



**Diagnóstico, estandarización y evaluación de la planta de tratamiento de aguas
residuales generadas en la industria maderera ubicada en el municipio de Barbosa-
Antioquia**

Autor:

Mayra Alejandra Torres Arbeláez

Informe de práctica como requisito para optar al título de:

Ingeniero Ambiental

Tutor:

Camilo Andrés Valderrama

Ingeniero sanitario

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental

Pregrado

Medellín, Colombia

2021

Cita

(Torres Arbeláez, 2021)

Referencia

Estilo APA 7 (2020)

Torres Arbeláez, M, (2021). - *Diagnóstico, estandarización y evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales generadas en la industria maderera ubicada en el municipio de Barbosa-Antioquia* [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.



Biblioteca Carlos Gaviria Díaz

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: Jhon Jairo Arboleda Céspedes

Decano/director: Jesús Francisco Vargas Bonilla

Jefe departamento: Diana Catalina Rodríguez

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Resumen

Todas las aguas residuales provenientes de una actividad industrial deben ser sometidas al tratamiento previo de las mismas para que de esta forma se asegure la calidad al momento de la disposición de las aguas y no afecten el medio ambiente y genere problemas de salubridad. Los sistemas de tratamientos de aguas residuales con respecto a una industria específica como la maderera presentan diferentes parámetros de operación, mantenimiento y control de dichas plantas para su correcto funcionamiento.

La finalidad del presente documento es presentar un diagnóstico y evaluación de una planta de tratamiento de aguas residuales provenientes de una industria maderera ubicada en el municipio de Barbosa- Antioquia. Las industrias madereras se dedican a la fabricación de diversos productos como papel, celulosa, materiales de construcción, fabricación de paneles, entre otros, en las cuales dentro de estos procesos de fabricación existe una gran descarga de aguas residuales con diversos contaminantes principalmente de productos órgano-clorados que alteran la DBO.

Abstract

All wastewater from an industrial activity must be subjected to prior treatment in order to ensure quality at the time of disposal of the water and not affect the environment and generate health problems. The wastewater treatment systems with respect to a specific industry such as the lumber industry present different parameters of operation, maintenance and control of these plants for their correct operation.

The purpose of this paper is to present a diagnosis and evaluation of a wastewater treatment plant for wastewater from a lumber industry. The wood industries are dedicated to the manufacture of various products such as paper, cellulose, construction materials, panel manufacturing, among others, in which within these manufacturing processes there is a large discharge of wastewater with various pollutants, mainly organochlorine products that alter the DBO.

Índice de contenido

Resumen	2
Índice de contenido	4
Índice de Tablas	5
Índice de Ilustraciones	5
Índice de Figuras.....	5
1. Introducción	6
2. Objetivos.....	8
2.1. Objetivo general	8
2.2. Objetivos específicos.....	8
• Caracterizar la información referente a la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de una industria maderera, para su posterior análisis y diagnóstico.....	8
• Analizar los resultados de los parámetros fisicoquímicos y operativos recopilados y suministrados en la PTAR	8
• Diagnosticar el estado actual de la PTAR	8
• Estandarizar los procesos y operaciones de la PTAR evaluados en el diagnóstico.	8
3. Marco teórico	8
3.1.4.Marco Normativo	11
4. Metodología.....	11
4.1.1. Características del agua a tratar.....	12
4.2. Descripción del sistema de tratamiento de las aguas residuales (Proceso)	12
4.1 Descripción y diagnóstico físico de la Planta de tratamiento de aguas residuales	15
4.2 Diagrama de flujo del proceso.....	19
5. Resultados y análisis.....	22
6. Conclusiones	27
7. Referencias bibliográficas	27

Índice de Tablas

Tabla 1. Desarrollo histórico de las aguas residuales.	6
Tabla 2. Características del agua residual industrial.....	12
Tabla 3. Características del agua residual domestica.....	12
Tabla 4. Resultados primer test de jarras	21
Tabla 5. Resultados segundo test de jarras.....	22
Tabla 6. Valores de seguimiento alcalinidad.....	25
Tabla 7. Valores de seguimiento hierro	25
Tabla 8. Valores de seguimiento de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	26
Tabla 9. Valores finales de los parámetros de estudio	26

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Planta de tratamiento de aguas residuales. Fuente: propia.....	14
Ilustración 2. Planta de tratamiento de aguas residuales (industrial y domestica)	15
Ilustración 3. Tanque colector inicial.....	15
Ilustración 4. Tanque homogenizador.....	16
Ilustración 5. Tanques dosificación de químicos.....	16
Ilustración 6. Celda de flotación DAF	17
Ilustración 7. Flotación por aire disuelto (DAF)	17
Ilustración 8. Tanque de lodos DAF.....	17
Ilustración 9. Tornillo deshidratador.....	18
Ilustración 10. Tanque de ajuste de lodos	18
Ilustración 11. Reactor Biológico	19
Ilustración 12. Tanque clarificador biológico	19
Ilustración 13. Primer test de jarras	21
Ilustración 14. Segundo test de jarras	22

Índice de Figuras

Figura 1. Parámetros y sus valores permisibles según 0631 de 2015.....	11
Figura 2. aforo de la bomba.....	24

1. Introducción

El agua es considerada uno de los recursos naturales más importantes para todos los seres vivos en la actualidad y su disponibilidad se ha disminuido por factores tales como: la contaminación, el crecimiento de la población, las industrias y la mala utilización, entre otros. Todos estos factores expuestos conducen a la escasez cada vez mayor de este recurso tan importante y fundamental para el ser humano. Como una medida para contrarrestar este problema, se ha buscado que las industrias vean la necesidad de implementar, dentro de los procesos que generan residuos líquidos, plantas de tratamiento de aguas residuales con el fin de reducir toda la carga contaminante que desemboca en los cuerpos de agua y que se convierte en uno de los factores principales de la desaparición de la vegetación natural, así como en la disminución de peces y demás animales acuáticos. Además, el hecho de realizar una descarga directa a los cuerpos de agua de dichas aguas residuales, limita el uso de este recurso para otros usos productivos como la pesca o riego, la agricultura y el consumo (agua potable), entre otros usos (Pineda, 2017).

