis del parámetro de DQO en el agua residual, se utilizaron los siguientes equipos y reactivos:

- ✓ Termoreactor
- ✓ Fotómetro Multiparametro HI 83224
- ✓ Viales de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$).

Procedimiento:

Antes de tomar las muestras de agua residual en los procesos unitarios de la PTAR, se enciende el Termoreactor a precalentar hasta alcanzar una temperatura de 150 °C.

Teniendo las muestras en el laboratorio ya rotuladas, se procede a marcar los viales y preparar las muestras.

Para la preparación de las muestras se utiliza el reactivo de Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$). Este reactivo puede ser de rango bajo, medio o alto y la escogencia de este intervalo de medición depende de la carga orgánica del agua residual. Para el caso de la PTAR, de acuerdo a análisis realizados anteriormente, la DQO no supera los 800 mg/l, por lo que utilizan los viales de rango medio.

Tabla 5

Rangos de los viales (dicromato de potasio) para medición de DQO.

Rangos	Intervalos
Bajo	0-150 mg/l
Medio	0-1500 mg/l
Alto	0-15000 mg/l

Fuente. Manual de instrucciones de los viales.



Figura 6. Viales de Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$), rango medio. Fuente. Autor del proyecto.

Una vez determinado el rango a utilizar, se toman 2 ml de agua destilada y se adiciona a uno de los viales en un ángulo de 45°, esto para obtener un blanco; luego se toma 2 ml de cada muestra de agua residual y se repite el proceso. Se agitan cuidadosamente (se da una reacción exotérmica) de forma vertical 6 veces y luego cuando el Termoreactor este a 150 °C se introducen los viales y se deja calentar las muestras por 2 horas. Pasado este tiempo se espera a que la temperatura baje a 120 °C y se retiran los viales del Termoreactor, se agitan nuevamente de forma vertical y se deja en reposo hasta quedar a temperatura ambiente para realizar la lectura en el fotómetro.

Para realizar la lectura de DQO, se utiliza el fotómetro Multiparametro. Se enciende el equipo, se escoge el parámetro a medir, en este acaso DQO de rango medio y se procede a tomar lecturas: primero se introduce el blanco, se toma lectura cero y luego se toma la lectura de la muestra de agua residual, para tomar una segunda lectura se debe introducir nuevamente el blanco tomar lectura cero y luego tomar lectura del vial con muestra de agua residual, este proceso se repite de acuerdo a la cantidad de muestras que se vayan a analizar.



Figura 7. Determinación de DQO con el Equipo Termoreactor (izquierda) y el Multiparametro (derecha). Fuente. Autor del proyecto.

Conductividad: Para la determinación de conductividad se utiliza el Conductimetro DIST 3 1999 µs/cm. La medición de este parámetro es muy sencilla, con las muestras en los vasos precipitados, se introduce el equipo en el agua residual de forma que cubra el sensor y se espera a que el equipo tome la lectura.

Temperatura: Para la medición dela temperatura se utiliza el termómetro de punzón, que al igual que en los otros equipos la medición, la lectura se realiza introduciendo el punzón en la muestra de agua y toma la lectura.

Para medir del parámetro de **Oxígeno Disuelto (O.D),** se utiliza el equipo portátil Dissolved Oxygen HI 98193. Para realizar la medición se introduce la sonda del equipo directamente en los tanques y se toma lectura cuando el valor de oxígeno disuelto se estabilice. Se realiza de esta forma, debido el O.D. es un parámetro que por sus características o sensibilidad en su concentración por la presencia de otras componentes debe medirse: inmediatamente realizada la toma de la muestra o en campo.

Sin embargo este procedimiento no se pudo realizar porque el equipo de oxígeno disuelto presento daño en la membrana de la sonda. Por tal motivo se utilizaran los valores de oxígeno disuelto de los análisis semestrales (2020-2 y 2021-1) que se realizan en la PTAR de laboratorios certificados

Resultados.

A continuación, se describen los resultados obtenidos en los análisis físicosquímicos de los cinco (5) monitoreos realizados en cada punto dentro del proceso de tratamiento de la PTAR y los valores máximos permisibles de estos parámetros según la resolución 0631 del 2015 para los prestadores del servicio de alcantarillado con una carga mayor a 625 kg/día y menor a 3000 kg/día DBO_5. Es importante aclarar, que estos análisis se hicieron de acuerdo a la disponibilidad de material y equipos en el laboratorio de la PTAR. Todo la información es registrado de forma digital, en el Excel, para realizar los respectivos cálculos e interpretación de la misma.

Primero monitoreo

Se realizó el día 19 de Abril del 2021 a las 9:00 am con un tiempo soleado y un caudal de 78, 62 LPS. Se toman muestras en los puntos especificados en la tabla 3.

Tabla 6

Resultados del análisis fisicoquímico realizados el 19 de abril del 2021 en la PTAR y su comparación con la resolución 0631 del 2015.

Parámetros	Afluente	Tanque de aireación	Filtro biológico	Efluente	Valores límite máximos permisible Res. 0631/15
Temperatura (°C)	30,1	29,4	29,3	29,8	T < 40
Conductividad (µs/cm)	1651	1313	1373	1390	NR
DQO (mg/l)	750	428	325	323	180

Nota: los parámetros de oxígeno disuelto y conductividad no registran dentro de la resolución 0631 del 2015. Fuente. Autor del proyecto.

Segundo monitoreo

Se realizó el día 05 de Mayo del 2021 a las 2:00 pm con un tiempo soleado y un caudal de 99,40 LPS. Se toman muestras en los puntos especificados en la tabla 3.

Tabla 7

Resultados del análisis fisicoquímico realizados el 5 de mayo del 2021 en la PTAR y su comparación con la resolución 0631 del 2015

Parámetros	Afluente	Tanque de aireación	Filtro biológico	Efluente	Valores límite máximos permisible Res. 0631/15
Temperatura (°C)	30,1	29,6	29,4	29,8	T < 40
Conductividad (µs/cm)	1232	997	942	907	NR
DQO (mg/l)	755	451	354	316	180

Nota: los parámetros de oxígeno disuelto y conductividad no registran dentro de la resolución 0631 del 2015. Fuente. Autor del proyecto.

Tercer monitoreo

Se realizó el día 24 de Mayo del 2021 a las 9:00 am con un tiempo nublado (se presentaron lluvias el día anterior) y un caudal de 88,80 LPS. Se toman muestras simples en los puntos especificados en la tabla 3 y un punto adicional que es tanque de homogenización.

Tabla 8.

Resultados del análisis fisicoquímico realizados el 24 de mayo del 2021 en la PTAR y su comparación con la resolución 0631 del 2015.

Parámetros	Afluente	Tanque de homoge.	Tanque de aireación	Filtro biológico	Efluente	Valores límite máximos permisible Res. 0631/15
Temperatura (°C)	30,3	29,6	29,4	29,2	29,3	T < 40
Conductividad (µs/cm)	1399	1086	830	871	859	NR
DQO (mg/l)	591	444	270	253	215	180

Nota: El parámetro de conductividad no registra dentro de la resolución 0631 del 2015. Fuente. Autor del proyecto.

Cuarto monitoreo

Se realizó el día 09 de Junio del 2021 a las 2:00 pm con un tiempo nublado (se presentaron lluvias) y un caudal de 121,80 LPS. Se toman muestras simples en los puntos especificados en la tabla 3.

Tabla 9

Resultados del análisis fisicoquímico realizados el 9 de junio del 2021 en la PTAR y su comparación con la resolución 0631 del 2015.

Parámetros	Afluente	Tanque de aireación	Filtro biológico	Efluente	Valores límite máximos permisible Res. 0631/15
Temperatura (°C)	29,3	29,1	28,9	28,6	T < 40
Conductividad (µs/cm)	1016	793	726	687	NR
DQO (mg/l)	544	266	217	204	180

Nota: El parámetro de conductividad no registra dentro de la resolución 0631 del 2015. Fuente. Autor del proyecto.

Quinto monitoreo

Se realizó el día 12 de Julio del 2021 a las 8:00 am con un tiempo soleado (se presentaron lluvias la noche anterior) y un caudal de 158,20 LPS. Se toman muestras simples en los puntos especificados en la tabla 3.

Tabla 10

Resultados del análisis fisicoquímico realizados el 12 de julio del 2021 en la PTAR y su comparación con la resolución 0631 del 2015.

Parámetros	Afluente	Tanque de aireación	Filtro biológico	Efluente	Valores límite máximos permisible Res. 0631/15
Temperatura (°C)	27,7	27,6	27,9	27,8	T < 40
Conductividad (µs/cm)	789	564	603	605	NR
DQO (mg/l)	321	226	166	148	180

Nota: El parámetro de conductividad no registra dentro de la resolución 0631 del 2015. Fuente. Autor del proyecto.

Interpretación de resultados.

Aunque la cantidad de parámetros analizados en los monitoreos es mínima en comparación con lo exige la norma para determinar la calidad del agua residual vertida a un cuerpo de agua superficial, los parámetros analizados dan un indicio del estado o la calidad del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales vía puerto mosquito del municipio de Aguachica que son vertidas al caño El Cristo.

La temperatura del agua es un parámetro físico importante, considerando el impacto que este tiene sobre los ecosistemas acuáticos; una variación de temperatura en el agua afecta la cantidad de oxígeno en el agua y así la supervivencia de los seres vivos presentes en el medio. En el caso de las aguas residuales la temperatura es mayor a la de una fuente hídrica no contaminada, esto se debe a los vertimientos de industrias (aguas de calderas, sustancias químicas etc.) reacciones de sustancias químicas, liberación de energía en el proceso de degradación de materia, entre otras.

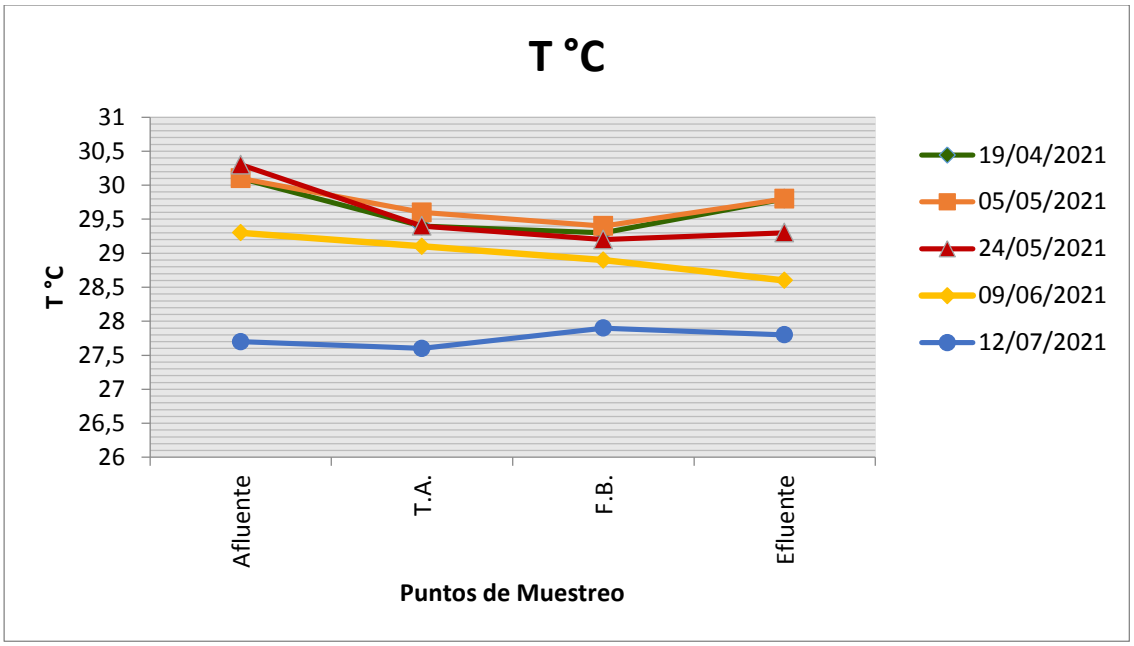


Figura 8. Grafica de temperaturas registradas en los cinco monitoreos en cada punto de muestreo. Fuente. Autor del proyecto.

El grafico detalla las temperaturas registradas en los cinco monitoreos realizados en cada punto dentro del proceso de tratamiento. Como se puede observar en el esquema, los valores de temperatura se encuentran en un rango de 28 a 30 °C, lo cual indica que cumple con resolución 0631 del 2015 en el artículo 5 donde especifica que la temperatura del vertimiento no debe ser mayor a 40°C. Dentro del proceso la variación de la temperatura es baja, prácticamente se mantiene durante todo el proceso y el efluente vierte casi que con la misma temperatura que ingreso a la planta y no sufre ninguna alteración dentro de los procesos realizados. Además, la temperatura se encuentra dentro de un rango adecuado para la supervivencia de especies acuáticas.

