

**PROPUESTA PARA LA MEJORA EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES PARA LA EMPRESA ANALQUIM LTDA**

CLAUDIA VIVIANA MONTAÑO MONTAÑO

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C
2020**

**PROPUESTA PARA LA MEJORA EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES PARA LA EMPRESA ANALQUIM LTDA**

CLAUDIA VIVIANA MONTAÑO MONTAÑO

**Proyecto integral de grado para optar el título de:
INGENIERO QUÍMICO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C
2020**

NOTA DE ACEPTACIÓN

JUAN ANDRES SANDOVAL
Jurado

CLAUDIO ALBERTO MORENO
Jurado

Bogotá, febrero de 2020

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCIA-PEÑA

Vicerrectoría Académica y de Posgrados (E)

Dra. ALEXANDRA MEJIA GUZMÁN

Secretaria General

Dra. ALEXANDRA MEJIA GUZMÁN

Decano Facultad de Ingeniería

Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director Programa de ingeniería

Ing. LEONARDO DE JESUS HERRERA GUTIERREZ

Las directivas de la Fundación Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a Dios por permitirme culminar esta etapa y poder graduarme como profesional, ya que él fue mi inspiración y su fuerza me ayudo a seguir adelante con este proceso.

Esta tesis es dedicada a mi familia que siempre ha estado conmigo en los momentos más difíciles. Quiero agradecer a mis padres, Mónica y Jimmy, por su amor y apoyo en todo momento durante el desarrollo de este proyecto, así mismo por su paciencia y comprensión que tuvieron conmigo. Este título se los dedico a ellos con todo el amor del mundo.

Quiero agradecer a mi hermana Paula, por su apoyo moral que me brindó durante toda esta etapa de mi vida. A mi sobrino Juan Felipe, que es mi motor de vida, y quiero dejar un legado para él.

Por último, quiero agradecer y dedicar a mi novio Cristian Franco este proyecto de grado, por apoyarme en cada decisión, por su ayuda incondicional y su amor que me inspiró a seguir adelante y a luchar día a día por mis sueños.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	17
OBJETIVOS	18
1. MARCO TEORICO	19
1.1 GENERALIDADES ANALQUIM LTDA	
1.1.1 Aguas residuales	21
1.1.1.1 Agua Residual Doméstica	21
1.1.1.2 Agua Residual Industrial	22
1.1.1.3 Características de las aguas residuales	23
1.1.2 Tratamiento de Aguas Residuales	23
1.1.2.1 Tratamiento Primario	24
1.1.2.2 Tratamiento Secundario	26
1.1.2.3 Tratamiento Terciario	27
1.2 COAGULACIÓN	28
1.3 FLOCULACIÓN	30
1.4 RESOLUCIÓN 631 DE 2015	31
2. DIAGNOSTICO	31
2.1 DISPOSICIONES GENERALES	
2.1.1 Agua Residual Industrial	31
2.1.2 Instructivo para manejo interno de los Vertimientos Industriales	33
2.2 ESTADO DEL AGUA	33
2.2.1 Tipos de Agua y Fuentes Industriales	42
2.2.1.1 Detalles de Muestreo	49
2.3 ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA	49
2.3.1 Sistema de Tratamiento de Agua Residual Industrial	50
2.3.2 Descripción de la Operación del Sistema	53
2.3.2.1 Retención de Sólidos	53
2.3.2.2 Homogenización y ajuste de pH	53
2.3.2.3 Oxidación y Precipitación Química	54
2.3.2.4 Sistema de Filtración	57
3. PLAN DE MEJORAMIENTO PARA LAS PLANTAS DE AGUAS RESIDUALES	57
3.1 ETAPA 1: ESTUDIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA TRAMPA DE GRASAS COMO PRIMERA ETAPA DEL PROCESO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS	57
3.1.1 Trampa de Grasas	58
3.1.1.1 Tipo de Trampas de Grasas	59

3.2.1.2 Diseño de Trampa de Grasas	61
3.2 ETAPA 2: EVALUACIÓN DE UN NUEVO COAGULANTE	63
3.2.1 Ensayo de Jarras	63
3.2.1.1 Coagulantes Utilizados	64
3.2.1.2 Floculante Utilizado	66
3.2.1.3 Equipos utilizados para ensayo de jarras	66
3.2.1.4 Procedimiento para Ensayo de Jarras	69
3.2.1.5 Selección Coagulante	70
3.2.1.6 Resultados de Turbidez vs volumen del Cloruro Férrico	72
3.2.1.7 Resultados de pH vs volumen del Cloruro Férrico	73
3.2.1.8 Resultados de Conductividad vs volumen del Cloruro Férrico	73
3.2.1.9 Resultados de Alcalinidad vs volumen del Cloruro Férrico	74
3.2.1.10 Resultados de Conductividad vs volumen del Hidroxicloruro de Aluminio	76
3.2.1.11 Resultados de pH vs volumen del Hidroxicloruro de Aluminio	77
3.2.1.12 Resultados de Alcalinidad vs volumen del Hidroxicloruro de Aluminio	78
3.2.1.13 Resultados de Turbiedad vs volumen del Hidroxicloruro de Aluminio	78
3.3 ETAPA3: EVALUACIÓN DE UNA NUEVA RESINA PARA EL FILTRO DE MEMBRANA	82
3.3.1 Prueba Experimental	85
4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA MEJORA SELECCIONADA	88
4.1 Etapa 1. Implementación Trampa de grasas en la planta de Tratamiento de aguas residuales	88
4.2 Etapa 2. Nuevo coagulante: Cloruro Férrico	90
4.3 Etapa 3. Resina Mixta: Grado Electrolítico	91
5. ANALISIS DE COSTOS	92
5.1 Costos de Inversión	92
5.2 Costo de Operación	92
5.3 Costos Totales	94
6. CONCLUSIONES	95
7. RECOMENDACIONES	96
BIBLIOGRAFIA	97
ANEXOS	99