Estos sistemas de tratamiento de aguas residuales son relativamente nuevos. Su inicio se da a fines del año 1800 y principios del siglo actual y se desarrollaron como consecuencia de la revolución industrial y la contaminación de los recursos y cuerpos de agua y las enfermedades de origen hídrico. En su inicio el tratamiento se daba mediante el vertimiento de las aguas residuales al suelo, pero prontamente la superficie de los terrenos no fue suficiente para absorber el cada vez mayor volumen de aguas residuales. En Inglaterra, después de la epidemia del cólera, se implementó la construcción de los sistemas de alcantarillado, pero el tratamiento de aguas residuales cobró pequeña importancia, pero a medida que transcurría el tiempo y debido a lo pequeño de sus ríos en longitud y caudal, la contaminación del agua, rápidamente se convirtió en un problema. Al principio, el tratamiento estuvo enfocado a evitar problemas con la industria y agricultura más que a los problemas de salud. A fin de evitar estos problemas se idearon y llevaron a la práctica nuevos métodos de tratamiento intensivo. De este modo, se estudió la precipitación química, digestión de fangos, filtración intermitente en arena, filtración en lechos de contacto, aeración de aguas residuales y finalmente en 1912 se desarrolló del proceso de lodos activados (Rojas, 2002).

Tabla 1. Desarrollo histórico de las aguas residuales.

Fecha	Desarrollo	País
1550	Uso de aguas residuales en agricultura	Alemania
1700	Uso de aguas residuales en agricultura	Reino Unido
1762	Precipitación química de aguas residuales	Reino Unido

1860	Dispositivo de Mouras. Tratamiento anaerobio de solidos de aguas residuales	-
1865	Experimentos sobre microbiología de digestión de lodos	Reino Unido
1868	Investigaciones sobre filtración intermitente de aguas residuales	Reino Unido
1870	Filtración en arena de aguas residuales	Reino Unido
1876	Primeras fosas sépticas	USA
1882	Experimentos sobre aeración de alcantarillas	Reino Unido
1884	Introducción de las rejas de desbaste	USA
1887	Estación experimental de Lawrence para el estudio de agua y aguas residuales	USA
1887	Primera planta de precipitación química	USA
1889	Filtración en lechos de contacto	USA
1891	Digestión de lodos	Alemania
1895	Recolección de metano de fosas sépticas y su empleo en alumbrado	Reino Unido
1898	Molinete hidráulico para filtros percoladores	Reino Unido
1904	Empleo de desarenadores	USA
1904	Fosa séptica Travis de dos pisos	Reino Unido
1904	Tanque Imhoff	Alemania
1906	Cloración de aguas residuales	USA
1908	Ley de chick	USA
1911	Aplicación de tanques Imhoff	USA
1911	Digestión separada de lodos	USA
1914	Tratamiento de aguas residuales por lodos activados	Reino Unido
1916	Primera planta municipal de lodos activados	USA
1925	Aeración por contacto	USA

En la actualidad dichos tratamientos se componen de diferentes procesos biológicos, químicos y operaciones físicas que buscan eliminar los contaminantes que estén presentes en el residuo líquido, para esto se debe evaluar el proceso en particular ya que su composición varía dependiendo del emisor de estas aguas, es decir, cambia en función de la actividad industrial y por ende su proceso de descontaminación (Sotelo, 2019).

Generalmente el proceso que se debe llevar a cabo para una planta de tratamiento de aguas residuales en una industria se basa en la eliminación de los sólidos, luego reducción de la materia orgánica y posterior a esto eliminación de los contaminantes y restauración de la presencia de oxígeno. Los sólidos incluyen trozos de madera, arena y pequeñas partículas. La forma de reducir la materia orgánica y los contaminantes es utilizar bacterias beneficiosas y otros microorganismos para consumir la materia orgánica de las aguas residuales. Posteriormente, las bacterias y los microorganismos se separan del agua y se restaura el oxígeno (Robles, 2011).

Para el caso particular de TABLEMAC MDF, empresa productora de tableros de madera que transforma de forma sustentable los bosques cultivados de especies tropicales como las coníferas (pino pátula) y mirtáceas (eucalipto), convirtiéndolas en materia prima del proceso productivo y de esta forma generando beneficios sociales y económicos para la población. La proporción de aguas residuales generadas en esta planta es de 0.94 m³ por 1m³ de tablero crudo producido. Dado estos índices, se determina evaluar el funcionamiento de la PTAR de la empresa con el fin de exponer cómo se lleva a cabo todo el proceso dentro de la compañía y de esta forma desarrollar la correspondiente estandarización dentro de los parámetros establecidos (Bornhardt & Diez,1999).

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Evaluar el funcionamiento de las operaciones y procesos que se desarrollan en la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) de una industria maderera ubicada en el municipio de Barbosa - Antioquia.

2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la información referente a la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de una industria maderera, para su posterior análisis y diagnóstico.
- Analizar los resultados de los parámetros fisicoquímicos y operativos recopilados y suministrados en la PTAR.
- Diagnosticar el estado actual de la PTAR.
- Estandarizar los procesos y operaciones de la PTAR evaluados en el diagnóstico.

3. Marco teórico

Las aguas residuales son aguas a las que se les han modificado sus características y propiedades al ser empleadas en cualquier proceso para desarrollar una actividad. Estas aguas pueden ser residuales domésticas o industriales y se caracterizan porque presentan generalmente distintos componentes orgánicos e inorgánicos. En el caso particular de las aguas residuales industriales, estas poseen altas concentraciones de estos componentes lo que convierte en uno de los más complejos, o lo que hace que sea más complejo a la hora de tratarlas. Por esta razón muchas empresas han optado por generar procesos que les permita tratar dichas aguas residuales, con el fin de mejorar la calidad del agua que se disponga a una fuente final y que presente, características dependiendo de la industria y/o actividad de la cual provenga, de igual modo el tipo de tratamiento que debe darse a esta antes de la disposición final (Robles, 2018).

El tipo de tratamiento de las aguas residuales varía tanto desde operaciones físicas las cuales se basan en la remoción por suspensión, sedimentación y filtración, como procesos químicos,

los cuales consisten en la aplicación de una sustancia química para la eliminación o conversión de los contaminantes. Por último, están los procesos biológicos que se llevan a cabo gracias a la actividad biológica de microorganismos que depuran los contaminantes (Becerra. & Gutiérrez, 2013).