La conductividad no está dentro de lo reglamentado por la resolución 0631 del 2015 como un parámetro a analizar en vertimientos puntuales a cuerpo de agua superficiales. Sin embargo la conductividad tiene relación directa con los sólidos totales

disueltos, por lo tanto las mediciones de este parámetro dan información relevante en el análisis fisicoquímico del agua residual.

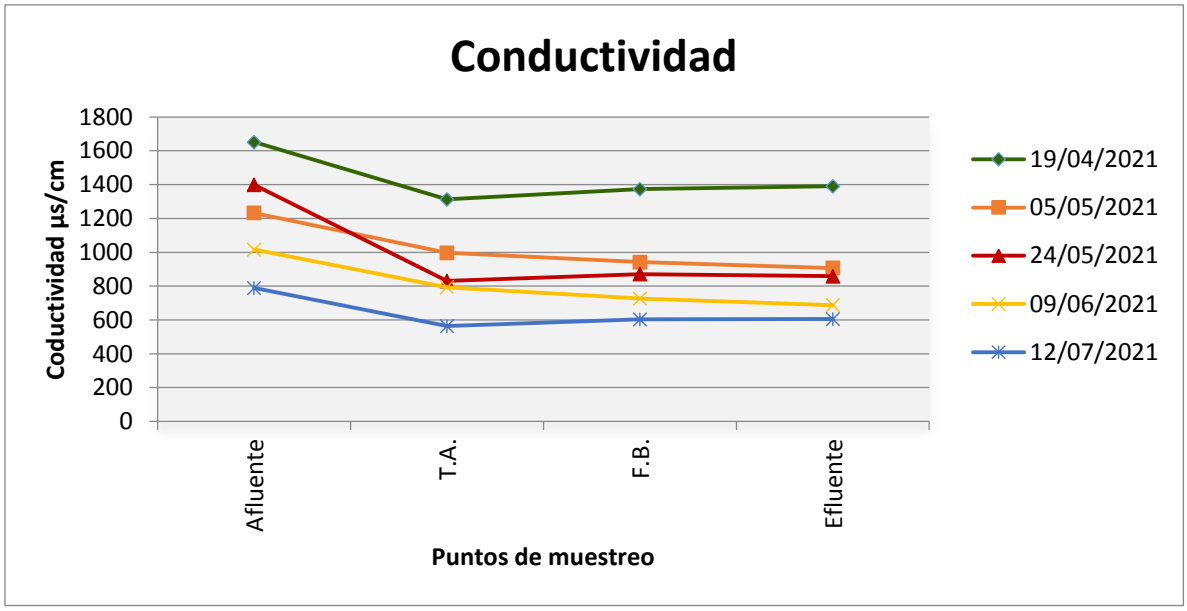


Figura 9. Gráfica de los valores de conductividad registrados en los monitores en cada punto de muestreo. Fuente. Autor del proyecto.

Como se pude observar en la gráfica los valores de conductividad en los puntos de muestreo están en el rango de 600 a 1700 µs/cm. Si se compara el valor de conductividad en el afluente y el efluente, la disminución de la conductividad es baja casi de un 20 %. Además los valores de conductividad en el filtro biológico, son aún más altos que en el proceso anterior, lo que quiere decir que presenta alta cantidad de solidos disueltos que pueden provenir desde procesos anteriores y que además se generan el tanque durante el proceso de degradación de materia orgánica.

Aunque no se encuentra definidos rangos específicos de conductividad en las aguas residuales el autor Henze, (1982) describe parámetros hidroquímicos para aguas residuales

domésticas/municipales, donde menciona valores para rangos, medio y alto en el parámetro de conductividad (figura 10).

Tabla 3.11 Diferentes parámetros en aguas residuales municipales (de Henze, 1982)

Parámetros	Alto	Medio	Bajo	Unidad
Viscosidad abs.	0.001	0.001	0.001	kg/m.s
Tensión sup.	50	55	60	Dyn/cm^2
Conductividad	120	100	70	mS/m^1
pH	8.0	7.5	7.0	
Alcalinidad	7	4	1	Eqv/m^3
Sulfuro	10	0.5	0.1	gS/m^3
Cianuro	0.05	0.030	0.02	g/m^3
Cloruro	600	400	200	gCl/m^3

Figura 10. Parámetros en aguas residuales municipales. Fuente: Lopez Vazquez , Buitrón , García Delgado, & Cervantes , (2018).

Si se convierte las µs/cm a mS/m los resultados obtenidos en las mediciones, los valores de conductividad en el agua residual que entra y sale de la PTAR se encuentra en el rango medio- alto para los 3 primeros monitoreos y bajo para los dos últimos que fue donde se presentaron lluvias. Esta situación es coherente debido a que al aumentar el caudal del agua por las lluvias se disminuye la concentración de solidos disueltos.

Considerando todo lo descrito anteriormente, ya se tiene un panorama de la calidad del agua residual que se vierte en la PTAR, así como de cantidad de materia orgánica presente durante el proceso. Sin embargo la Demanda Química de Oxigeno (DQO) es un parámetro que indica el grado de contaminación en el agua, al determinar la cantidad de oxigeno que se requiere para oxidar químicamente la materia orgánica que posee. La DQO se toma como referencia en diferentes análisis porque es un parámetro fácil y rápido de

medir en comparación de la DBO_5 y según Ortiz Muñoz, (2011) "La DQO brinda una medida más real de la cantidad de oxígeno requerida para la oxidación de los compuestos orgánicos a CO2 y H2O".

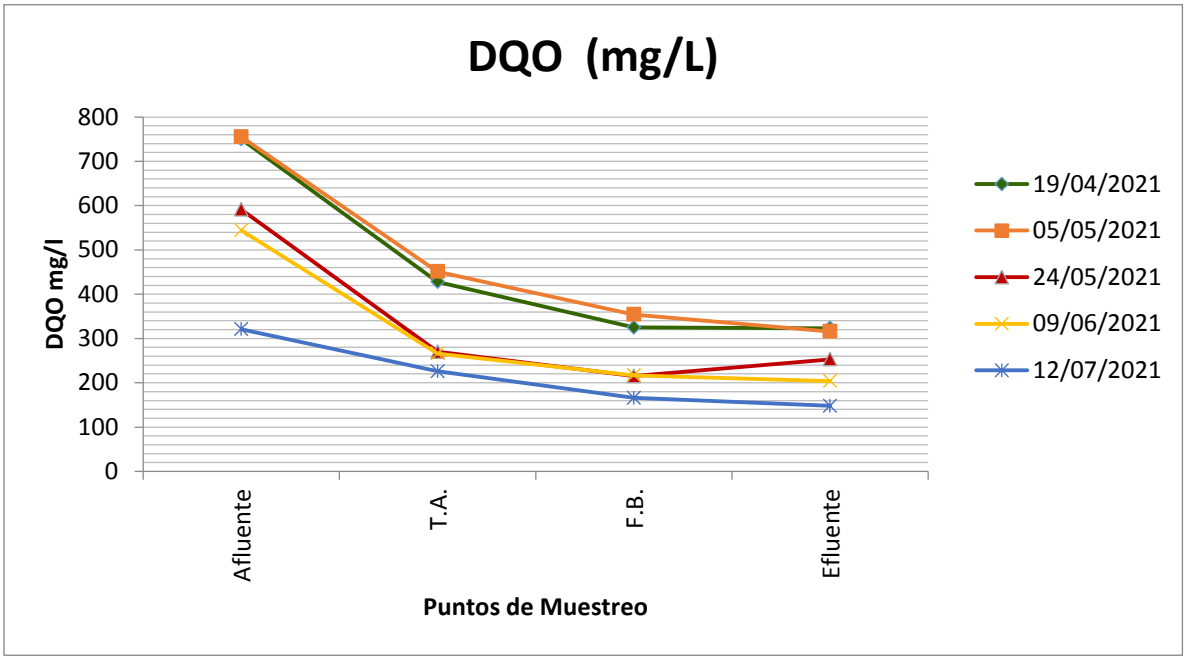


Figura 11. Gráfica de los valores de DQO registrados en los monitores en cada punto de muestreo. Fuente. Autor del proyecto.

La grafica muestra como los valores de DQO disminuyen a medida que se avanza en el proceso de tratamiento, pero los valores del efluente aún son demasiado altos y no cumple con lo establecido en la resolución 0631 del 2015, donde se establece que el limite permisible para el parámetro de DQO debe ser 180 mg/l como máximo para este caso. Los datos de DQO en el efluente de algunos monitoreos superan el doble del valor permitido, lo que indica que el tratamiento no está removiendo adecuadamente la carga contaminante presente en el agua afectando las características de la fuente receptora.

3.1.3. Calculo de la remoción de DQO y análisis del comportamiento del O.D en las unidades de operación de la PTAR.

Con los valores que se obtuvieron en los análisis del parámetro DQO en las muestras de agua residual, se realiza los cálculos de remoción de la carga contaminante para poder cuantificar la eficiencia de los procesos y la PTAR en general.

Los resultados obtenidos en los análisis son comparados con los valores que establece el artículo 8 de la resolución 0631 del 2015, donde se establecen los parámetros físicosquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domesticas-ARD de las actividades industriales, comerciales o de servicios; y de las aguas residuales (ARD Y ARnD) de los prestadores del servicio público de alcantarillado a cuerpos de aguas superficiales.

Así mismo, se comparar la eficiencia de la PTAR vía puerto mosquito con lo establecido en la resolución 0330 del 2017 en su artículo 184 donde establece los rangos de eficiencia de los procesos de tratamiento, que serán la base para poder dar un dictamen de que tan eficiente es la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Aguachica y así poder proponer alternativas al mejoramiento del sistema.

Calculo del porcentaje de eficiencia

Para determinar la eficiencia del sistema de tratamiento en remoción de carga contaminante, se toma como base el parámetro de DQO teniendo en cuenta que se tienen los equipos necesarios para su medición y además es un indicador de la concentración de materia orgánica en aguas residuales municipales e industriales. Para calcular la eficiencia se utilizara ecuación de ORTIZ VELA & QUISHPE VELOZ,(2015):

$$\%\boldsymbol{Eficiencia} = \frac{(\boldsymbol{Carga\ inicial})-(\boldsymbol{carga\ final})}{(\boldsymbol{carga\ incial})}\boldsymbol{x\ 100}$$

Antes de determinar la eficiencia, primero se calcula la carga contaminante (Cc) por medio de la siguiente ecuación de Lozano Rivas, (2012):

$$\boldsymbol{concentracion}\ \frac{\boldsymbol{mg}}{\boldsymbol{l}}\ \boldsymbol{x\ Caudal}\ \frac{\boldsymbol{l}}{\boldsymbol{s}}\boldsymbol{x}\frac{\boldsymbol{1\ kg}}{\boldsymbol{1000000\ mg}}\boldsymbol{x}\frac{\boldsymbol{86400\ s}}{\boldsymbol{1\ dia}}\ \ \textbf{= Cc (kg/día)}$$

Primer Monitoreo

El primero monitoreo se realizó el día 19 de abril del año 2021 a las 9:00 am con un caudal de 78,62 l/s. Los valores obtenidos en el cálculo de la carga contaminante de cada punto de muestreo se muestran la siguiente tabla.

Tabla 11

Resultados de carga contaminante en los puntos de muestreos realizado el 19 de abril del 2021.

	Afluente	**Tanque de aireación**	**Filtro biológico**	**Efluente**
Cc DQO (kg/día)	5094,57	2907,30	2207,65	2194,06

Fuente. Autor del proyecto.