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Propiedades de las aguas residuales ²⁴	22
Tabla 2: Parámetros de límites permisibles Resolución 631 de 2015	28
Tabla 3: Metales límites permisibles resolución 631 de 2015	29
Tabla 4: Medidas a implementar para muestras de laboratorio	32
Tabla 5: Medidas a implementar para muestras de laboratorio	32
Tabla 6: Medidas a implementar para muestras de laboratorio	33
Tabla 7: Historial Muestras Septiembre de 2019 a Junio 2019	36
Tabla 8: Resultados de parámetros de caracterización de agua	41
Tabla 9: Información Muestra 1812541	43
Tabla 10: Resultados de metales Caracterización de agua	46
Tabla 11: Resultados de parámetros Físicoquímicos de Caracterización de Agua	47
Tabla 12: Parámetros para diseño de trampa de Grasas	61
Tabla 13: Dimensiones para diseño de trampa de Grasas	61
Tabla: 14 Ventajas y Desventajas de la Trampa de Grasas	62
Tabla 15: Ventajas y Desventajas de Coagulantes	65
Tabla 16: Parámetros antes del Test de Jarras	69
Tabla 17: Dosificación Coagulante	70
Tabla 18. Parámetros después del Ensayo de Jarras – Cloruro Férrico	72
Tabla 19: Dosificación Hidroxicloruro de Aluminio	74
Tabla 20 Parámetros después del Ensayo de Jarras Hidroxicloruro de Aluminio	76
Tabla 21: Matriz de Selección del Coagulante	80
Tabla 22: Resultados de Metales luego del desarrollo experimental	87
Tabla 23: Condiciones de operación Test de Jarras	90
Tabla 24: Costo de Trampa de Grasas	92
Tabla 25: Costo de Insumos	93
Tabla 26: Costo de Mano de Obra	93
Tabla 27: Costos Totales	

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1: Coagulación	26
Figura 2: Planta de Tratamiento de agua residual industrial ANALQUIM LTDA	50
Figura 3: Operaciones y procesos de la planta de Tratamiento de Agua Residual Industrial ANALQUIM LTDA	52
Figura 4: Filtro de Carbón Activado y Filtro membrana	55
Figura 5: Caja de Inspección Externa de ANALQUIM LTDA	56
Figura 6: Trampa de grasas, vista interior	58
Figura 7: Trampa de Grasas Aérea	59
Figura 8: Trampa de Grasas de piso o subterránea	60
Figura 9: Trampa de Grasas de por flotación mediante aire disuelto (DAF)	60
Figura 10: Plancha de Agitación	66
Figura 11: pHmetro	67
Figura 12: Conductímetro	68
Figura 13: Ensayo con Cloruro Férrico	71
Figura 14: Ensayo con Cloruro Férrico y Superfloc Kemira	71
Figura 15: Ensayo con Hidroxicloruro de Aluminio	75
Figura 16: Ensayo con Hidroxicloruro de Aluminio y Superfloc Kemira	75
Figura 17: Agua Tratada con el Coagulante Seleccionado – Cloruro Férrico	81
Figura 18: Filtro Multimedia FILTER	82
Figura 19: Resina para filtro de Membrana	83
Figura 20: Resina Mixta Electrolítica	84
Figura 21: Prueba experimental de la resina a Nivel Laboratorio	85
Figura 22: Multiparámetro Agua	86

LISTA DE DIAGRAMAS

	pág.
Diagrama 1: Operaciones y procesos de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Industrial	51
Diagrama 2: Procedimiento para el Ensayo de Jarras	70
Diagrama 3: Operaciones Unitarias de la planta de Tratamiento de Agua	89

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1: Diagrama de Barras, Historial Muestras Septiembre de 2019 – Junio de 2019	37
Gráfica 2: Porcentaje de Muestras, Septiembre de 2019-Junio de 2019	39
Gráfica 3: Caudal VS Tiempo	44
Gráfica 4: Temperatura VS Tiempo	44
Gráfica 5: pH VS Tiempo	45
Gráfica 6: Parámetros Fisicoquímicos	48
Gráfica 7: Metales	48
Gráfica 8: Turbidez VS Volumen Coagulante	72
Gráfica 9: pH Vs Volumen del Coagulante	73
Gráfica 10: Conductividad Vs Volumen del Coagulante	73
Gráfica 11: Alcalinidad Vs Volumen del Coagulante	74
Gráfica 12: Conductividad Vs Volumen del Coagulante	77
Gráfica 13: pH Vs Volumen del Coagulante	77
Gráfica 14: Alcalinidad Vs Volumen del Coagulante	78
Gráfica 15: Turbiedad Vs Volumen del Coagulante	79