En el tratamiento de aguas residuales para las industrias de producción de madera se utilizan métodos tales como los métodos fisicoquímicos, químicos y biológicos. Estos métodos pueden ser: la coagulación, la ozonización, la floculación, entre otros. En el caso de las aguas residuales de las industrias madereras se caracterizan por tener una gran cantidad de Demanda Química de Oxígeno (DQO), dado que se presenta gran acumulación de colorantes, hidrocarburos y compuestos fenólicos, etc. Por esto los tratamientos de estas industrias se basan en procesos de pretratamiento, tratamiento primario, que son los encargados de reducir los sólidos que se encuentran suspendidos en las aguas, particularmente homogeneización, sedimentación o coagulación. Posterior a esto se realiza un tratamiento secundario que remueve DQO y Sólidos Suspendidos (SS) y que en industrias de madera suele tratarse por medio de lodos activados, es decir, microorganismos activos que son capaces de depurar y neutralizar un desecho orgánico bajo condiciones aerobias. Estos procesos de depuración permiten a las industrias obtener como resultado final una buena calidad del agua y que cumpla con los parámetros establecidos por la norma (Lizarazo & Orjuela, 2013).

3.1. Procesos de tratamiento de aguas residuales

Etapla preliminar: Este proceso se basa en regular y medir el caudal de agua que ingresa a la planta. También es la etapa donde se remueven los sólidos flotantes de gran tamaño y las grasas y aceites presentes en las aguas a tratar. (Rojas, 2002)

Tratamiento Primario: También llamado tratamiento físico-químico. Dicho tratamiento reduce la cantidad de material suspendido por medio de procesos de precipitación o sedimentación. Los métodos más utilizados son (Rojas, 2002):

- **Flotación:** cuando el material suspendido posee una densidad inferior o similar a la del agua, no se da el proceso de sedimentación, por lo tanto, es necesario utilizar este proceso, que consiste en generar una gran cantidad de burbujas de aire que desplacen hacia arriba estas partículas, dando como resultado una concentración superficial del material. De dicha manera queda un sobrenadante fácil de remover.
- **Coagulación-Floculación:** Cuando la materia en suspensión está conformada por partículas muy pequeñas que no son capaces de

sedimentar. En estas situaciones se adicionan al agua a tratar sustancias químicas que generan la coagulación de estas partículas y favorecen su floculación y sedimentación.

- **Sedimentación primaria:** Se trata de una operación de separación sólido-fluido en la que las partículas sólidas de una suspensión, más densas que el fluido, se separan de éste por la acción de la gravedad.

Tratamiento Secundario: Se basa en la disminución de compuestos orgánicos presentes en el agua residual y se basa principalmente en procesos biológicos.

En estos procesos biológicos, la materia orgánica contaminante es usada para alimentar los microorganismos presentes y puedan obtener la energía necesaria para reproducirse y subsistir. De esta manera la materia orgánica es transformada en nuevas células y productos que puedan ser más fácilmente separados del agua. A su vez estos procesos se dividen en procesos aerobios (los microorganismos requieren oxígeno) y los anaerobios (requieren ausencia total de oxígeno). La tecnología del tratamiento de aguas residuales por vía aerobia está bien desarrollada y es sin duda la más comúnmente aplicada (Rodríguez, 2008). Los procesos aerobios son:

- **Tipo extensivo (lagunas):** Las lagunas de estabilización son el método más simple de tratamiento de aguas residuales que existe. Están constituidos por excavaciones poco profundas cercadas por taludes de tierra.
- **Procesos de biomasa en suspensión (lodos activados en sus diversas modalidades):** es un proceso que se basa principalmente en la oxidación de la materia orgánica presente en las aguas residuales. La biomasa microbiana se agrega en forma de flóculos, los cuales sedimentan en el clarificador secundario.
- **Procesos de biopelícula (filtros percoladores y biodiscos):** En todos los procesos de biopelícula, los microorganismos producidos a causa de la oxidación de la materia orgánica se adhieren a las paredes del medio plástico y forman varias capas biológicas que están sobrepuestas. Esto ocasiona que los microorganismos de la última capa (la que está en el exterior) tengan mayor contacto con el alimento y con el oxígeno del aire; por el contrario, la capa adherida a la superficie plástica (la que está en el interior) cada vez tiene menos contacto con el sustrato y el oxígeno, por lo que se dificulta la alimentación y respiración hasta que se genera la muerte de los microorganismos y se

desprenden del plástico. En el caso del biofiltro, el agua que baja por la fuerza de gravedad empuja la biopelícula parcialmente muerta. En el caso del biodisco, la fuerza de fricción que se produce al girar los discos dentro del agua hace que sea más eficiente el desprendimiento de la biopelícula parcialmente muerta. En todos los casos, en la superficie plástica que queda libre al desprenderse la película envejecida, se inicia el crecimiento de una nueva película. Es un proceso dinámico repetitivo.

Marco Normativo

Las industrias madereras se rigen por la resolución 0631 de 2015, artículo 15 que especifica: “los parámetros y sus valores máximos permisibles en vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas para actividades industriales comerciales o de servicios diferentes a las contempladas en los capítulos V y VI con vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales”

PARÁMETRO	UNIDADES	VALORES LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
Generales		
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	150,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	50,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	50,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	1,00
Grasas y Aceites	mg/L	10,00
Compuestos Semivolátiles Fenólicos	mg/L	Análisis y Reporte
Fenoles Totales	mg/L	0,20
Formaldehído	mg/L	Análisis y Reporte
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte
Hidrocarburos		
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L	10,00
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	mg/L	Análisis y Reporte
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	mg/L	Análisis y Reporte
Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)	mg/L	Análisis y Reporte
Compuestos de Fósforo		
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	Análisis y Reporte
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte
Compuestos de Nitrógeno		
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	Análisis y Reporte
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	Análisis y Reporte
Nitrógeno Amónico (N-NH ₃)	mg/L	Análisis y Reporte
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y Reporte
Iones		
Cianuro Total (CN ⁻)	mg/L	0,10
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	250,00

Figura 1. Parámetros y sus valores permisibles según 0631 de 2015, Fuente: Resolución 631 de 2015 (marzo17) Diario oficial N°49486 de 18 de abril de 2015

4. Metodología

En esta etapa se describen los pasos a seguir para la elaboración del informe. Se llevan a cabo las características del agua a tratar tanto industrial como doméstica dentro de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa TABLEMAC MDF. También se realiza un test

de jarras para determinar los valores apropiados en la dosificación de los químicos para el correcto funcionamiento del proceso.

4.1.1. Características del agua a tratar.

Tabla 2. Características del agua residual industrial

CARACTERISTICA	VALOR DE ENTRADA
Caudal (l/s)	1.33
DQO (mg/l)	23.333
DBO5	7000
Solidos suspendidos totales (mg/l)	18000
pH	6.85
Grasas y aceites	607.5

Fuente: Suministrado por la empresa.