Primero se calcula la eficiencia entre procesos:

Afluente – Tanque De Aireación

$$\%\boldsymbol{E} = \frac{(\boldsymbol{Carga\ inicial})-(\boldsymbol{carga\ final})}{(\boldsymbol{carga\ incial})}\boldsymbol{x\ 100}$$

$$\%E = \frac{5094{,}57-2907{,}30}{5094{,}57}\,x\ 100 = \boldsymbol{42{,}93\ \%}$$

Tanque de aireación – filtro biológico

$$\%\boldsymbol{E} = \frac{(\boldsymbol{Carga\ inicial})-(\boldsymbol{carga\ final})}{(\boldsymbol{carga\ incial})}\boldsymbol{x\ 100}$$

$$\%E = \frac{2907{,}30-2207{,}65}{2907{,}30}\,x\ 100 = \boldsymbol{24{,}06\ \%}$$

Filtro Biológico - Efluente

$$\%\boldsymbol{E} = \frac{(\boldsymbol{Carga\ inicial})-(\boldsymbol{carga\ final})}{(\boldsymbol{carga\ incial})}\boldsymbol{x\ 100}$$

$$\%E = \frac{2207{,}65-2194{,}06}{2207{,}65}\,x\ 100 = \mathbf{0{,}62\ \%}$$

Luego se calcula la eficiencia del tratamiento en general realizado en la planta de tratamiento de aguas residuales de Aguachica, es decir, afluente- efluente.

$$\%E = \frac{5094{,}57 - 2194{,}06}{5094{,}57}\,x\ 100 = \mathbf{56{,}93}\%$$

Segundo Monitoreo

El primero monitoreo se realizó el día 5 de mayo del año 2021 a las 2:00 pm con un caudal de 99,40 l/s. Los valores obtenidos en el cálculo de la Cc de cada punto de muestreo se muestran la siguiente tabla.

Tabla 12

Resultados de carga contaminante en los puntos de muestreos realizado el 5 de mayo del 2021.

	Afluente	**Tanque de aireación**	**Filtro biológico**	**Efluente**
Cc DQO (kg/dia)	6484,06	3873,26	3040,21	2713,86

Fuente. Autor del proyecto.

Calculo de eficiencia entre procesos:

Afluente – Tanque De Aireación

$$\%\boldsymbol{E} = \frac{(\boldsymbol{Carga\ inicial})-(\boldsymbol{carga\ final})}{(\boldsymbol{carga\ incial})}\boldsymbol{x\ 100}$$

$$\%E = \frac{6484{,}06-3873{,}26}{6484{,}06}\,x\ 100 = \mathbf{40{,}26\ \%}$$

Tanque de aireación – filtro biológico

$$\%\boldsymbol{E} = \frac{(\boldsymbol{Carga\ inicial})-(\boldsymbol{carga\ final})}{(\boldsymbol{carga\ incial})}\boldsymbol{x\ 100}$$

$$\%E = \frac{3873{,}26-3040{,}21}{3873{,}26}\,x\ 100 = \mathbf{21{,}51\ \%}$$

Filtro Biológico - Efluente

$$\%\boldsymbol{E} = \frac{(\boldsymbol{Carga\ inicial}) - (\boldsymbol{carga\ final})}{(\boldsymbol{carga\ incial})}\boldsymbol{x\ 100}$$

$$\%E = \frac{3040{,}21 - 2713{,}86}{3040{,}21} x\ 100 = \mathbf{10{,}73}\%$$

Se calcula la eficiencia del tratamiento en general realizado en la planta de tratamiento de aguas residuales de Aguachica.

$$\%E = \frac{6484{,}06 - 2713{,}86}{6484{,}06} x\ 100 = \mathbf{58{,}14\ \%}$$

Tercer Monitoreo

El primero monitoreo se realizó el día 24 de mayo del año 2021 a las 9:00 am con un caudal de 88,80 l/s. Los valores obtenidos en los cálculos de Cc de cada punto de muestreo se muestran la siguiente tabla.

Tabla 13

Resultados de carga contaminante en los puntos de muestreos realizado el 24 de mayo del 2021.

	Afluente	**Tanque de Homogenización**	**Tanque de aireación**	**Filtro biológico**	**Efluente**
Cc DQO (kg/dia)	4534,34	3406,51	2071,52	1941,10	1649,55

Fuente. Autor del proyecto.

Primero se calcula la eficiencia entre procesos:

Afluente – Tanque de homogenización

$$\%\boldsymbol{E} = \frac{(\boldsymbol{Carga\ inicial}) - (\boldsymbol{carga\ final})}{(\boldsymbol{carga\ incial})}\boldsymbol{x\ 100}$$

T. de homogenización – T. aireación

$$\%\boldsymbol{E} = \frac{(\boldsymbol{Carga\ inicial}) - (\boldsymbol{carga\ final})}{(\boldsymbol{carga\ incial})}\boldsymbol{x\ 100}$$

$$\%E = \frac{4534{,}34-3406{,}51}{4534{,}34} x\ 100 = \mathbf{24{,}87\ \%}$$

$$\%E = \frac{3406{,}51-2071{,}52}{3406{,}51} x\ 100 = \mathbf{39{,}18\ \%}$$

Tanque de aireación – filtro biológico

$$\%\boldsymbol{E} = \frac{(\boldsymbol{Carga\ inicial})-(\boldsymbol{carga\ final})}{(\boldsymbol{carga\ incial})} \boldsymbol{x\ 100}$$

$$\%E = \frac{2071{,}52-1941{,}10}{2071{,}52} x\ 100 = \mathbf{6{,}29}\%$$

Filtro Biológico – Efluente

$$\%\boldsymbol{E} = \frac{(\boldsymbol{Carga\ inicial})-(\boldsymbol{carga\ final})}{(\boldsymbol{carga\ incial})} \boldsymbol{x\ 100}$$

$$\%E = \frac{1941{,}10-1649{,}55}{1941{,}10} x\ 100 = \mathbf{15{,}1\ \%}$$

Se calcula la eficiencia del tratamiento en general realizado en la planta de tratamiento de aguas residuales de Aguachica.

$$\%E = \frac{4534{,}34-1649{,}55}{4534{,}34} x\ 100 = \mathbf{63{,}62\ \%}$$

Cuarto Monitoreo

El primero monitoreo se realizó el día 9 de Junio del año 2021 a las 2:00 pm con un caudal de 121,80 l/s. Los valores obtenidos en el cálculo de Cc de cada punto de muestreo se muestran la siguiente tabla.

Tabla 14

Resultados de carga contaminante en los puntos de muestreos realizado el 9 de Junio del 2021.

	Afluente	**Tanque de aireación**	**Filtro biológico**	**Efluente**
Cc DQO (kg/dia)	5724,79	2799,26	2283,60	2146,80

Fuente. Autor del proyecto.

Cálculos de la eficiencia entre procesos:

Afluente – Tanque De Aireación

$$\%\boldsymbol{E} = \frac{(\boldsymbol{Carga\ inicial})-(\boldsymbol{carga\ final})}{(\boldsymbol{carga\ incial})}\boldsymbol{x\ 100}$$

$$\%E = \frac{5724{,}79-2799{,}26}{5724{,}79}\ x\ 100 = \mathbf{51{,}10\ \%}$$

Tanque de aireación – filtro biológico

$$\%\boldsymbol{E} = \frac{(\boldsymbol{Carga\ inicial})-(\boldsymbol{carga\ final})}{(\boldsymbol{carga\ incial})}\boldsymbol{x\ 100}$$

$$\%E = \frac{2799{,}26-2283{,}60}{2799{,}26}\ x\ 100 = \mathbf{18{,}42\ \%}$$

Filtro Biológico – Efluente

$$\%\boldsymbol{E} = \frac{(\boldsymbol{Carga\ inicial})-(\boldsymbol{carga\ final})}{(\boldsymbol{carga\ incial})}\boldsymbol{x\ 100}$$

$$\%E = \frac{2283{,}60 - 2146{,}80}{2283{,}60}\ x\ 100 = \mathbf{5{,}99}\%$$

Se calcula la eficiencia del tratamiento en general realizado en la planta de tratamiento de aguas residuales de Aguachica, es decir, Afluente - efluente.

$$\%E = \frac{5724{,}79-2146{,}80}{5724{,}79}\ x\ 100 = \mathbf{62{,}5\ \%}$$

Quinto Monitoreo

El primero monitoreo se realizó el día 12 de Julio del año 2021 a las 8:00 am con un caudal 158,20 LPS. Los valores obtenidos en los cálculos de Cc en cada punto de muestreo se muestran la siguiente tabla.

Tabla 15

Resultados de carga contaminante de los puntos de muestreos realizado el 9 de Julio del 2021.

	Afluente	**Tanque de aireación**	**Filtro biológico**	**Efluente**
Cc DQO (kg/día)	4387,58	3089,08	2268,97	2022,93

Fuente. Autor del proyecto.

Se calcula la eficiencia entre procesos:

Afluente – Tanque De Aireación

$$\%\boldsymbol{E} = \frac{(\boldsymbol{Carga\ inicial})-(\boldsymbol{carga\ final})}{(\boldsymbol{carga\ incial})}\boldsymbol{x\ 100}$$

$$\%E = \frac{4387{,}58\ \frac{mg}{l} - 3089{,}08\ \frac{mg}{l}}{4387{,}58\ \frac{mg}{l}} x\ 100 = \mathbf{29{,}6\ \%}$$

Tanque de aireación – filtro biológico

$$\%\boldsymbol{E} = \frac{(\boldsymbol{Carga\ inicial})-(\boldsymbol{carga\ final})}{(\boldsymbol{carga\ incial})}\boldsymbol{x\ 100}$$

$$\%E = \frac{3089{,}08\ \frac{mg}{l} - 2268{,}97\ \frac{mg}{l}}{3089{,}08\ \frac{mg}{l}} x\ 100 = \mathbf{26{,}55\%}$$

Filtro Biológico - Efluente

$$\%E = \frac{(DQO\ inicial)-(DQO\ final)}{(DQO\ incial)} x\ 100$$

$$\%E = \frac{2268{,}97\ \frac{mg}{l} - 2022{,}93\ \frac{mg}{l}}{2268{,}97\ \frac{mg}{l}} x\ 100 = \mathbf{10{,}84\%}$$

La eficiencia del tratamiento en general realizado en la planta de tratamiento de aguas residuales de Aguachica en este día.

$$\%E = \frac{4387{,}58\ \frac{mg}{l} - 2022{,}93\ \frac{mg}{l}}{2022{,}93\ \frac{mg}{l}} x\ 100 = \mathbf{53{,}89\%\%}$$

A continuación se presenta una tabla resumen de los resultados obtenidos en la eficiencia de los procesos y de la planta en cada monitoreo.

Tabla 16

Resultados obtenidos en los cálculos de eficiencia en la PTAR vía puerto mosquito Aguachica.

	%E Afluente - T.Homog	%E T. Homog- T.A.	%E Afluente - T.A	%E T.A - Filtro Biológico	%E de filtro biológico a Efluente	%E Afluente - Efluente
Monitoreo 1	X	X	42,93	24,06	0,62	56,93
Monitoreo 2	X	X	40,26	21,51	10,73	58,14

Monitoreo 3	24,87	39,18	X	6,29	15,1	63,62
Monitoreo 4	X	X	51,10	18,42	5,99	62,5
Monitoreo 5	X	X	29,6	26,55	10,84	53,89

Fuente: Autor del proyecto.

Se presenta una continuación una gráfica donde se representa la eficiencia en la planta por tratamiento realizado, es decir tratamiento preliminar, primario y secundario.

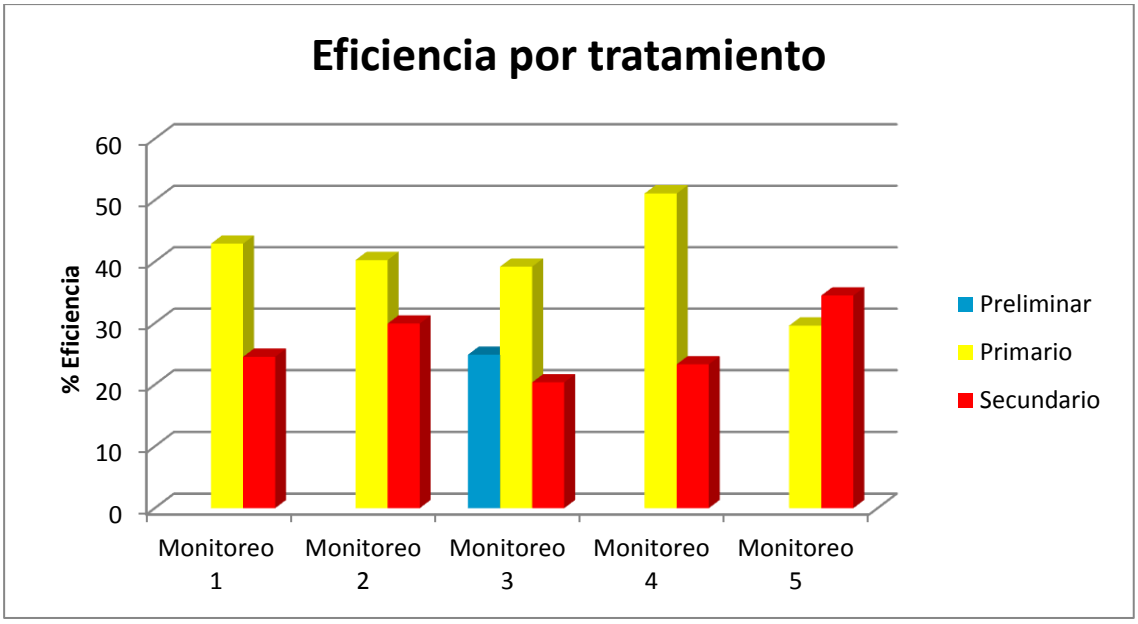


*Figura 12.*Eficiencia por tratamiento (preliminar, primario, secundario) en la PTAR. Fuente. Autor del proyecto.