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1: Caudal	42
Ecuación 2: Sumatoria de Caudal	42
Ecuación 3: Volumen de Diseño para Trampa de Grasas	88
Ecuación 4: Volumen Real	88

GLOSARIO

AGUA RESIDUAL: es un tipo de agua que proviene del uso doméstico o nivel industrial y que a su vez han sido modificadas con residuos orgánicos.

CAUDAL: es un flujo que pasa a través de un ducto por unidad de tiempo.

CONDUCTIVIDAD: es la capacidad que tienen las sustancias líquidas de poder conducir calor y electricidad.

DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO (DBO): es la cantidad de oxígeno que los microorganismos en el agua consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas.

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO): es la cantidad de sustancias que son oxidadas por medios químicos y que son disueltas en un residuo líquido.

GRASAS Y ACEITES: las grasas y aceites son compuestos orgánicos constituidos por ácidos grasos de fuente animal, vegetal o hidrocarburos derivados del petróleo.

IMPACTO AMBIENTAL: son los efectos causados por los seres humanos sobre el ecosistema al modificar el medio ambiente.

LIXIVIADO: es un residuo líquido que proviene de la descomposición de la basura y desechos orgánicos, que generalmente su mal manejo produce un daño al medio ambiente.

METALES PESADOS: grupo de elementos químicos que pertenecen a ciertas sustancias de la tabla periódica, por lo general son tóxicos para los seres humanos.

MUESTRA COMPUESTA: es una combinación de muestras individuales de agua residual que se toman en diferentes intervalos de tiempo.

MUESTRA PUNTUAL: es el tipo de muestra que se recoge manualmente y es tomado con el fin de saber un dato in-situ en el agua.

pH: es la unidad de medida de alcalinidad o acidez en una sustancia, mide la cantidad que tiene una solución determinada de iones de hidrógeno.

SÓLIDOS SUSPENDIDOS: son partículas que se encuentran en suspensión en el agua.

TRAMPA DE GRASAS: es un equipo fabricado de acero inoxidable que se usa para separar residuos sólidos y grasas de aguas con residuos orgánicos y que van directamente al alcantarillado público.

TURBIEDAD: es la medida que sirve para identificar cuando el agua pierde su transparencia a causa de las partículas en suspensión.

VERTIMIENTO: es la descarga final de un elemento, contaminante o sustancia que se encuentra contenido en un líquido residual proveniente de algún tipo de industria o uso doméstico.

RESUMEN

PROPUESTA PARA LA MEJORA EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA EMPRESA ANALQUIM LTDA.

Este proyecto se desarrolla inicialmente con el estudio del estado actual del agua y de la planta de tratamiento de aguas, luego se propone alternativa de mejora que consta de tres partes para la problemática que se presenta en este momento en la empresa. En primer lugar se tiene la implementación de una trampa de grasas al inicio del proceso del tratamiento del agua; en segundo lugar se tiene el uso de un nuevo coagulante Cloruro Férrico para el proceso de coagulación y floculación; y por último, el uso de una resina mixta de grado electrolítico para los filtros de membrana ubicados a final de la planta de tratamiento. La selección de mejora con el fin de reducir los contaminantes expuestos en el agua que no cumplen con la resolución 631 de 2015. Se analizó las especificaciones técnicas de las alternativas de mejora seleccionadas y sus costos respectivos.

Palabras Claves: Aguas Residuales, Vertimiento, Operaciones Unitarias, Test de Jarras, Filtro de membrana.

INTRODUCCIÓN

Con el paso de los años Colombia muestra un crecimiento a nivel industrial donde hay creación de empresas de distintas actividades comerciales que a su vez causan un alto impacto ambiental; esto sucede por los residuos generados que producen las compañías y que en ocasiones no manejan un buen programa para el manejo de los mismos. La solución más adecuada para que se reduzca esta contaminación al medio ambiente es una propuesta en el tratamiento de los vertimientos que caen directamente al alcantarillado.

ANALQUIM LTDA, es un laboratorio ambiental que por su actividad industrial genera una alta demanda de residuos con fuentes orgánicas a través del agua residual que se vierte al alcantarillado. Para ello, la empresa cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales que contiene una tanque agitador en el cual ocurre el proceso de oxidación y precipitación química, y dos filtros para la reducción de partículas sólidas. Sin embargo, en ocasiones la caracterización de agua ha dado como resultado el incumplimiento de algunos contaminantes según la normatividad legal como lo son DBO, DQO, Grasas y Aceites y algunos metales, Cinc, Hierro, Selenio y Cromo. Por tal motivo se realiza una propuesta con el fin de obtener una mejora para el estado de la planta y el agua. El desarrollo de este proyecto consta de varias etapas que tienen como fin la reducción de contaminantes orgánicos y poder cumplir la normatividad legal en la ciudad de Bogotá D.C

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta para la mejora en el sistema de tratamiento de aguas residuales en la empresa ANALQUIM LTDA.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diagnosticar el estado actual de la planta de tratamiento de remanente de muestras analizadas.
2. Seleccionar el mejor tratamiento mediante un desarrollo experimental.
3. Determinar las especificaciones técnicas de la mejora seleccionada.
4. Estimar los costos involucrados en el desarrollo de la mejora de la planta.