Tabla 3. Características del agua residual domestica

CARACTERISTICA	VALOR DE ENTRADA
Caudal (l/s)	1.25
DBO5	320
Solidos suspendidos totales (mg/l)	350
Nitrógeno total (mg/l)	20
Temperatura	18

Fuente: Suministrado por la empresa.

4.2. Descripción del sistema de tratamiento de las aguas residuales (Proceso)

Las dos corrientes de agua a tratar en la planta tienen un caudal para el agua residual industrial 4.68 m³/h y residual domestica 4.5 m³/h en la entrada de la planta de tratamiento de agua.

En la primera etapa o etapa fisicoquímica, inicialmente el agua residual industrial es recibida en un tanque colector inicial, a la entrada de este tanque, el agua pasa a través de un sistema de rejillas para retención de solidos gruesos que el agua pueda contener. Posteriormente una bomba sumergible toma el agua y la envía al tamiz rotativo donde se realiza la retención de solidos suspendidos con tamaño mayor a 0.25 m. Los sólidos retenidos son descargados a un tornillo compactador a la salida del cual los sólidos son dispuestos por el cliente. El agua filtrada que sale del tamiz es descargada en un tanque de homogenización, el cual posee un sistema de mezcla mediante inyección de aire en el fondo del tanque a través de difusores de burbuja gruesa. Este tanque amortigua caudales y cargas pico para obtener un afluente homogéneo.

Mediante una bomba sumergible instalada en el tanque de homogenización, el agua es enviada a la sección de reacción del DAF, la cual es constituida por dos mezcladores

estáticos, un tanque de coagulación, un tanque de floculación y los correspondientes sistemas de preparación y dosificación de reactivos. A la entrada del primer mezclador estático se dosifica una solución de sulfato de aluminio, a la entrada del segundo mezclador se dosifica una solución de soda caustica y a la entrada del tanque de floculación se dosifica un polímero floculante.

El agua floculada es mezclada con agua tratada y saturada con aire en forma de micro burbuja y luego es descargada en una celda de flotación tipo DAF (DIFUSED AIR FLOTATION), en donde se produce la flotación de los lodos formados, los cuales son retirados por medio de un raspador de paletas que los envía a un colector de lodos ubicado en el extremo del DAF, de allí se envían a la etapa de deshidratación de lodos. Un sistema de recirculación e incorporación de aire toma parte del agua tratada en la celda de flotación y por medio de una bomba que genera micro burbuja, la mezcla con el agua que entra al tanque de floculación.

El agua residual doméstica es recibida en el tanque receptor correspondiente; a la entrada de este tanque, el agua pasa a través de un sistema de rejillas para retención de sólidos gruesos, posteriormente una bomba sumergible envía el agua a un reactor aerobio en donde es mezclada con el agua residual industrial que sale del DAF.

En la segunda etapa o etapa biológica, el agua es recibida inicialmente en un reactor aerobio, donde se lleva a cabo la depuración a través de un proceso biológico, a la entrada de esta sección se incorpora al agua residual dosis determinadas de urea y fosfato y soda, para dar las condiciones adecuadas al proceso biológico, luego el agua pasa al clarificador en donde se sedimentan los lodos que posteriormente son retornados al reactor aeróbico. Periódicamente se hace evacuación del exceso de lodos que pasan a la etapa de deshidratación de lodos. El agua clarificada recibe dosis de hipoclorito de sodio y es enviada a cloración, en donde se le da un tiempo de retención para que se efectúe la acción biocida, posteriormente es descargada como agua tratada; el agua tratada es entregada a 0 m de salida de la PTAR la cual es dispuesta por el cliente.

Los lodos producidos en el DAF son descargados al tanque receptor de lodos, luego son llevados por medio de una bomba neumática al tanque de ajuste de lodos. Los lodos biológicos en exceso se descargan por gravedad al tanque concentrador, el lodo concentrado es enviado al tanque de ajuste de lodos. En el tanque de ajuste, a los lodos biológicos se les adiciona cloruro férrico, cal y polímero aniónico, a los lodos provenientes de la etapa fisicoquímica se ajustan únicamente con polímero aniónico. Los lodos ajustados se envían por medio de una bomba neumática al filtro de prensa, en donde se retienen los sólidos en forma de tortas. Las tortas de lodos deshidratados son dispuestas por el cliente. El clarificado de la filtración retorna a la caja colectora inicial



Ilustración 1. Planta de tratamiento de aguas residuales. Fuente: propia

1. Tanque colector inicial
2. Tanque homogeneizador
3. Celda de flotación DAF
4. DAF
5. Tornillo Deshidratador
6. Reactor Biológico
7. Tanque de ajuste de lodos
8. Tanque clarificador biológico.



Ilustración 2. Planta de tratamiento de aguas residuales (industrial y domestica) Fuente: Propia.

4.2.1. Descripción y diagnóstico físico de la Planta de tratamiento de aguas residuales

Tanque colector inicial: Donde ingresan las aguas de refinación, preclarificado del tornillo. El agua es llevada al tanque homogeneizador por medio de una bomba sumergible. Cuenta con una gran capacidad de almacenamiento de agua.



Ilustración 3. Tanque colector inicial. Fuente: Propia

Tanque homogeneizador: Estos tanques nos permiten regular o disminuir las variaciones en el flujo o concentración de las aguas residuales debido a sus diferencias en dosificación que no se pueden controlar fácilmente. El tanque de la

planta cuenta con un sistema de aireación en el fondo del tanque, que envía el agua al tanque de coagulación por medio de una bomba sumergible.

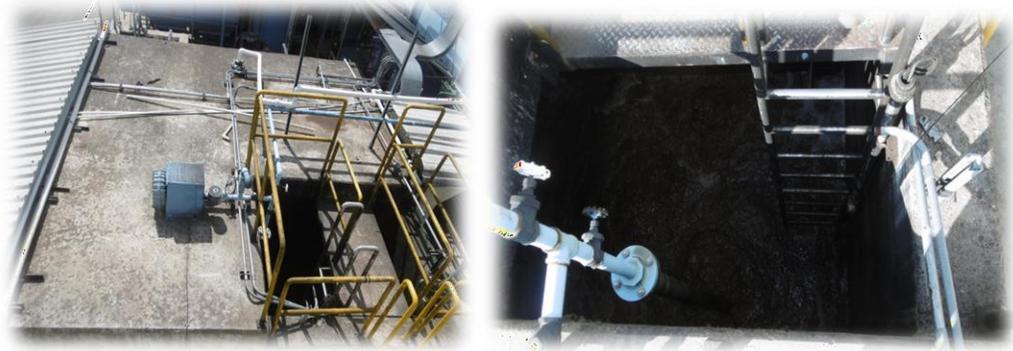


Ilustración 4. Tanque homogenizador. Fuente: Propia

Tanques de Dosificación de químicos: En estos tanques se preparan y almacenan los químicos a utilizar durante el proceso de tratamiento del agua. Cuentan con una altura de 110 cm y 90 cm de ancho y una apertura de 12 cm, para dosificación de químicos de aproximadamente 8 horas diarias. En este proceso también se debe tener en cuenta el tipo de químico a utilizar. Cuando los químicos son muy viscosos debido a la apertura del sistema, no se presenta buena dosificación al proceso, lo que causa desestabilización de la planta.