Si se compara la eficiencia de los tratamientos realizados en la PTAR, se observa que desde el afluente hasta el tratamiento primario (cribado, desarenador, homogenización y sedimentación primaria), se reduce entre un 40% a 50% de DQO o carga contaminante, lo que se podría considerar significativo el aporte del tratamiento primario en el proceso de descontaminación del agua residual. Además eta reducción del tratamiento primario cumple con la eficiencia mínima para DQO exigida por la resolución 0330 del 2017.

Esta reducción se debe a que en los procesos se elimina material de gran tamaño y sólidos. En el caso de los sedimentadores primarios con ayuda de los filtros de alta tasa se disminuye la concentración de solidos suspendidos y DBO_5. Por lo tanto, este dato refleja que la mayor parte de la concentración de la DQO se debe a materia biodegradable por lo que los valores de DBO_5 deben representar la mayor fracción del valor de la DQO.

Si se continúa con el análisis de la gráfica, en el tratamiento secundario la eficiencia del tratamiento disminuye y se mantiene así hasta el final del proceso. De acuerdo con autores como Jaramillo Gallego, Agudelo Cadavid, & Peñuela Mesa, (2016) expresa que "La concentración de dqo disminuyó con el tratamiento primario (Precipitación y oxidación química) y favoreció la eficiencia del sistema de tratamiento secundario". Pero en el caso de la planta de tratamiento de Aguachica ocurre lo contrario la eficiencia del tratamiento secundario no aumenta y es baja en comparación del tratamiento primario. Esta baja reducción de DQO en el tratamiento secundario demuestra que el filtro biológico o filtro percolador no está funcionando correctamente, por saturación de sedimentos, sobrecarga de biomasa, disminución de actividad bacteriana por baja concentración de oxígeno disuelto en el filtro, entre otros factores.

A continuación se compara la eficiencia del tratamiento con lo definido en la resolución 0330 del 2017, en el artículo 184 donde se especifica los rangos de eficiencia en cada unidad del tratamiento:

Tabla 17

Comparación de la eficiencia del tratamiento por unidad con la Resolución 0330 del 2017.

	Unidad de tratamiento	Eficiencia (DQO)	Eficiencia mínima de remoción DQO (%) resolución 0330/2017
Pretratamiento	Cribado	N.R.	0-10
	Desarenadores	25	0-5
Tratamiento primario	Sedimentación primaria	39	30-40
Tratamiento secundario	Filtros percoladores de alta tasa, plástico.	22	60-80

Fuente. Autor del proyecto.

Como se observa en la tabla todos los procesos cumplen con lo exigido por la resolución 0330 del 2017 en cuanto a la eficiencia en remoción de DQO, a excepción del tratamiento secundario. Esta información respalda lo mencionado anteriormente, en que la eficiencia del filtro es deficiente en comparación de la norma y del tratamiento primario, lo cual afecta significativamente la remoción de la carga contaminante y conllevando al incumplimiento de la norma, la resolución 0631 del 2015.

Teniendo en cuenta las inspecciones visuales realizadas en los procesos, en especial el filtro percolador, se puede identificar gran cantidad de material acumulado (lodo, vegetación, residuos sólidos, etc.) en la superficie del tanque. Con base en esto se puede deducir que el filtro se encuentra sobresaturado de material que pasa a través de las rejillas y de los demás procesos llegando al tanque de filtro biológico, generando condiciones que afectan el correcto funcionamiento del filtro percolador.

El sistema de tratamiento en general, es decir afluente – efluente, no supera el 60 % de la eficiencia, por lo que se considera necesario implementar acciones para mejorar el desempeño del tratamiento, centrándose específicamente en aquellos procesos que no tiene un buen rendimiento y afectan significativamente la remoción de carga contaminante durante el tratamiento en la PTAR, generando el incumplimiento de la normatividad y el alto costo de tasa retributiva.

Comportamiento del O.D.

El Oxígeno disuelto u O.D. es un indicador de la calidad del agua, entre más bajo sea su valor mayor es la cantidad de materia orgánica presente en esta. De acuerdo Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM, (2013) para la subsistencia de especies como los peces las concentraciones de O.D. deben ser superiores a 4 mg/l. En el caso de las aguas residuales, el valor de oxígeno disuelto es bajo por la demanda de oxigeno que se requiere para degradar la materia orgánica.

A continuación, se presentan dos graficas de las mediciones de oxigeno realizadas por los laboratorios certificados Nancy florez y Segima, durante los muestreos semestrales que realiza la empresa. La primera figura representa las mediciones tomadas en el mes de diciembre del año 2020 y la segunda las mediciones de O.D. realizadas en el mes de julio del presente año.

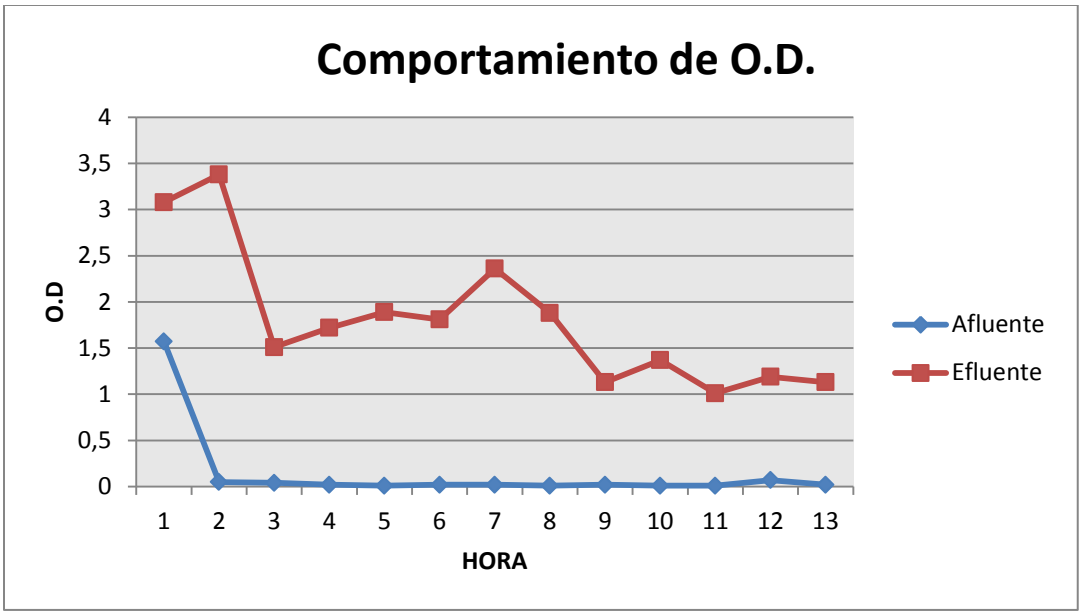


*Figura 13.*Mediciones de oxígeno disuelto en el afluente y efluente realizados por el Laboratorio Nancy flores en diciembre del año 2020.Fuente. Autor del proyecto.

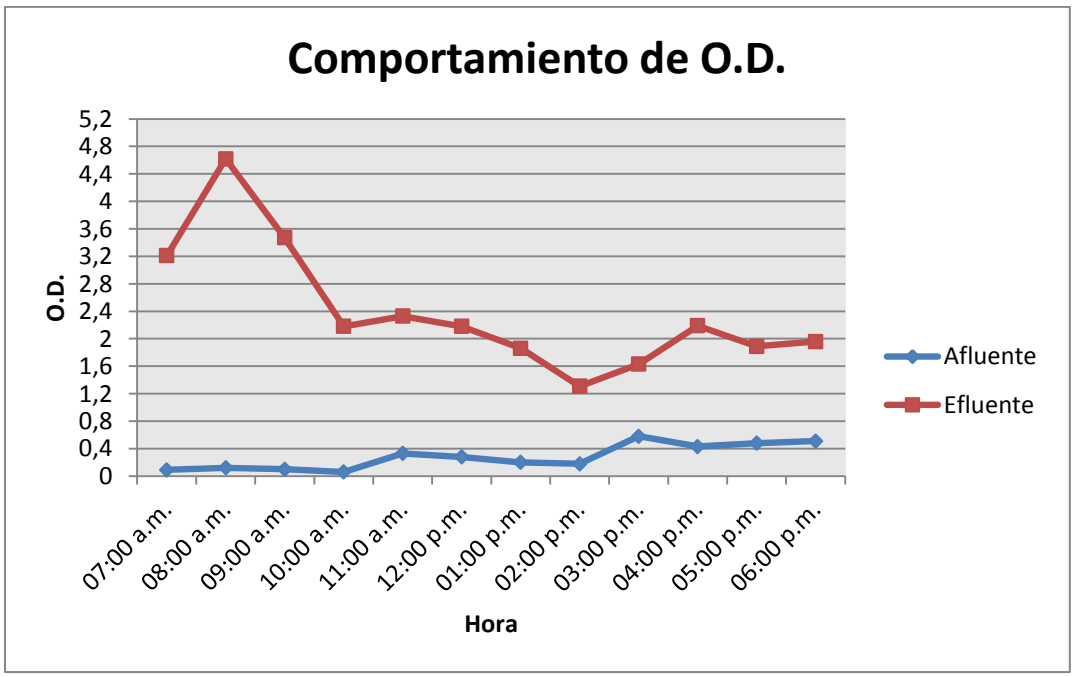


Figura 14. Mediciones de oxígeno disuelto en el afluente y efluente realizados por el laboratorio SEGIMA en el mes de julio del año 2021. Fuente. Autor del proyecto.

La normatividad ambiental de Colombia, no exige el O.D. como un parámetro a analizar en los vertimientos y tampoco menciona un valor límite permisible en sus artículos, pero se toma como parámetro de referencia en la determinación de la calidad del agua.

Sin embargo si se analizan los valores de oxígeno disuelto en la gráfica, el agua residual que ingresa a la PTAR son muy bajos, están por debajo de 1 mg/l, este valor refleja que el agua contiene una alta carga de materia orgánica. Algunos autores como Gualdrón Durán,(2016) afirma que ademas de la reduccion de O.D. por alta carga organica, se genera un aumento en la concentración de nutrientes inorgánicos, como el amonio y el fosfato. También Lopez Vazquez , Buitrón , García Delgado, & Cervantes , (2018) afirma que "las concentraciones muy bajas de oxígeno disuelto en el agua impactan negativamente la eficiencia de la remoción de nitrógeno y favorecen el desarrollo de lodos de baja sedimentabilidad". De acuerdo con lo anterior, es importante que dentro del tratamiento se realicen procesos que ayuden a aumentar el oxígeno disuelto en el agua.

La PTAR cuenta con un sistema de aireación por medio de aireadores de burbuja fina que permite aumentar las concentraciones de O.D., además las estructuras de los tanques cuentan con caídas de agua que permiten la aireación de la misma. Lo anterior se ve reflejado en la gráfica, donde se observa que el efluente presenta concentraciones de oxígeno disuelto de 2- 4 mg/l lo cual es apto para el desarrollo de especies de fauna y flora en el agua.

3.2. Establecer indicadores de eficiencia en las operaciones unitarias realizas en la PTAR vía puerto mosquito del municipio de Aguachica- Cesar.

3.2.1. Revisión de la información obtenida en los análisis de DQO y comportamiento de O.D en las operaciones unitarias.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los análisis de los parámetros de DQO, oxígeno disuelto, temperatura y conductividad, así como las inspecciones visuales realizadas en la planta de tratamiento de aguas residuales vía puerto mosquito del municipio de Aguachica y la normatividad ambiental relacionada a las aguas residuales, se definen indicadores de eficiencia en las operaciones unitarias de la planta.

Estos indicadores son importantes porque permiten medir de forma cuantitativa el desempeño de un proceso y de esta forma realizar acciones correctivas para mejorar la eficiencia en las tareas o procesos ejecutados.

3.2.2. Definir indicadores de eficiencia en las operaciones unitarias de la PTAR.

Los indicadores de eficiencia en los procesos unitarios de la PTAR, se organizan por aspectos: personal operativo, equipos, mantenimiento de estructuras, calidad del agua residual y tratamientos (preliminar, primario y secundario. Los indicadores definidos se describen en la siguiente tabla:

Tabla 18

Indicadores De Eficiencia en las operaciones unitarias de la PTAR.