1. MARCO TEORICO

Los laboratorios ambientales pertenecen a una de las industrias donde se presentan más contaminación ambiental de efluentes por la alta carga de materia orgánica que contiene. Por lo tanto este tipo de industria debe contar con un sistema de vertimiento en el cual se realice un tratamiento para evitar la contaminación ambiental.

En el presente capítulo se detallan las generalidades de la empresa ANALQUIM LTDA, así mismo la problemática que presentan actualmente con respecto a sus vertimientos industriales y algunos conceptos básicos para el desarrollo del proyecto.

1.1 GENERALIDADES ANALQUIM LTDA.

ANALQUIM LTDA es una empresa especializada en la prestación de servicios de monitoreo y análisis fisicoquímicos de aguas potables e industriales. De igual forma presentan servicios en el análisis en matrices ambientales (aire, ruido, suelos, residuos e hidrobiología).

Se encuentra ubicada en la ciudad de Bogotá D.C en el barrio Alcázares Norte, donde cuenta con un laboratorio de análisis fisicoquímico para aguas, suelos y aire; ANALQUIM LTDA, cuenta con equipos que han permitido incrementar su capacidad de producción y recibir muestra de todo tipo de industria, así mismo agua residuales ya sean doméstica o industriales.

1.1.1 Aguas Residuales. Un agua residual es el tipo de agua vertida en algún proceso productivo que contienen contaminantes orgánicos, biológicos e inorgánicos, y por lo tanto pueden generar una alta contaminación ambiental después de realizar el efluente. En ANALQUIM LTDA, los remanentes de aguas se generan luego del proceso de análisis de cada matriz que por lo general vienen de un tipo de fuente industrial o no domestica; lo cual genera la problemática ambiental.

1.1.1.1 Agua Residual Doméstica: es el tipo de residuo líquido que proviene de viviendas, zonas residenciales, que generalmente contiene desechos humanos.

1.1.1.2 Agua Residual Industrial: son aguas que se caracterizan por proceder de cualquier tipo de actividad industrial donde se involucran procesos de producción; contienen un gran número de contaminantes entre los que podemos encontrar metales pesados, materia orgánica, pesticidas, etc.

1.1.1.3 Características de las aguas residuales: las aguas residuales presentan diferentes componentes orgánicos e inorgánicos. Los efluentes residuales tienen compuestos que no pueden ser tratados convencionalmente por su alta carga en su concentración por lo tanto en las grandes industrias se dispone de tratamiento más avanzados donde los mismos puedan ser mejorados.

En la siguiente tabla encontramos las diferentes propiedades físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales:

Tabla 1 Propiedades de las aguas residuales

Propiedades Físicas	1. Color
	2. Olor
	3. Sólidos
	4. Temperatura
Propiedades Químicas Orgánicas	1. Carbohidratos
	2. Grasas y Aceites
	3. Pesticidas
	4. Fenoles
	5. Tensoactivos
	6. Compuestos orgánicos volátiles
Propiedades Químicas Inorgánicas	1. Alcalinidad
	2. Metales Pesados
	3. Nitrógeno
	4. PH
	5. Fosforo
Propiedades Biológicas	1. Bacterias

Fuente: Aguas Residuales Composición. M ESPIGARES GARCÍA. 2005

A continuación se encuentran algunas definiciones de los principales contaminantes en el tratamiento de aguas residuales.

- **Materia orgánica biodegradable:** es el componente que está formado por proteínas, carbohidratos, grasas de origen animal. La misma puede ser medida en función de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).
- **Materia orgánica refractaria:** es el tipo de materia orgánica que tiende a resistir los sistemas convencionales de tratamiento. Entre ellos encontramos los tensoactivos, los fenoles y pesticidas.

- **Metales Pesados:** son componentes agregados con el paso del tiempo a través de actividades comerciales e industriales y si se desea reutilizar agua, estos tipos de sustancias deben ser eliminados.
- **Nutrientes:** los nutrientes que encontramos generalmente en las aguas residuales son el Fosforo, Nitrógeno y Carbono, que son importantes en el crecimiento y cuando son vertidos al entorno acuático pueden aportar a algún tipo de materia orgánica.
- **Patógenos:** los organismos patógenos que se encuentran en el agua pueden transmitir diferentes enfermedades contagiosas.
- **Sólidos en suspensión:** este tipo de sustancias dan lugar al desarrollo de condiciones anaerobias cuando se vierte el agua al alcantarillado.
- **Sólidos inorgánicos disueltos:** tales como el calcio, sodio, y sulfatos se van añadiendo al agua como uso de la misma.