Ilustración 5. Tanques dosificación de químicos. Fuente: Propia

Celda de flotación DAF: Permite la separación entre los lodos y el clarificado industrial. Cuando el proceso presenta inconsistencias y no se da una buena formación de los lodos, la celda no remueve el material, desestabilizando el proceso e impidiendo el correcto tratamiento del agua.



Ilustración 6. Celda de flotación DAF. Fuente: Propia

Flotación por aire disuelto (DAF): Se da el proceso de separación de lodos y el agua clarificada. Los lodos se remueven y pasan al tanque de lodos DAF y en el tanque queda el agua clarificada.



Ilustración 7. Flotación por aire disuelto (DAF). Fuente: Propia

Tanque de lodos DAF: Cuenta con un agitador mecánico que se encuentra anclado a la bomba que sustenta el tornillo; El lodo es enviado al reactor por medio de bombas.



Ilustración 8. Tanque de lodos DAF. Fuente: Propia

Tornillo Deshidratador: Cuenta con un sistema espiral en la parte interna para desplazamiento del lodo, un tamiz como carcasa para la salida del pre-clarificado, dispersores para el lavado del tornillo, un motor para su rotación de 180° y una bomba externa para la presión. Es importante que durante el proceso se dé una buena formación de los lodos, dado que si esto no sucede el martillo no podrá deshidratarlos de forma correcta o se atascaran durante el proceso, impidiendo el buen funcionamiento del equipo.



Ilustración 9. Tornillo deshidratador. Fuente: Propia

Tanque de ajuste de lodos: Este tanque cuenta con un agitador mecánico que se enciende manualmente y donde se envían nuevamente los lodos al proceso que por sus características no fueron deshidratados.



Ilustración 10. Tanque de ajuste de lodos. Fuente: Propia

Reactor Biológico: Reactor aerobio que cuenta con 6 metros de alto por 8.1 metros de largo y 16.5 metros de ancho. Posee un tanque de cal para mantener el pH neutro

y un nuevo sistema de aireación mediante 2 bombas ubicadas en la parte central del tanque.



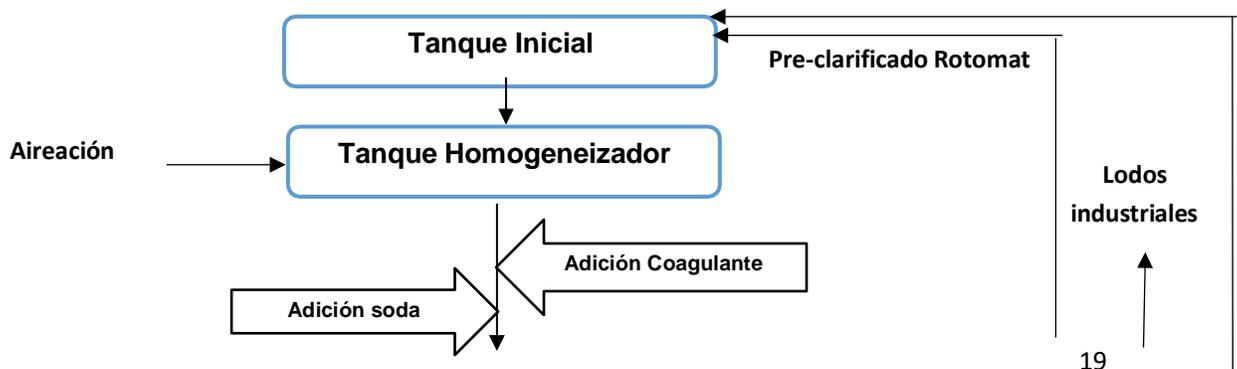
Ilustración 11. Reactor Biológico. Fuente: Propia