Indicadores de eficiencia				
Aspectos		**Nombre del Indicador**	**valor del indicador**	
Personal Operativo		Personal requerido para el funcionamiento del sistema	(# de trabajadores y/o profesionales requeridos /# trabajadores y/o profesionales disponibles)*100	
		Personal certificado en competencias laborales	(# de trabajadores certificados requeridos /# trabajadores certificados disponibles)*100	
Equipos	**Bombeo**	Numero de bombas de 10 hp por cada estructura para el óptimo funcionamiento	(# bombas instaladas por estructura/#bombas en operación)*100	
		Mantenimiento preventivo a equipos de bombeo	(mantenimientos realizados / mantenimientos programados) *100	
	agitadores	% operación de motores de agitación	(# motores de agitación funcionando /# de motores) *100	
		Mantenimiento preventivo a equipos de agitación	(mantenimientos realizados / mantenimientos programados) *100	
	Aireadores	% operación de motores de aireación	(# motores de aireación funcionando /# de motores) *100	
		Mantenimiento preventivo a equipos de aireación	(mantenimientos realizados / mantenimientos programados) *100	
mantenimiento de estructuras		dragados por estructuras por semana	(# dragados realizados por estructura a la semana / # dragados programados)*100	
		Frecuencia de limpieza de tanques y rejillas al día	(# limpiezas realizadas al día/ #limpiezas mínimas al día)*100	
		Numero de mantenimiento del desarenador por mes	(mantenimientos realizados al mes / mantenimientos programados) *100	
		Numero de mantenimiento de cunetas y rebosaderos de los tanques por mes	(mantenimientos realizados al mes / mantenimientos programados) *100	
calidad del agua residual en cumplimiento de la normatividad vigente		Temperatura	T° < 40 °C	
		SST	90 mg/l	
		Demanda Química de Oxigeno	180 mg/l	
		Demanda Biológica de Oxigeno	90 mg/l	
tratamiento preliminar		% eficiencia para remoción de DQO de cribado	(DQO entrada- DQO Salida/DQO entrada) *100	0-10%
		% eficiencia para remoción de DQO desarenador	(DQO entrada- DQO Salida/DQO entrada) *100	0-5%
Tratamiento primario		% eficiencia para remoción DQO de sedimentación primaria	(DQO entrada- DQO Salida/DQO entrada) *100	30-40%
Tratamiento secundario		% eficiencia para remoción de DQO del filtro percolador de alta tasa, plástico	(DQO entrada- DQO Salida/DQO entrada) *100	60-80%

Fuente. Autor del proyecto.

3.3. Proponer alternativas para mejorar la eficiencia en las operaciones unitarias de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) vía puerto mosquito del municipio de Aguachica-Cesar.

3.3.1. Revisión y análisis de los datos obtenidos en los cálculos de remoción de DQO y comportamiento de O.D

Con los resultados obtenidos en la eficiencia de los procesos y el comportamiento del oxígeno disuelto en la planta de tratamiento de aguas residuales vía puerto mosquito del municipio de Aguachica, se puede deducir que es necesario implementar acciones de mejorar en los procesos que ayuden a la reducción de la carga contaminante del efluente de la PTAR y a su vez el de la fuente hídrica el caño el Cristo.

Lo anterior, se basa en que el Decreto 1076 del 2016, artículo 2.2.3.3.9.14 exige que la remoción de carga contaminante sea de 80 % para los parámetros de DBO5 y SST; aunque estos parámetros no se midieron en las monitoreos, se puede tomar como referencia el porcentaje de remoción para el parámetro de DQO. En la planta de tratamiento la remoción de carga contaminante está en un rango del 50%- 60% y si se compara con la norma no se está cumpliendo y esto significa tarifas altas en el pago de la tasa retributiva.

Además de los análisis realizados en el laboratorio, también se cuenta con la información de los resultados analizados de los parámetros exigidos por la resolución 0631 del 2015 analizados por el laboratorio certificado y las inspecciones realizadas en campo dentro de la planta, permiten comprender mejor el estado de las estructuras y aspectos a mejorar en los procesos para una mayor eficiencia del proceso de tratamiento.

3.3.2. Plantear alternativas para mejorar la eficiencia en las operaciones unitarias de la PTAR.

La planta de tratamiento de aguas residuales cuenta con los procesos necesarios y adecuados para el tratamiento de las aguas residuales del municipio de Aguachica. Considerando la infraestructura presente en la planta, la disponibilidad de recurso económicos, el espacio donde se ubica la planta y los resultados obtenidos en los análisis de las muestras y cálculos de remoción se presentan las siguientes alternativas o acciones para mejorar la eficiencia de operaciones unitarias como cribado, sedimentador primario y filtro biológico de la PTAR:

Rejilla de cribado

La rejilla de cribado es una estructura que tiene como función la retención de materiales gruesos, para evitar daños de equipos u obstrucción en otros procesos. La PTAR vía puerto mosquito cuenta con una rejilla móvil de acero inoxidable, que tiene medidas de 1,50 m x 1,80m y una separación entre barrotes de 5 cm (rejilla gruesa). Anteriormente, se contaba con otra rejilla o tamiz con un diámetro 12 mm que se utilizaba en eventos de lluvias, pero se encuentra fuera de servicio por daño en el marco de la rejilla.



Figura 15. Rejilla de cribado (izquierda), tamiz deteriorado (derecha). Fuente. Autor del proyecto.

Con las inspecciones realizadas en campo, se aprecia que en la rejilla se retiene solo material de gran tamaño o que logra quedar envuelto en los barra de la estructura (trapos, bolsas grandes, pelotas, juguetes de gran tamaño, ramas etc.). Sin embargo los residuos de un tamaño mediano o pequeño (sobres de shampoo, condones, tapas, juguetes pequeños etc.) logran pasar y llegar hasta los siguientes procesos, lo que genera obstrucciones en las bombas de 10 hp cuando se realiza dragados y posibles daños en los equipos de agitación o aireación.



Figura 16. Obstrucción de bomba de 10 hp por residuos durante el dragado de lodos del tanque de sedimentación 1. Fuente: autor del proyecto.

Se plantea como alternativa para solucionar esta problemática, realizar una nueva rejilla en donde la separación entre barrotes permita que estos encajen en los espacios de la

rejilla vieja cundo se sobrepone sobre la otra rejilla (figura 17). Esta nueva rejilla se deberá realizar en material de acero inoxidable para que resista las condiciones del agua residual y debe ser móvil para su respectiva limpieza de forma manual.

Lo que se busca con esta alternativa es reducir el espacio entre barrotes, aproximadamente quedarían de 1. 5 cm, lo que obtendría una rejilla fina, reduciendo el ingreso de residuos grandes y pequeños a los demás procesos. Estas medidas cumple con lo exigido por la resolución 0330 del 2017 el cual especifica que el espaciamiento entre las barras de la rejilla va desde 1 cm a menores de 2 cm.

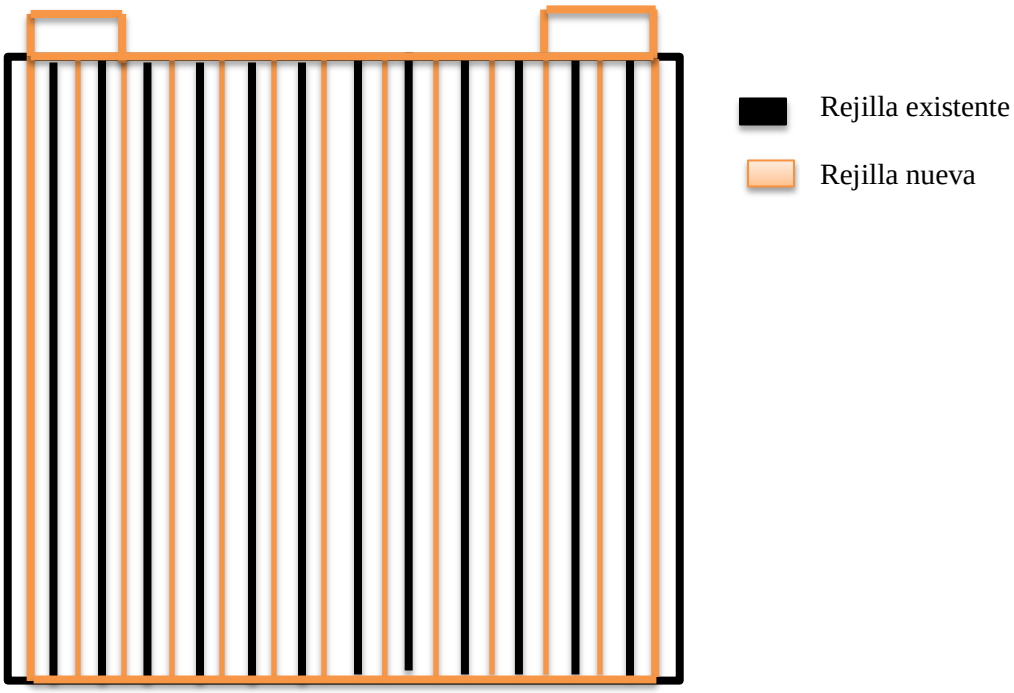


Figura 17. Diseño de rejilla nueva. Fuente. Autor del proyecto.

Sedimentador primario

Los filtros de alta tasa tipo colmena utilizados en los sedimentadores primarios, remueven parte de la carga contaminante, esto se analiza en los resultaos obtenidos en los cálculos de eficiencia donde se remueve el 39% de la DQO y cumple con la eficiencia mínima exigida por la resolución 0330 del 2017.

Sin embargo, en las inspecciones de campo se observa material flotante y algunas veces filtros de alta tasa en la superficie de los tanques. La razón de estos sucesos, se debe a que cuando se instalaron los filtros, se colocaron cuerdas aceradas que impidieran que los filtros flotaran, pero con el tiempo estas cuerdas se sulfataron y se soltaron, lo que provoca que algunos filtros se eleven a la superficie. Además, en una de los tanques una de las estructuras de soporte de los filtros se fracturo, por lo que los filtros no están funcionando al 100%, esto hace que se afecte el proceso de sedimentación y conlleve a la disminución de la eficiencia en el proceso y a su vez esto afectara los tratamientos siguientes como el filtro biológico.



Figura 18. Operario realizando el retiro de filtros que se encontraban flotando en el tanque de sedimentación primario (izquierda), filtros sujetos con cuerdas aceradas (derecha). Fuente: Autor del proyecto.

Como alternativa a este problema, se plantea colocar regletas en PRFV (polietileno reforzado con fibra de vidrio) en la superficie de los filtros de alta tasa. Estas regletas se ubican en la misma dirección en la que se encuentran la estructura de soporte de los filtros y se atornillan para mayor fijación e impedir que los filtros floten.

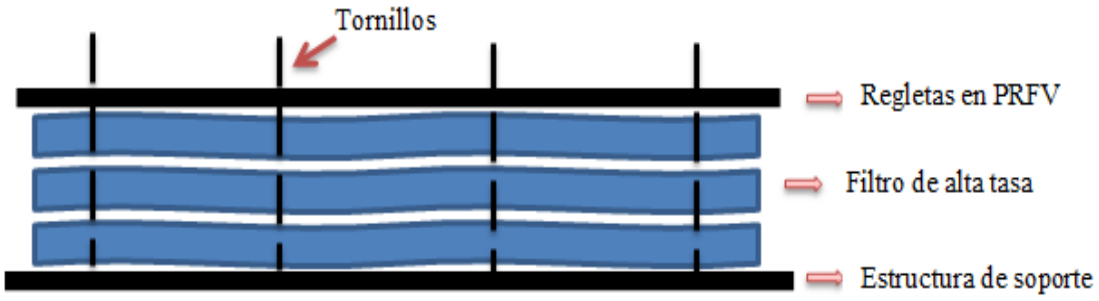


Figura 19.Esquema de fijación de los filtros de alta tasa. Fuente: Autor del proyecto.

Si se cumple el tiempo de retención hidráulica necesario (mínimo 1 hora) y los filtros funcionan correctamente, se pude lograr mayor retención de sólidos y lograr clarificar el agua residual; condiciones necesarias para evitar obstrucciones en los procesos siguientes y ayudar a mejorar la eficiencia de tratamientos secundarios.



Figura 20. Sistema antiflotación de filtro de alta tasa. Fuente: TecnoConverting Engineering, (s.f.).