1.1.2 Tratamiento de Aguas Residuales. Las aguas con sustancias contaminantes provienen de varios tipos de fuente, ya sean industriales o domésticas, y que están compuestas por un gran número de partículas de diferentes tamaños que en ocasiones presentan un grado de complejidad al momento de removerlos. Un tratamiento de aguas corresponde al conjunto de operaciones unitarias que involucran procesos químicos, físicos, y biológicos, y que por lo tanto tienen como objetivo la eliminación de carga de contaminantes.

Los tratamientos de aguas residuales involucran una serie de pasos que se pueden clasificar en tratamiento primario, secundario y avanzado.

1.1.2.1 Tratamiento Primario. Esta etapa consiste en la eliminación de sólidos, a través de un sistema sencillo en la limpieza del agua.

El proceso primario comprende operaciones como sedimentación, flotación y malla de barreras; principalmente se pretende la reducción de los sólidos en suspensión del agua residual, los sólidos sedimentables, sólidos flotantes y sólidos coloidales.

- **Mallas de barreras:** instrumentos que tienen como función remover algún tipo de material como papel, plásticos y madera que al no ser eliminados pueden causar daños que impidan el proceso, e incluso alcanzan a taponar las tuberías. Estas mallas deben ser fabricadas en un material anticorrosivo ya que con el paso constante del agua puede generar fricción y se desgastan. Este instrumento debe ser ubicado en la parte inferior de la tubería con el fin de disminuir la presión del agua.

- **Sedimentación:** tiene como objetivo separar todas las partículas que están suspendidas en el agua, por la acción de la gravedad, cuyo peso específico es mayor que el del agua. En las aguas residuales esta operación unitaria se usa para la eliminación de arenas, removiendo las partículas más grandes y pesadas. El equipo de sedimentación consiste en tanques que pueden variar en la forma y tamaño, ya que depende de la demanda de agua que va a ser tratada y el tipo de caudal de la misma.
- **Flotación:** tiene como objetivo la separación de material sólido con baja densidad como partículas líquidas de una fase líquida, es decir el agua en este proceso. Funciona pasando aire a través de agua residual en forma de burbujas, permitiendo que los sólidos y las partículas asciendan a la superficie para luego ser retirados.

1.1.2.2 Tratamiento Secundario. El propósito del Tratamiento Secundario es completar el proceso de tal modo que se evacúe el 90% de los contaminantes. El equipo usado es un Tanque de Aireación que proporciona enormes cantidades de aire a una mezcla de aguas residuales, bacterias y otros microorganismos. El oxígeno en el aire acelera el crecimiento de microorganismos útiles que consumen la materia orgánica dañina en el agua residual.¹ Este tratamiento consta de un proceso en el cual se encuentra una lista de procesos microbiológicos que pueden ser aerobios o anaerobios. Para la eliminación de carga contaminante se realiza a través de microorganismos que permiten la cantidad de DBO y DQO.

- **Procesos Aerobios:** este proceso se realiza en presencia de oxígeno; por lo tanto, se introducen en los tanques donde se encuentran las aguas residuales. En esta parte del proceso se presenta la degradación de materia orgánica y en la cual se desprende agua y CO_2 y algunos productos derivados del nitrógeno. El nitrato es un ion que se forma en la degradación de fuentes con alta carga orgánica, proceso que se llama nitrificación, y a pesar de que el nitrato ya no es tóxico, puede generar una alta proliferación de algas por lo tanto se realiza un proceso de desnitrificación donde se convierte en nitrógeno y el mismo se libera en la atmósfera.
- **Procesos Anaerobios:** esta etapa se realiza en ausencia de oxígeno y la materia orgánica se convierte en energía, metano y dióxido de carbono en un proceso de reacción fermentativa.

¹ Tratamiento de Aguas Residuales, Belzona Inc, 2010 Primera Edición. Editor Jefe: Alejandra Tronconis.

https://www.belzona.com/es/solution_maps/wastewater/money_map.pdf

En el tratamiento secundario se aplican algunos métodos de depuración de aguas residuales, entre los que encontramos los lodos activos, lechos bacterianos, filtros verdes y digestión anaeróbica.

- **Lodos Activos:** es un proceso en presencia de oxígeno, consiste en agregar grumos de materia orgánica al agua residual e infiltrar oxígeno.
- **Lechos Bacterianos:** es un proceso aeróbico, donde hay unos soportes y se encuentran los microorganismos y el agua residual.
- **Filtros Verdes:** cultivos que son agregados con aguas residuales y van absorbiendo sus compuestos.
- **Digestión anaeróbica:** es un proceso que se realiza en tanques cerrados y usan bacterias que tienen la capacidad de producir ácido que se encarga de la degradación de la materia orgánica.

1.1.2.3 Tratamiento Terciario. Es la eliminación de agentes patógenos, es decir carga orgánica residual y sustancias contaminantes, como por ejemplo, los nutrientes, fósforo y nitrógeno. Esta etapa de tratamiento es opcional y se usa generalmente cuando el agua vertida se va a reutilizar. Se usan métodos como radiación ultravioleta, intercambio iónico, filtración, cloración.