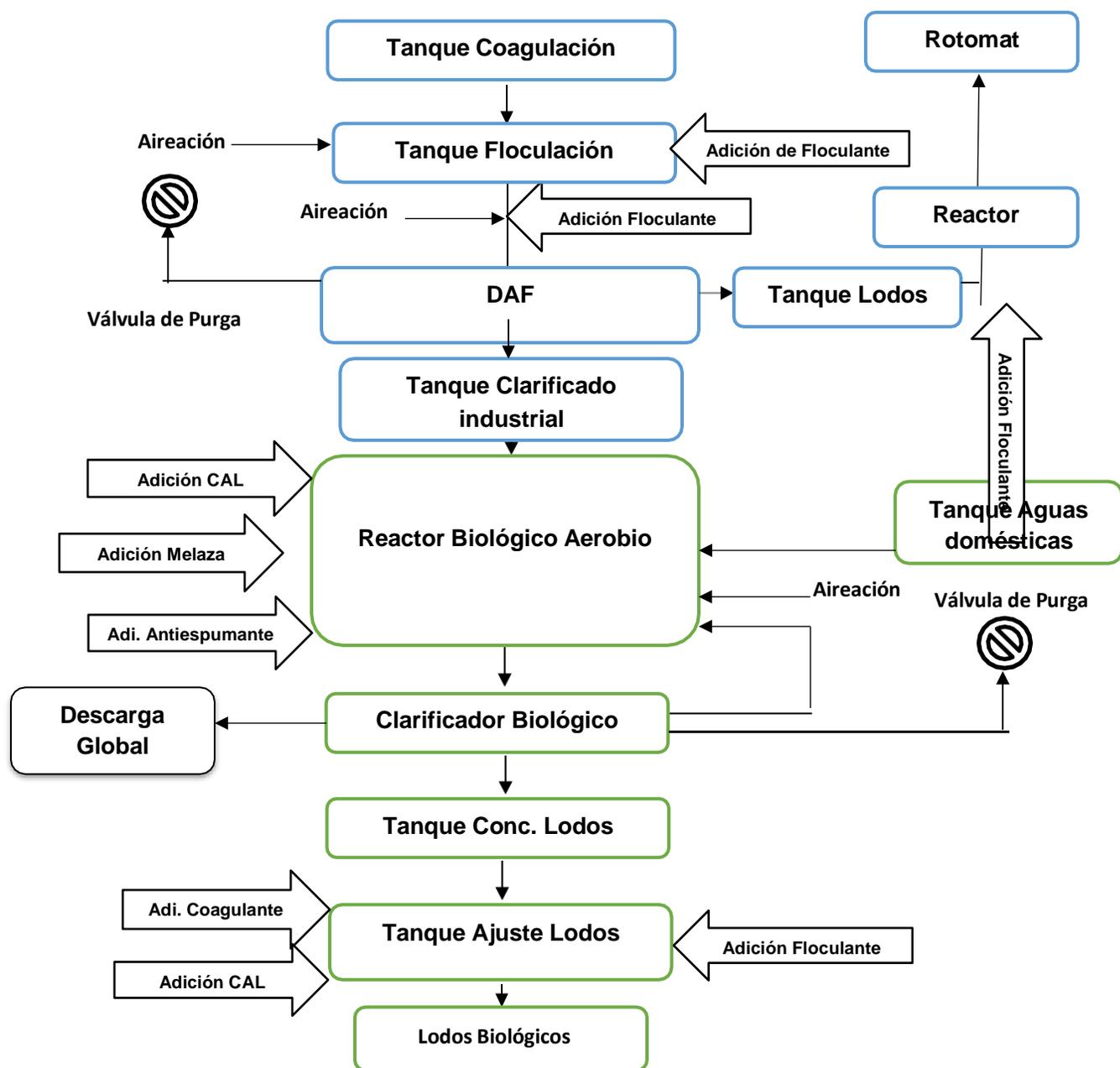
Tanque clarificador biológico: El agua que ingresa al tanque lo hace por rebose del reactor biológico. Su sistema consta de un soplador que recircula los lodos al reactor y otros son llevados al tanque de lodos y el agua clarificada es enviada a la descarga global para su disposición final.



Ilustración 12. Tanque clarificador biológico. Fuente: Propia

4.2.2. Diagrama de flujo del proceso de tratamiento de las aguas residuales y domésticas.





Fuente: Suministrado por la empresa

4.2.3. Dosificación de químicos para el tratamiento de las aguas industriales y domésticas

Se realizan test de jarras con el fin de determinar la cantidad correcta de químicos para el correcto funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales. Los químicos que se utilizan son:

- **Coagulante:** Es un compuesto químico que se adiciona al agua con el fin de que se formen flóculos más grandes y compactos de partículas coloidales que permitan una sedimentación más rápida
- **Soda Caustica:** También conocido como el hidróxido de sodio, que en el proceso de tratamiento de aguas nos ayuda a neutralizar ácidos o elevar el pH del agua.
- **Floculante:** Este compuesto permite que los sólidos o flóculos puedan separarse de forma más sencilla del agua, posicionándose en la superficie y de dicha manera sea más fácil su remoción.

A manera de ejemplo se presenta un test de jarras donde se utilizó coagulante 19, que es un coagulante inorgánico de sulfato de aluminio de la empresa Química Kairós S.A., y floculante sumilan 4710 que es un copolímero catiónico de amida acrílica de la marca Sumilan. Durante el proceso de realización del test de jarras se adicionó a 4 vasos cada uno de 1000 ml del agua a aproximadamente 90 rpm durante 1 minuto y medio después de adicionar el coagulante y 2 minutos posteriores a la adición del floculante los valores que se presentan en la tabla 3.

Tabla 4. Resultados primer test de jarras

Muestra	Coagulante (ppm)	Floculante (ppm)	Soda Caustica (ppm)
Vaso 1	3500	50	10
Vaso 2	4000	50	10
Vaso 3	3500	60	10
Vaso 4	4000	60	10



Ilustración 13. Primer test de jarras de izquierda a derecha las dosis fueron 3500, 4000, 3500 y 4000 ppm de coagulante respectivamente y dosis iguales de 50 ppm de floculante y 10 ppm de soda caustica a los 4 vasos.

Fuente: propia

Para el segundo test se utilizaron los químicos de Useche. En esta prueba utilizamos coagulante 9010 que es un hidroxicloriguro de aluminio en iguales cantidades para los 4 vasos de muestra. En cuanto al floculante se probaron 3 floculantes, todos compuestos catiónicos de poliacrilamida:

- SUPERFLOC-US-C-494
- SUPERFLOC-US-C-495
- SUPERFLOC-US-C-498

En nuestro análisis del proceso que se realizó a 85 rpm durante 2 minutos luego de adicionar los químicos y basándonos en los valores, el floculante que mejor resultados obtuvo para el tipo de agua residual de la planta, fue el SUPERFLOC-US-498. Los valores para este químico se presentan en la tabla 4.

Tabla 5. Resultados segundo test de jarras

Muestra	Coagulante (ppm)	Floculante (ppm)	Soda Caustica (ppm)
Vaso 1	1500	50	10
Vaso 2	2000	50	10
Vaso 3	2600	50	10
Vaso 4	3000	50	10



Ilustración 14. Segundo test de jarras de izquierda a derecha las dosis fueron 1500, 2000, 2600 y 3000 ppm de coagulante respectivamente y dosis iguales de 50 ppm de floculante y 10 ppm de soda caustica a los 4 vasos.
Fuente: propia

5. Resultados y análisis

Se realiza el proceso de llevar la aplicación de los químicos a nivel de nuestra planta de tratamiento de aguas residuales. Se debe tener en cuenta que durante este proceso también hay que conocer el funcionamiento de los equipos dosificadores de químicos, por este motivo se realiza un aforo de las bombas que transportan los químicos al proceso y las condiciones en las que mejor se da dicha aplicación.

En condiciones normales y estables, la apertura del diafragma de la bomba del coagulante está entre 2,0 y 2,5, lo cual da como resultado 31,8-39 L/h. Y nuestro caudal promedio de

tratamiento es de 5,4 m³/h. Esto se determina mediante la fórmula que se presente posteriormente.

$$Q_{CoaguPlan} = \frac{V_{CoaguLab} Q_{DAF}}{V_{AguaLab}}$$

Donde:

Qcoaguplan: Es el caudal del coagulante (m³/h) que se deberá adicionar al proceso de la planta de tratamiento.

VcoaguLab: Es la velocidad del coagulante durante el aforo (L/h).