También es necesario que se realice la limpieza del material flotante en la superficie tan frecuente como sea posible, pues las natas formadas generan mal olor y además pueden pasar a los otros tanques ocasionando obstrucciones. Otra alternativa que puede ayudar a la sedimentación es la aplicación de catalizadores biorganicos que ayudan al proceso de coagulación y reducción de SST.

Filtro Biológico- filtro percolador.

Los filtros percoladores que comúnmente se ven en los tratamientos de agua residuales, consiste en que el agua residual pretratada ingresa por medio de aspersores giratorios sobre el filtro que contiene medio de soporte (roca o plástico-rosetones) para las bacterias (flujo descendente), permitiendo entrar en contacto el agua con los microorganismos para degradar la materia orgánica presente en el agua, en condiciones aerobias. Sin embargo, en la PTAR este filtro biológico funciona de forma contraria, el agua tiene un flujo ascendente y por rebose pasa a cunetas que conducen el agua hasta el tanque de sedimentación secundaria.

La remoción de carga contaminante en el filtro biológico de la PTAR vía puerto mosquito es baja, de acuerdo con los resultados obtenidos la eficiencia en remoción de DQO es de un 22% aproximadamente, cuando norma exige una remoción mínima de 60% - 80%. Además de los análisis, durante las revisiones y seguimiento del estado de los procesos, se observa que el tanque de filtro biológico presenta una alta acumulación de material y residuos al punto que no se ve agua residual. Estas condiciones solo se presentan en la mitad del tanque (parte superior), la otra mitad se ve el desbordamiento del agua y solo se observa lama de coloración verde en algunas partes de la superficie del tanque.

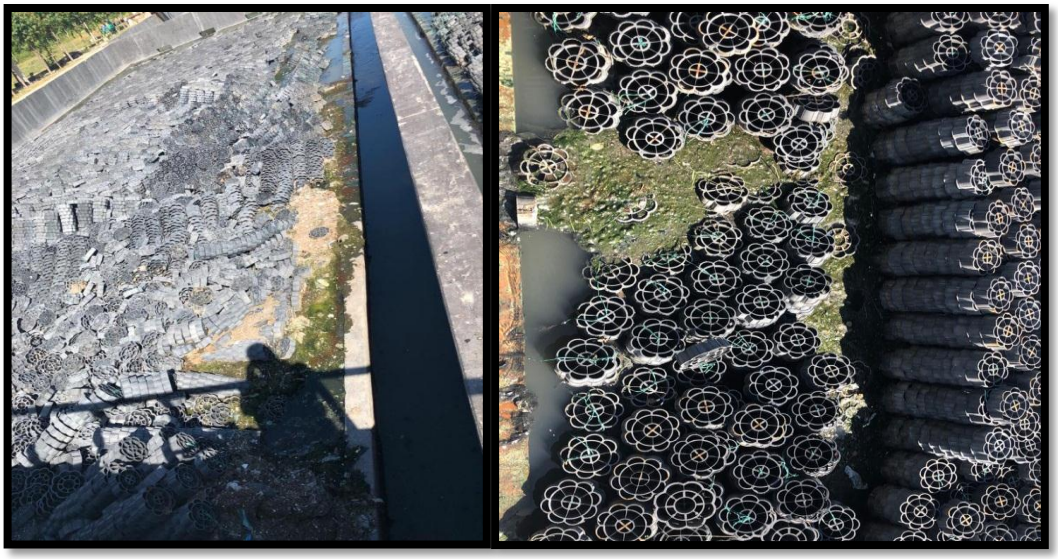


Figura 21. Acumulación de material en la parte superior del tanque (izquierda), lama en la parte inferior del tanque (derecha). Fuente: Autor del proyecto.

Esta acumulación de material y residuos se presenta por los problemas que se presentan en la rejilla, que no retiene residuos pequeños y medianos; además el sedimentador primario no es completamente eficiente, generando que los sólidos pasen a las otras estructuras y genera atascamientos, que producen zonas anaerobias dentro del filtro.

Como una alternativa viable y económica para remediar la deficiencia del tratamiento secundario, se plantea dragar el tanque completamente para eliminar todo el material que afecta el proceso biológico. Para esto se realizara los siguientes pasos:

- Retirar los rosetones hasta la mitad del tanque (parte superior) y organizarlos nuevamente en módulos.
- Remover el material acumulado con ayuda de herramientas como palas y coladores

- Dragar el tanque con la bomba de 25 hp para eliminar todo los sólidos y material que causan obstrucción en el tanque.
- Realizar inoculación de bacterias.

Teniendo en cuanta que al dragar el tanque se pierde la biopelicula que se encontraba en los rosetones, es necesario realizar una nueva inoculación de bacterias. Esta inoculación se puede realizaría de la misma forma en que se realizó al inicio de funcionamiento de la planta. Para esta inoculación se aplicó: micronutrientes y tecnobio, estos productos se aplican durante 6 días consecutivos de la siguiente forma:

Tabla 19

Dosificación de productos químicos tecnobio y micronutrientes.

Día	Sitio De Aplicación	Producto	Cantidad	Dosis
1-3	Estructura de entrada	Micronutrientes	20 kg	Diaria
	Tanque de aireación	Tecnobio	28 kg	Diaria
4-6	Canal de entrada	Micronutriente	3.5 kg	diaria

Fuente. Manual de puesta marcha de la PTAR vía puerto mosquito.

Algo importante a tener en cuenta antes de realizar el dragado y limpieza del filtro percolador, es que en las estructuras anteriores se debe realizar mantenimientos y correcciones planteadas en este documento porque de lo contrario el problema persistiría.

Recomendaciones para mejorar la eficiencia de la PTAR vía puerto mosquito

Como recomendaciones generales para mejorar la eficiencia en los procesos de la PTAR y alcanzar una mayor remoción de carga contaminante se definen las siguientes acciones:

- Realizar mantenimiento de los desarenadores y rebosaderos de los tanques cada 10 días para evitar colmatación de las estructuras, que pueden afectar a los procesos unitarios siguientes.
- Dragar los tanques en el orden en que se realiza el proceso, esta acción debe ser diaria (tanque por día) para evitar acumulación de lodos y evitar la saturación del sistema. a excepción del filtro biológico.
- Limpiar 3 veces al día las natas que se forma en los tanques de homogenización, sedimentación primaria, y aireación que puedan causar mal olor y obstrucciones en los equipos y/o motores.
- Limpiar las rejillas de cribado 3 a 4 veces al día, según lo requiera, para reducir la probabilidad de paso de residuos hacia las estructuras siguientes.
- Realizar mantenimiento de motores de agitación, aireadores y bombas semestralmente para asegurar el correcto funcionamiento de estos equipos que son de vital importancia para la eficiencia del tratamiento.
- Instalación de paneles solares como fuente de energía alterna para el funcionamiento constante de los aireadores. Debido a que el trasformador de la planta de tratamiento no cuenta con la suficiente capacidad para soportar la el encendido de los motores de agitación y los aireadores, esto se operan de forma alternada. Como alternativa a esta problemática se plantea instalar paneles solares como fuente de energía para el funcionamiento de lo aireadores y los agitadores con la energía eléctrica. De esta forma se realiza los procesos de forma contante y se mejorar la eficiencia en el proceso de tratamiento.

Capítulo 4. Diagnóstico final

La empresa de servicios públicos de Aguachica E.S.P. es una empresa con responsabilidad social y comprometida con el medio ambiente, que desde la dependencia de proceso de gestión ambiental y tratamiento de aguas residuales, busca reducir el impacto ambiental dentro del desarrollo de sus actividades, cumplir con la normatividad ambiental y mejorar la calidad de vida de sus usuarios.

Por esta razón, en la dependencia asignada se llevó a cabo el presente trabajo que tiene como título "Evaluación De La Eficiencia En Las Operaciones Unitarias Realizadas En La Planta De Tratamiento De Aguas Residuales (PTAR) Vía Puerto Mosquito Del Municipio De Aguachica-Cesar" con la finalidad de conocer la eficiencia en el tratamiento realizado en la planta que vierte su efluente hacia la fuente hídrica el caño el Cristo, recurso utilizado por la población aledaña para uso agropecuario.

Esta evaluación es importante porque le aporta a la empresa datos e información actual de calidad del agua y la eficiencia en los procesos unitarios de la PTAR. Información relevante para identificar que procesos son los que se deben mejorar para cumplir con los valores límites permisibles exigidos por la resolución 0631 del 2015. Además con este trabajo se proponen soluciones viables, económicas y fácil ejecución, que permiten mejorar la eficiencia en la remoción de carga contaminante que implica a su vez un beneficio económico para la empresa porque reduce el costo de la tasa retributiva y ambiental en la reducción del impacto en el recurso hídrico.

También en el desarrollo de esta pasantía, se desarrollaron otras actividades, que contribuyen a el correcto funcionamiento y mantenimiento de la planta como:

programación de actividades diarias, registro de caudales diarios y mensuales en EXCEL, actualizaciones de los planes de emergencia y contingencia del servicio de acueducto y alcantarillado, programación de mantenimientos en las estructuras e implementar la alternativa propuesta para el mantenimiento del filtro biológico, como un proceso importante para alcanzar la eficiencia adecuada de la planta de tratamiento de aguas residuales, que le permitirá a la empresa de servicios públicos de Aguachica cumplir plenamente con su objetivo de ser una empresa responsable con el ambiente.

Capítulo 5. Conclusiones

La planta de tratamiento de aguas residuales vía puerto mosquito, hace parte de ese pequeño porcentaje de municipios en Colombia que cuenta con procesos que permiten realizar hasta un tratamiento secundario de las aguas residuales domésticas municipales. Por tal motivo, para mantener el correcto funcionamiento de la PTAR vía puerto mosquito, es indispensable realizar la continua evaluación y seguimiento de las operaciones y procesos del sistema, que permiten identificar a tiempo falencias que afectan el rendimiento del sistema en general.

Con respecto al primer objetivo, en cuanto al análisis de los porcentajes de remoción de DQO y comportamiento del oxígeno disuelto en los procesos unitarios, se puede apreciar que el proceso de aireación por burbuja fina y el diseño de estructuras de la planta (caídas de aguas), permiten aumentar el oxígeno disuelto en el agua residual pasando de valores de menor de 1 mg/l a 3mg/l, inclusive en algunos casos se llega a los 4 mg/l en el efluente, esto significa que el tratamiento se reduce la carga orgánica. Sin embargo, al analizar el parámetro de DQO y calcular los porcentajes de eficiencia se concluye que la eficiencia de la planta no superan el 60% y que el proceso de filtro biológico presenta un rendimiento bajo, aproximadamente 22 %, lo explica el por qué la PTAR no alcanza porcentajes de eficiencia adecuados para el vertimiento en fuentes hídricas.

Para la definición de indicadores se consideró importante lo analizado en el objetivo anterior, por lo tanto se consideraron los siguientes componentes generales en la determinación de los indicadores para evaluar el desempeño de la planta: el personal que opera la planta, los equipos como motores y bombas (de 10 hp, de 25 hp y la sumergible)

con su respectivo mantenimiento, los parámetros que se pueden medir en el laboratorio de la PTAR y los valores permisibles exigidos por la resolución 0631 del 2015. Lo anterior, teniendo en cuenta la relevancia e impacto que generan estos factores en la eficiencia de los procesos unitarios de la PTAR.

Finalmente, teniendo en cuenta los análisis de laboratorio, cálculos de remoción e inspecciones realizadas en campo, se concluye que es necesario plantear alternativas para mejorar la eficiencia de tres procesos específicos: cribado, sedimentación primaria y filtro biológico; esto en razón de que los problemas de cada uno de ellos altera al proceso continuo y reduce la eficiencia del tratamiento en general. Por esto es necesario que las alternativas se ejecuten en orden, para analizar con detenimiento como afecta positiva o negativamente al proceso siguiente la alternativa propuesta, buscando siempre aumentar la eficiencia del tratamiento de la PTAR vía puerto mosquito de Aguachica, cesar.

Capítulo 6. Recomendaciones

Se sugiere a la empresa de servicios públicos de Aguachica E.S.P, designar recursos (económicos, humano y físico) para implementar las alternativas propuestas con la finalidad de mejorar eficiencia en los procesos unitarios de la planta de tratamiento de aguas residuales vía puerto mosquito y reducir la contaminación de la fuente hídrica caño el cristo.

Se propone a la empresa invertir en la construcción de nuevas estructuras de lechos de secado de lodos, debido a que los existentes no son suficientes para el volumen de lodos que se extrae de los tanques durante los dragados.

Se recomienda la reparación del equipo de oxígeno disuelto, así como la compra de otros equipos y reactivos para medición de parámetros fisicoquímicos en el laboratorio de la PTAR, que permiten el monitoreo de la calidad del agua residual en la planta y con esto la evaluación de la eficiencia en el proceso de tratamiento.