El tratamiento terciario se emplea para separar la materia residual de los efluentes de procesos de tratamiento biológico, a fin de prevenir la contaminación de los cuerpos de agua receptores, o bien, obtener la calidad adecuada para el reuso, factor de importancia en la planeación de recursos hidráulicos donde el abastecimiento de agua potable es limitado.²

1.2 COAGULACIÓN

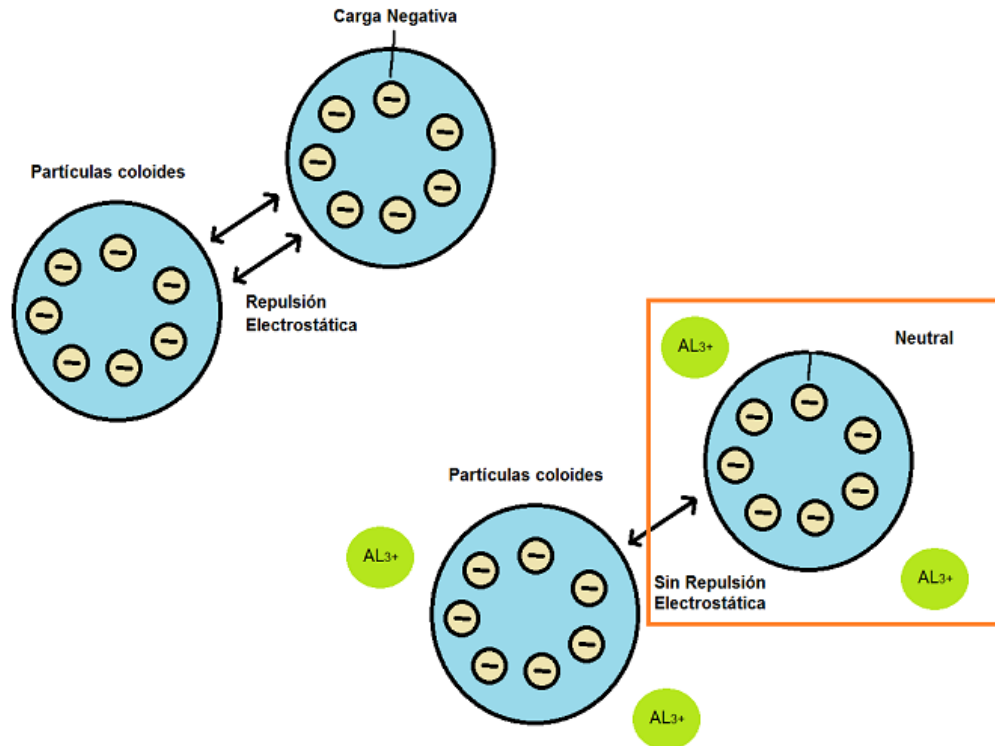
Es el proceso en el cual las partículas coloidales se desestabilizan a causa de la adición de un reactivo químico, también llamado coagulante, se neutralizan las cargas electrostáticas, y hace que las partículas tiendan a unirse entre sí.

A continuación, se mostrará a partir de una ilustración, el proceso de coagulación se muestra como las sustancias químicas anulan las cargas eléctricas de la superficie

² Métodos para Tratamiento Terciario de Aguas Residuales. Civilgeks.com. Ingeniería y Construcción

del coloide permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos.³

Figura 1 Coagulación



Fuente: ANDIA, Yolanda. Tratamiento de agua: coagulación floculación. Lima, abril 2000.

Entre los coagulantes más usados para desestabilizar particular y formar de flóculo, se encuentra el Sulfato de Aluminio, Cloruro de Aluminio, Cloruro Férrico, Sulfato Férrico, Sulfato Ferroso.

- **Mecanismos de Coagulación:**

- Clase Adsorción – Desestabilización:**

³ ANDIA, Yolanda. Tratamiento de agua: coagulación-floculación. Lima, abril 2000. [En línea]. [Citado 13 de septiembre de 2015]. Web: <http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154>.

- a) **Neutralización de Carga:** se puede realizar por cambio de la concentración de los iones que determinan el potencial del coloide o por adsorción de iones que poseen una carga opuesta. ⁴
- b) **Compresión de la doble capa:** En este proceso los iones se incorporan en la capa difusa y esto hace que se disminuya la magnitud de las fuerzas repulsivas y se elimine la barrera de energía.

Clase Puente Químico:

- a) **Unión de Partículas por medio de cadenas poliméricas:** se establecen enlaces de hidrogeno, covalentes o iónicos. Entre las moléculas adsorbidas y las superficies de los coloides. Hay presencia de puntos fijos de adsorción dejando el resto de la cadena libre, con el fin de que pueda flotar en el líquido y adherirse formándose un puente molecular. ⁵

Incorporación y barrido:

- a) **Producción de precipitado químico:** ocurre cuando las concentraciones de coagulantes son altas lo cual hace que se exceda el límite de solubilidad del compuesto en el agua.