Qdaf: Es el caudal del DAF (m³/h).

VaguaLab: Es la velocidad del agua durante el aforo (L/h).

Tabla 5. Aforo bomba de coagulante.

% Apertura diafragma	Caudal (L/h)
0.5	2.4
1.0	10.2
1.5	18.0
2.0	31.8
2.5	39.0
3.0	48.0
3.5	52.2
4.0	54.0
4.5	56.4
5.0	58.5
5.5	60.0
6.0	71.4
6.5	84.0
7.0	92.4
7.5	94.8
8.0	97.7
8.5	101.3
9.0	107.4
9.5	112.5
10.0	127.2

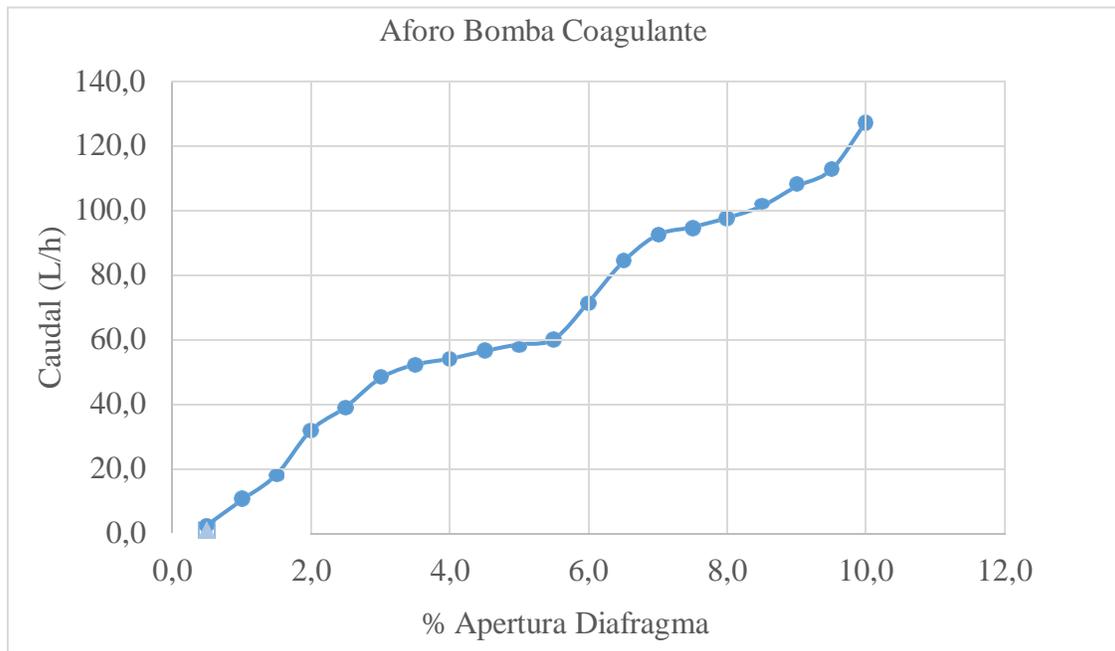


Figura 2. Aforo de la bomba.

En el primer test de jarras se determinó que para los químicos mencionados los valores que mejores resultados presentaron fueron los del vaso 1 con 50 ppm de floculante y 3500 ppm de coagulante. Estos análisis se basan principalmente en la coagulación y floculación que presenten los lodos durante el test. Se debe tener en cuenta que dichos lodos deben favorecer la sedimentación del material coloidal no sedimentable o aumentar la rapidez de sedimentación por la formación de flóculos, que la calidad del agua sea lo más clarificada posible y que los flóculos sean bastantes compactos.

En el segundo test de jarras que se probaron diferentes floculantes, se determinó, como ya se mencionó anteriormente que los resultados del SUPERFLOC-US-498 fueron los mejores para valores de 50 ppm, 2600 ppm de coagulante 9010 y 10 ppm de soda caustica. Este floculante es un polímero de alto peso molecular y alta densidad de carga catiónica.

Para llevar el resultado de los test de jarras a planta, se aplican las siguientes fórmulas matemáticas con caudal de agua de 4.54 m³/h.

$$\text{Caudal coagulante } \left[\frac{m^3}{h} \right] = \frac{\text{Coagulante dosificado [ml]} * 4.54 \left[\frac{m^3}{h} \right]}{500 [ml]}$$

$$\text{Caudal soda } \left[\frac{m^3}{h} \right] = \frac{\text{Soda dosificado [ml]} * 4.54 \left[\frac{m^3}{h} \right]}{500 [ml]}$$

$$\text{Caudal polímero} \left[\frac{m^3}{h} \right] = \frac{m^3 \text{ polímero dosificado [ml]} * 4.54 \left[\frac{m^3}{h} \right]}{500 \text{ ml}}$$

De acuerdo a los test realizados los valores llevados al proceso en la planta en el caso del floculante para ambos análisis fue de 50 ppm que equivale a 0.454 m³/h, para la soda caustica fue de 10 ppm que equivale a 0.09 m³/h y varía en el primer test para el coagulante con un valor de 3500 ppm que equivale a 29.06 m³/h y para el segundo test 2600 ppm que equivalen a 23.6 m³/h.

Tabla 6. Valores de seguimiento alcalinidad

Fecha	Alcalinidad (ppm)		% Remoción
	Entrada	Salida	
1/06/2021	6	4	33,3
8/06/2021	8	4	50
15/06/2021	7	4	42,9
22/06/2021	7	4	42,9
29/06/2021	7	4	42,9
6/07/2021	9	5	55,6

Se evidencia durante los días en que se realiza seguimiento al nivel de alcalinidad que sus valores iniciales que se encuentran en su mayoría en 7 ppm disminuyen a 4 ppm, lo que nos indica que disminuyeron significativamente la cantidad de ácidos como bicarbonatos y carbonatos, posicionándose dentro de los valores ideales para el agua que se trató.

Tabla 7. Valores de seguimiento hierro

Fecha	Hierro (0,1 ppm) Fe		% Remoción
	Entrada	Salida	
22/06/2021	0,17	0,14	17,6
23/06/2021	0,12	0,09	25
24/06/2021	0,13	0,1	23
25/06/2021	0,11	0,09	18
28/06/2021	0,04	0,01	75
29/06/2021	0,04	0	100
30/06/2021	0,08	0,06	25

6/07/2021	0,1	0,05	50
7/07/2021	0,06	0,03	50
9/07/2021	0,07	0,04	43
10/07/2021	0,02	0	100
12/03/2021	0,05	0,02	60
16/07/2021	0,03	0	100
21/07/2021	0,14	0,08	43
22/07/2021	0,11	0,05	55

Es de suma importancia mantener bajos los niveles de hierro del agua, ya que de esta forma se garantiza una buena calidad en el agua, sin colores, ni sabores desagradables que se pueden generar cuando los valores de este químico son altos.