También se sugiere contratar vigilancia de manera permanente en la PTAR para cuidar y vigilar al personal que labora en la PTAR, los equipos, motores y demás elementos de la planta necesarios para el correcto funcionamiento de la misma.

Referencias

Jaramillo Gallego, M. L., Agudelo Cadavid, R. M., & Peñuela Mesa, G. A. (2016). *Optimización del tratamiento de aguas residuales de cultivos de flores usando humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal*. Recuperado el 2021, de http://www.scielo.org.co/pdf/rfnsp/v34n1/v34n1a03.pdf

Lopez Vazquez , C. M., Buitrón , G., García Delgado, H. A., & Cervantes , F. J. (2018). *Tratamiento Biológico de Aguas Residuales. Principios, Modelación y Diseño*. Recuperado el 2021, de https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=772375

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (19 de Diciembre de 1973). *LEY 23 DE 1973.* Recuperado el 15 de Junio de 2021, de https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/ley_23_de_1973.pdf

ORTIZ VELA, J. A., & QUISHPE VELOZ, D. J. (mayo de 2015). *"EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA EN BASE A LA CARGA CONTAMINANTE DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA OLEOCASTILLO S.A.". obtenido de file:///D:/Users/Maria%20Idolia/Downloads/T-UCE-0012-363.pdf*

Solís-Castro, Y., Zúñiga-Zúñiga, L., & Mora-Alvarado, D. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Tecnología en Marcha* , 35-46.

Alcaldia de Bogota . (22 de Diciembre de 1993). *Ley 99 de 1993*. Recuperado el 15 de Junio de 2021, de https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=297

Alcaldia de Bogota. (25 de Octubre de 2010). *Decreto 3930 de 2010*. Recuperado el 15 de junio de 2021, de https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=40620

Departamento Administrativo de la Función Pública (DAFP). (2012). *Guía para la construcción de indicadores de gestión.* Recuperado el 2021, de https://www.funcionpublica.gov.co/documents/418537/506911/1595.pdf/6c897f03-9b26-4e10-85a7-789c9e54f5a3

Empresa de servicios públicos de Aguachica E.S.P.A. (10 de Marzo de 2021). *E.S.P. AGUACHICA*. Recuperado el 2021, de http://www.esp-aguachica-cesar.gov.co/menu/

Funcion Publica . (1979). *Ley 9 de 1979*. Recuperado el 15 de Junio de 2021, de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1177

Funcion Publica . (26 de Mayo de 2015). *Decreto 1076 del 2015* . Recuperado el 26 de Junio de 2021, de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=78153

Funcion Publica. (21 de Diciembre de 2012). *Decreto 2667 DEL 2012*. Recuperado el 15 de Junio de 2021, de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=51042

Gualdrón Durán, L. E. (2016). *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA DE LOS RIOS DE COLOMBIA USANDO PARAMETROS FISICOQUIMICOS Y BIOLOGICOS* . Recuperado el 2021, de file:///D:/Users/Maria%20Idolia/Downloads/4593-Texto%20del%20art%C3%ADculo-7767-1-10-20181210.pdf

IDEAM. (s.f.). *Glosario* . Recuperado el 16 de junio de 2021, de http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/glosario

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM. (2013). *Hoja metodológica del indicador Promedio de oxígeno disuelto por estación (Versión 1,00)*. Recuperado el 2021, de Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia: http://www.ideam.gov.co/documents/11769/646961/V3.08+HM+Promedio+oxigeno+disuelto.pdf/80f1e000-abc2-4087-8f2d-6739d9d27e7e

Lozano Rivas , W. A. (Diciembre de 2012). *Diseño de plantas de Tratamiento de Aguas Residuales* . Obtenido de file:///C:/Users/espa0025/Downloads/Fund.DiseoDepuradorasAR%20(2).pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible . (13 de agisto de 2014). *Resolucion 1207 del 2014*. Recuperado el 15 de Junio de 2021, de https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_1207_2014.pdf

Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible. (18 de Diciembre de 1974). *DECRETO 2811 DEL 18 DE DICIEMBRE DE 1974*. Recuperado el 15 de junio de 2021, de https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto_2811_de_1974.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible. (26 de Junio de 1984). *Decreto 1594 de 1984*. Recuperado el 15 de junio de 2021, de https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto_1594_de_1984.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (17 de Marzo de 2015). *Resolucion 0631 del 2015*. Recuperado el 15 de Junio de 2021, de

https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia. (Noviembre de 2000). *RAS 2000*. Recuperado el 15 de junio de 2021, de https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/010710_ras_titulo_e_.pdf

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia. (8 de Junio de 2017). *Resolucion 0330 del 2017*. Recuperado el 15 de Junio de 2021, de https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-agua-y-saneamiento-basico/reglamento-tecnico-sector/reglamento-tecnico-del-sector-de-agua-potable-y-saneamiento-basico-ras

Ortiz Muñoz, D. F. (2011). *Manual de Tratamientos Biológicos de Aguas Residuales para poblaciones medianas de la Región Sur del Ecuador*. Recuperado el 2021, de https://mail-attachment.googleusercontent.com/attachment/u/1/?ui=2&ik=b286e0120f&attid=0.2&permmsgid=msg-f:1685633989121164250&th=1764932ea6e443da&view=att&disp=inline&realattid=f_khv8y6o1&sadnir=1&saddbat=ANGjdJ_e2OgSk0V_m-WDjNcs8svMSjYG-OaXB0FVE4m2wdmY

Red Tecnológica MID . (15 de junio de 2019). *Filtros Percoladores* . Recuperado el 2021, de https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2017-03-24_01-55-39140455.pdf

Ruiz RamÍrez, D. C. (2017). *Método de estimación de sólidos suspendidos totales como indicador de la calidad del agua mediante Imágenes satelitales.* Recuperado el 2021, de Escuela de Posgrados: https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/59720/2949594699.2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Secretaria General del Senado . (11 de Julio de 1994). *LEY 142 DE 1994*. Recuperado el 15 de Junio de 2021, de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0142_1994.html

Secretaria General del Senado. (6 de julio de 1991). *Constitucion Politica de Colombia*. Recuperado el 15 de junio de 2021, de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/constitucion_politica_1991.html

Sigler, A., & Bauder, J. (2017). *Alcalinidad, pH y sólidos disueltos totales.* Recuperado el 2021, de http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS%202012-11-15-SP.pdf

TecnoConverting Engineering. (s.f.). *lamela Hexagonal TECNOTEC*. Recuperado el 2021, de https://www.tecnoconverting.es/empresa/

TL INGEAMBIENTE . (s.f.). *ROSETÓN PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*. Recuperado el 16 de Junio de 2021, de https://tlingeambiente.com/servicios/roseton-para-tratamiento-de-aguas-residuales/

Apéndices

Apéndice A. Programación de actividades semanales.

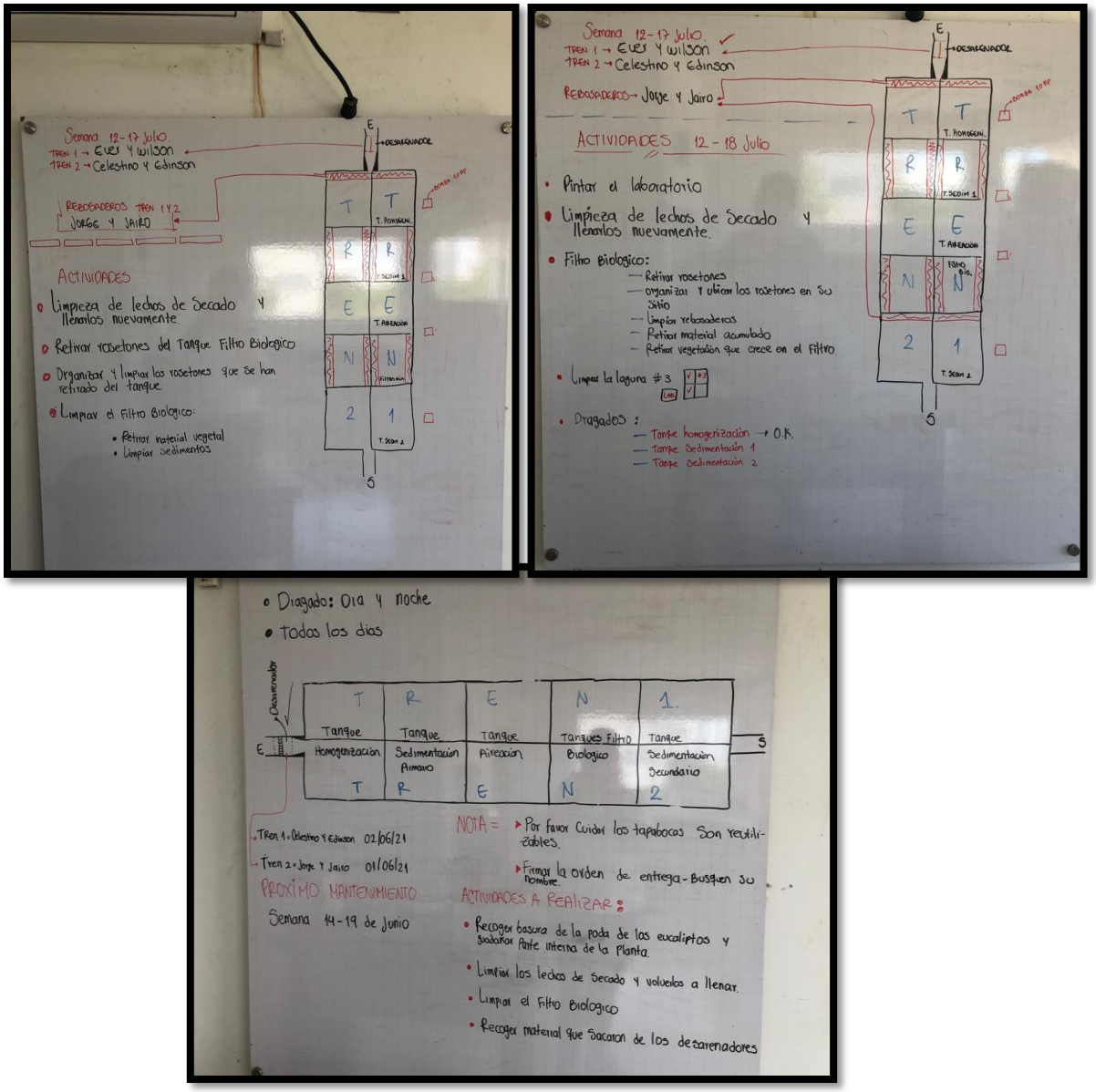
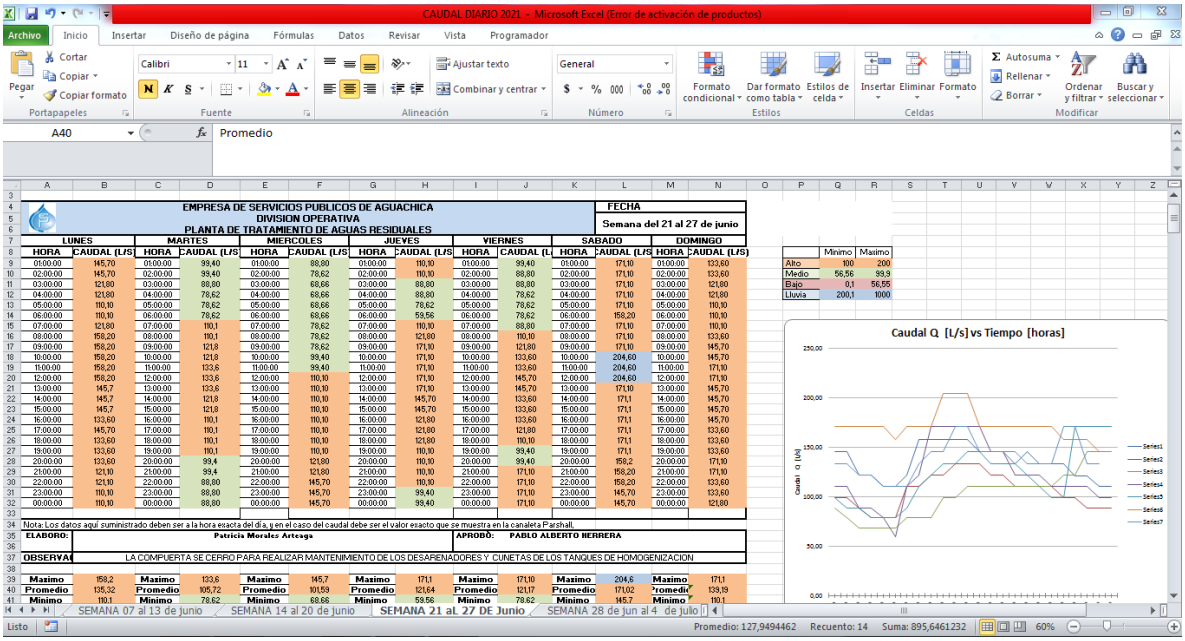


Figura 22. Tablero del laboratorio de la PTAR con las actividades programadas por semana. Fuente. Autor del proyecto.