1.3 FLOCULACIÓN

Corresponde a la segunda etapa y ocurre luego de la coagulación, consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad. ⁶

•Tipos de Floculación:

- ✓ **Floculación Pericinética:** aplica al movimiento browniano, es decir es producido por el movimiento natural de las moléculas del agua y es inducido por la energía térmica.

⁴ ARBOLEDA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. Bogotá, Colombia: Colciencias. 1992. P40

⁵ ARBOLEDA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. Bogotá, Colombia: Colciencias. 1992. P40

⁶ SEDAPAL, Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico, TRATAMIENTO DE AGUA: COAGULACIÓN FLOCULACIÓN, Ing. Yolanda Ardia Cárdenas. Lima, Abril del 2000.

- ✓ **Floculación Ortocinética.** consiste en las colisiones de partículas por el movimiento del agua. Luego de que el agua es coagulada se debe producir una aglomeración de microfloculos.
- **Floculantes**
 - ✓ **Floculantes Minerales:** sílice activada.
 - ✓ **Floculantes Orgánicos Naturales:** polímeros naturales extraídos de sustancias animales o vegetales. Ácido glucónico.
 - ✓ **Floculantes Orgánicos de síntesis:** ácido Acrílico, Poliacrilamidas.

1.4 RESOLUCIÓN 631 DE 2015

Establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles que deberán cumplir quienes realizan vertimientos puntuales a los cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. Así mismo, establece los parámetros objeto de análisis y reporte por parte de las actividades industriales, comerciales o de servicios.

La empresa ANALQUIM LTDA, se rige bajo el capítulo VII de la resolución, es decir, actividades industriales, comerciales. A continuación se observa la lista de parámetros con sus valores de límites máximos permisibles en el vertimiento para este tipo de industria según la normatividad. En el **ANEXO A**, se encuentra la resolución 631 de 2015 para Vertimientos de Aguas Residuales.

Tabla 2. Parámetros de límites permisibles Resolución 631 de 2015

PARÁMETRO	VALORES LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
pH	6,00 a 9,00 Unidades de pH
DQO	150,0 mg/L O ₂
DBO	50,0 mg/L O ₂
Sólidos Suspendidos Totales	50,0 mg/L
Sólidos Sedimentables	1,00 mg/L
Grasas y Aceites	10,0 mg/L
Fenoles Totales	0,20 mg/L
Tensoactivos	Análisis y Reporte
Ortofosfatos	Análisis y Reporte
Fósforo Total	Análisis y Reporte
Nitratos	Análisis y Reporte
Nitritos	Análisis y Reporte

Tabla 2. (Continuación)

PARÁMETRO	VALORES LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
Fluoruros	5,0 mg/L
Sulfatos	250,0 mg/L
Sulfuros	1,00 mg/L
Acidez Total	Análisis y Reporte
Alcalinidad Total	Análisis y Reporte
Dureza Cálcica	Análisis y Reporte
Dureza Total	Análisis y Reporte
Color Real	Análisis y Reporte

Fuente: Resolución 631 de 2015 (marzo 17) Diario Oficial No. 49.486 de 18 de abril de 2015

Tabla 3. Metales límites permisibles resolución 631 de 2015

PARÁMETRO	VALORES LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
Aluminio (Al)	Análisis y Reporte
Arsénico (As)	0,10 mg/L
Cinc (Zn)	3,00mg/L
Cobalto (Co)	0,10 mg/L
Cobre (Cu)	1,00 mg/L
Cromo (Cr)	0,10 mg/L
Estaño (Sn)	2,00 mg/L
Hierro (Fe)	1,00 mg/L
Litio (Li)	Análisis y Reporte
Manganeso (Mn)	Análisis y Reporte
Mercurio (Hg)	0,002 mg/L
Níquel (Ni)	0,10 mg/L
Plata (Ag)	0,20 mg/L
Plomo (Pb)	0,10 mg/L
Selenio (Se)	0,20 mg/L

Fuente: Resolución 631 de 2015 (marzo 17) Diario Oficial No. 49.486 de 18 de abril de 2015

2. DIAGNOSTICO

En este capítulo se encuentra el desarrollo de procesos y procedimiento de la empresa ANALQUIM LTDA; así mismo información sobre las fuentes generadoras de aguas que llegan al vertimiento en a empresa.

ANALQUIM LTDA, brinda el servicio de monitoreo, análisis fisicoquímicos, elaboración de informes técnicos, modelaciones, base de datos. El análisis fisicoquímico, se realiza en la matriz agua, aire y suelos.

- **Matriz agua y aire:** se realizan conforme a los lineamientos establecidos en el STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTE WATER, Métodos de la Agencia de Protección de los Estados Unidos (EPA), Métodos AOAC, entre otros métodos normalizados internacionales, cumpliendo a cabalidad con el aseguramiento de la calidad analítica en materia de metrología y material de referencia certificado.

Analquim Ltda ofrece cualquier tipo de análisis fisicoquímico para las diferentes matrices ambientales:

- ✓ Parámetros dentro del alcance de la Acreditación IDEAM.
- ✓ Parámetros dentro del Alcance de la Acreditación ONAC.
- ✓ Parámetros No Acreditados.
- ✓ Parámetros Subcontratados Acreditados.