Tabla 8. Valores de seguimiento de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

DQO				
Fecha	Clarificador (mg/l)	Descarga Global (mg/l)	%Restante	% Remoción
10/05/2021	3820	148	3,87	96,13
12/05/2021	8360	291	3,48	96,52
14/05/2021	9530	419	4,40	95,60
25/05/2021	5000	193	3,86	96,14
19/08/2021	1989	112	5,63	94,37
23/08/2021	832	114	13,70	86,30
26/08/2021	850	117	13,76	86,24
Total	1223,67	114,33	9,34	90,66

En la tabla 7 se resaltan los 3 últimos valores dado que el análisis se realizará a partir de dichos valores, debido a que, durante la realización y seguimiento de la planta, esta presentó problemas con los equipos, lo que dificultó el proceso. Para el mes que se encuentra resaltado, ya la planta contaba con el óptimo funcionamiento de todos los equipos. Por esta razón la cantidad de remoción de DQO se logró posicionar dentro de los valores establecidos por la norma.

Tabla 9. Valores finales de los parámetros de estudio

Parámetro promedio	Entrada	Salida	%Remoción	Decreto 0631	Cumplimiento
Hierro	0,09	0,05	56,00	1 mg/l	Si
DQO	1223,67	114,33	90,66	150 mg/l	Si
Alcalinidad	7	4	45	reporte	Si

En la tabla 8 se concluyeron los valores totales promedio que se obtienen para la remoción de los parámetros que se monitorearon. A partir de estos análisis se determina que estos parámetros cumplen con los valores permitidos por la norma.

6. Conclusiones

Al evaluar los valores de alcalinidad, hierro y DQO que se nos permitían medir y monitorear en la compañía y realizando los respectivos análisis de las cantidades de estos parámetros que se deben cumplir con respecto a la normatividad de acuerdo al tratamiento de las aguas residuales que se producen, se evidencia que los valores se encuentran dentro de los permitidos por la norma.

La simulación realizada para el proceso de tratamiento físico-químico en escala de laboratorio, permite determinar el tipo de coagulante, el pH (mediante adición y neutralización por soda caustica), y la dosis óptima de floculante a emplear para el agua que se tratará en la planta de tratamiento de agua residuales (domestica e industrial)

Con respecto a los valores de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) tomamos los tres últimos valores representativos, dado que durante el mes de mayo el equipo de la centrifuga en el pretratamiento de la planta presentó fallas y estuvo fuera de funcionamiento durante algunos días lo que dificultó todo el proceso de la PTAR. Además de esto, el reactor biológico presento fallas en su equipo de microburbujas, lo que obligó a un cambio en el sistema a otros equipos de aireación y mejoramiento del proceso como se evidencia en los valores.

En este diagnóstico también se encontró que la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa TABLEMAC MDF presenta una capacidad pequeña para la demanda de agua que se trata en ella, es decir, aunque cumple con todas las condiciones para el tratamiento del agua, las cantidades en el caudal que ingresan a la planta son mayores de las que le son posibles de tratar, lo que causa que en ocasiones se desestabilice y deba aplicarse mayor cantidad de químicos, aumentado así de manera considerable los costos de la compañía en términos de dosificación de químicos para el tratamiento de agua.

7. Referencias bibliográficas

- Bornhardt, C. I-149-Tratamiento aeróbico de efluentes provenientes de la industria de tableros prensados

- De la Peña, M. E., Ducci, J., & Zamora, V. (2013). Tratamiento de aguas residuales en México. *Banco Interamericano de Desarrollo* <http://publications.iadb.org/handle/11319/5931>.
- Díaz Lozano, J. C., Gómez Ramos, A. A., & Molano Chingate, J. A. (2015). Diagnóstico de operación de la planta de tratamiento de agua residual doméstica construida en el municipio de Cumaral en el departamento del Meta.
- Espinosa Camacho, J. C., Cifuentes Sánchez, J. Publicación de cartilla sobre Resolución 0631 de 2015 acerca de vertimientos.
- Gallardo, A., Bovea, M. D., Contreras, R., Lapeña, L., Ingelmo, F., & Molina, M. (2007, septiembre). Producción de compost a partir de viruta de madera y lodos estabilizados procedentes de una estación depuradora de aguas residuales urbanas. influencia de la temperatura en el proceso de compostaje. In *XI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Lugo (Spain)* (pp. 26-28).
- Lizarazo Becerra, J. M., Orjuela Gutiérrez, M. I. (2013). Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia. Instituto de Salud Pública.
- Moeller, G., & Tomasini, A. C. (2004). Microbiología de lodos activados. *Memorias curso internacional de sistemas integrados de tratamiento de aguas residuales y su reúso para un medio ambiente sustentable [Internet]*. Bogotá: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).
- Perdomo Ortiz, D. F., & Pérez Gutiérrez, F. A. Desarrollo y planificación del diseño del sistema automático de control de una planta de tratamiento de aguas residuales.
- Pineda Buitrago, L. L. (2017). Diagnóstico de la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) de Tunja-Boyacá.
- Ramón, V. L. (2010). Infraestructura sustentable: las plantas de tratamiento de aguas residuales. *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, 12(2), 58-69.
- Reynolds, K. A. (2001). Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica. *Latinoamérica*, 48-49.
- Robles, F. O., Rojo, J. C. T., & Bas, M. S. (2011). *Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes.: Aplicación de procesos industriales a la reutilización de aguas residuales*. Ediciones Díaz de Santos.
- Rodríguez Serrano, J. (2008). Tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades.
- Rojas, R. (2002). Sistemas de tratamiento de aguas residuales. *Gestión integral de tratamiento de aguas residuales*, 1(1), 8-15.

- Ronces Robles, M. M. (2018). Evaluación de funcionamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales de un municipio del sureste de México.
- Sotelo Serrano, J. (2019). Diagnóstico del sistema de tratamiento de aguas residuales de la PTAR de la cabecera municipal de el Tambo
- Yedra Machado, D. A. (2009). *Plan de Acción, Para el Incremento de la Eficiencia del Sistema de Tratamiento de los Residuales Generados en la Industria Arboriente SA* (Bachelor's thesis).