Apéndice B. Registro de caudales diarios y promedio mensual en Excel.



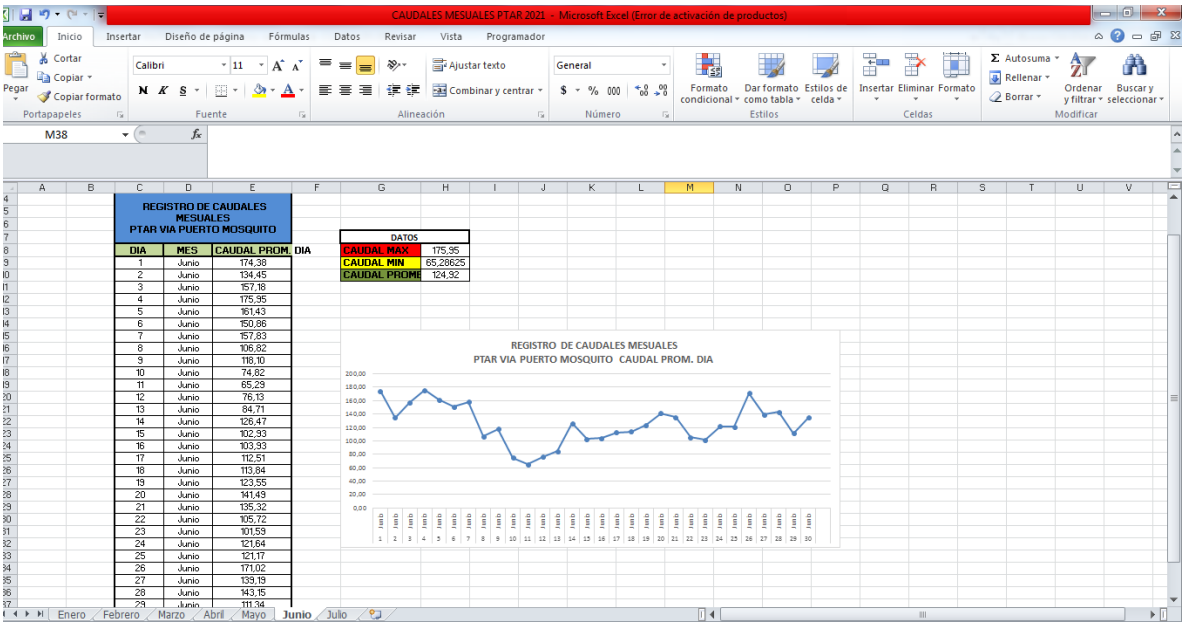


Figura 23. Registro de caudales diarios y mensuales, con los promedios diarios, mensuales, caudales máximos y mínimos. Fuente. Autor del proyecto.

Apéndice C. Carpetas donde se archivan los formatos de: caudales, de operación de motores de agitación, aireación y dragados.

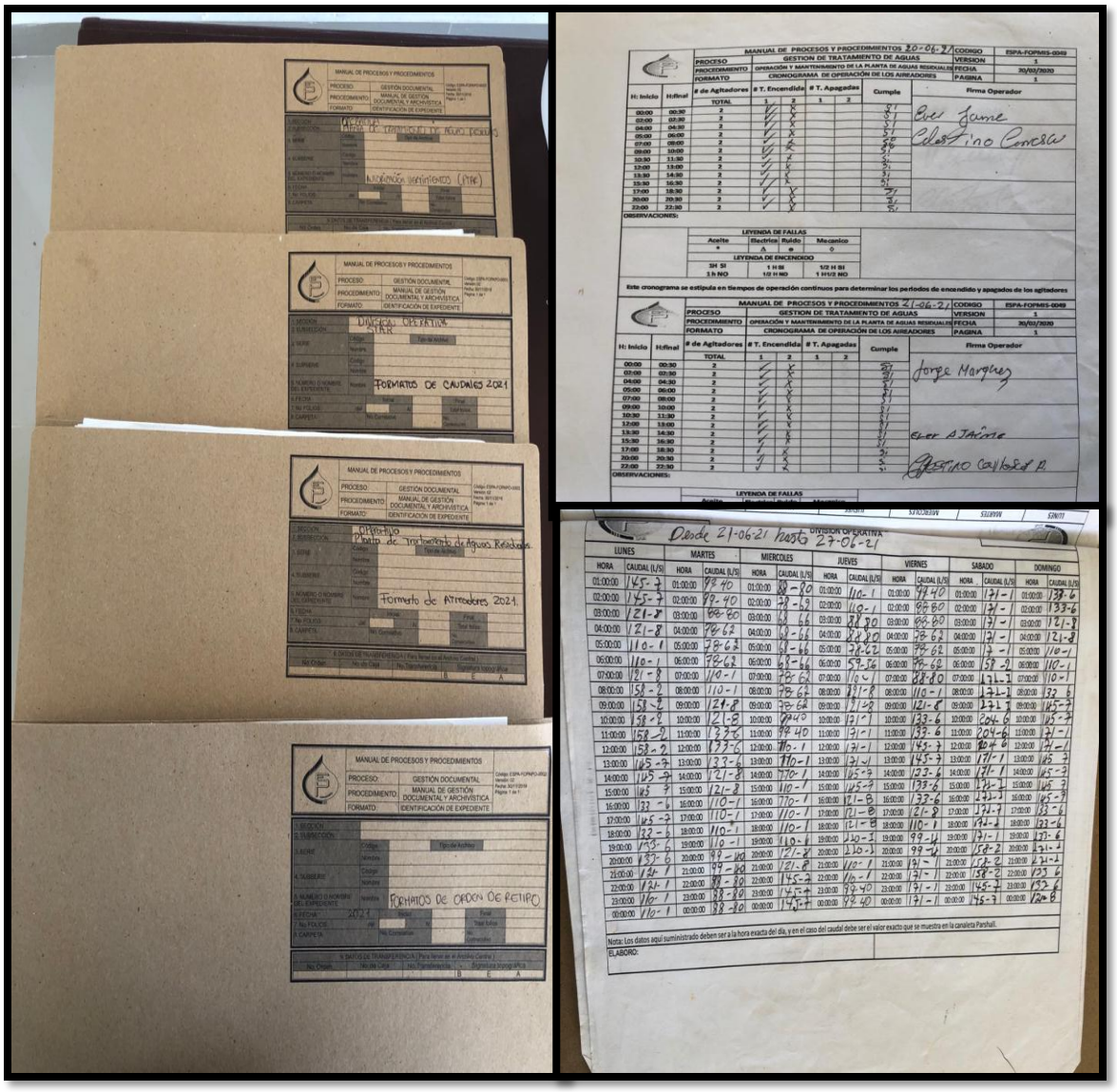


Figura 24. Carpeta donde se archiva los formatos físicos de dragado, caudales, operación de motores de agitación y aireación y órdenes de retiro. Fuente. Autor del proyecto.

Apéndice D. Registro de información de los resultados obtenidos en los análisis de los parámetros fisicoquímicos.

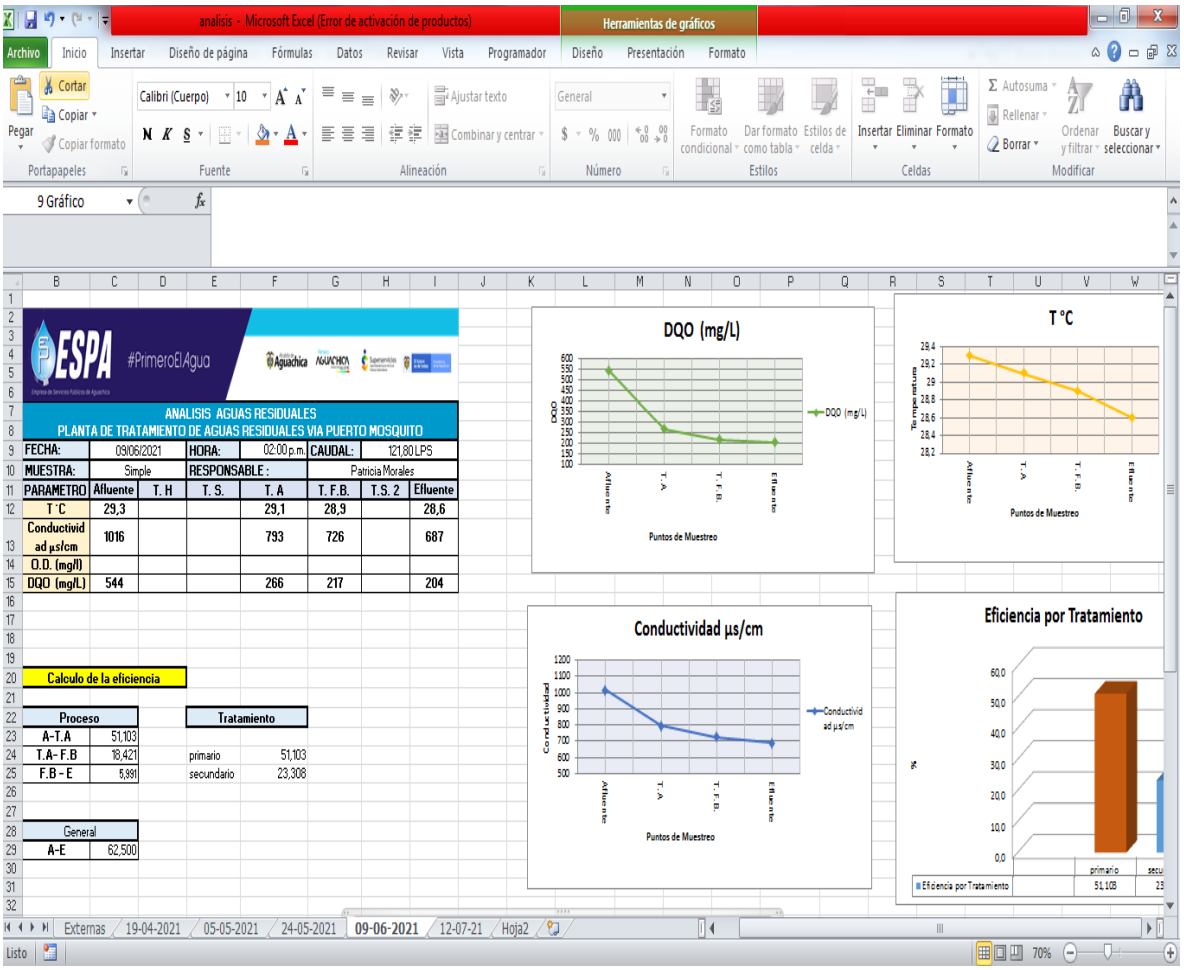


Figura 25. Registro de resultados obtenidos en los análisis físico químicos con sus respectivas gráficas. Fuente. Autor del proyecto.

Apéndice E. Participación en actividades del día del medio ambiente y siembra de árboles en puerto mosquito.



Figura 26. Acompañamiento en actividades realizadas por la ESPA en conmemoración del día del medio ambiente y actividades como siembra de árboles. Fuente. Autor de la pasantía.

Apéndice F. Acompañamiento en la toma de muestras que realizo el laboratorio certificado Segima.



Figura 27. Acompañamiento al personal de la empresa Segima en la toma de muestra apara análisis fisicoquímico y microbiológico de la planta de tratamiento de aguas residuales vía puerto mosquito. Fuente. Autor del proyecto.

Apéndice G. Inicio de actividades de limpieza y mantenimiento del filtro percolador.



Figura 28. Operarios iniciando labores de limpieza y mantenimiento del filtro biológico como alternativa para mejorar la eficiencia del proceso. Fuente. Autor del proyecto.

Apéndice H. Preparación de muestras para análisis de DQO y medición de Oxígeno Disuelto en situ en la PTAR vía puerto mosquito.



Figura 29. Preparación de muestras para análisis de DQO en compañía de la ingeniera Sindy Suarez y medición de Oxígeno Disuelto en situ en la PTAR vía puerto mosquito. Fuente. Autor del proyecto.