2.1. DISPOSICIONES GENERALES

Con el fin de dar un correcto manejo y tratamiento a las aguas residuales generadas en el análisis de muestras, es importante identificarlas, caracterizarlas e implementar las medidas de control y técnicas de tratamiento necesarias para el cumplimiento de los criterios admisibles normativos, establecidos a nivel nacional o por la autoridad ambiental competente.

- **Identificación de las fuentes de generación de las Aguas Residuales:**

En las actividades diarias del análisis de muestras en el laboratorio, se generan aguas residuales de tipo industrial las cuales dependiendo su origen, pueden tener mayor o menor importancia en la calidad del vertimiento final que llega a la red de alcantarillado público.

Un aspecto relevante a considerar en el tratamiento de las aguas residuales, es la separación de redes hidrosanitarias, identificadas en la compañía ANALQUIM de tres (3) tipos de redes: Aguas Lluvias, Agua Residual Industrial, y Agua Residual Doméstica. El objetivo de las redes separadas, es evitar la dilución de

las aguas residuales industriales para facilitar el tratamiento y manejo de los contaminantes.

Las aguas residuales domésticas, provienen de los servicios sanitarios (aseo y baños) y de servicio de cafetería del área administrativa, en lo referente al Agua Residual Industrial, proviene del laboratorio (lavado de materiales), y del desecho de las muestras de agua analizadas.

Las descargas de Agua Residual Doméstica y Agua Lluvia se realizan directamente a la red de alcantarillado público, sin mezclarse con el agua residual industrial generada por el laboratorio.

2.1.1 Agua Residual Industrial.

- **Agua Residual de Análisis de Muestra de Laboratorio:** corresponde a las fracciones de muestra que son analizadas para cuantificar los diferentes parámetros requeridos para evaluación. Estas muestras, una vez finalizados los análisis, son vertidos en las pocetas localizadas en cada una de las áreas de análisis de laboratorio, luego estos vertimientos llegan directamente al sistema de tratamiento.
- **Agua Lavado material de Laboratorio:** se origina del enjuague del recipiente y elementos del laboratorio utilizados para el procesamiento de las muestras, estos vertimientos van directamente al sistema de tratamiento.
- **Agua residual de remanentes de muestras no procesadas:** corresponde a las partes de muestras preservadas que se han almacenado por control de calidad por lo menos durante 30 días calendario. A partir de este tiempo las muestras son liberadas previa autorización del Director de Laboratorio, momento en el cual pueden ser vertidas en la planta de tratamiento.
- **Agua residual del lavado de materiales de trabajo de campo:** también se generan aguas residuales con carga contaminante del lavado de recipientes y elementos de trabajo de campo, tales como las neveras, conos Imhoff, agitadores, probetas, baldes, frascos lavadores entre otros. Estos vertimientos van directamente al sistema de tratamiento.

2.1.2 Instructivo para manejo interno de los Vertimientos Industriales.

- **Vertimientos por procesamiento de muestras en el laboratorio.** el objetivo fundamental, es realizar el control en la fuente de los vertimientos industriales que se generan durante el procesamiento de las muestras. Estas medidas

mejorarán la eficiencia del tratamiento de los vertimientos y facilitarán el cumplimiento de la normatividad vigente.

Tabla 4 Medidas a implementar para muestras de laboratorio

Parámetro a controlar	Medida a implementar
Alcalinidad, Dureza, Sulfatos, Acidez	Enviar directamente a la poceta del área de laboratorio correspondiente
Nitritos	
Aluminio	
Volumetrías (Sulfuros)	

Fuente: Tratamiento de Agua Residual Industrial. ANALQUIM LTDA.
No. Versión: 7. Documento: ANQ-PR-039. Año: 2016

- **Funciones de muestras analizadas para neutralización previa, y posterior oxidación-precipitación química.**

Tabla 5 Medidas a implementar para muestras de laboratorio

	Medida a implementar
NKT (sal de cobre)	El destilado se vierte en la poceta y el residuo en el tanque de oxidación y precipitación química
Nitratos (Ácido Fenoldisulfónico)	La fracción analizada se debe neutralizar y luego llevar al tanque de oxidación-precipitación química
Fenoles (Ferrocianuro de Potasio)	
Cianuros (Ácido Sulfúrico, soda, AgNO ₃)	
Cloruros (Cromato Potasio, Nitrato de Plata)	La fracción analizada y remanente se lleva al tanque para oxidación y precipitación química.
Fósforo	
Ensayo de Metales por absorción atómica	La fracción analizada se debe neutralizar previamente y separar en una caneca y llevar a tanque para realización de oxidación química y precipitación química.

Fuente: Tratamiento de Agua Residual Industrial. ANALQUIM LTDA. No. Versión: 7.
Documento: ANQ-PR-039. Año: 2016

- **Residuos Líquidos de Muestras Procesadas para enviar a oxidación química y precipitación química.**

Tabla 6 Medidas a implementar para muestras de laboratorio

Parámetro a controlar	Medida a implementar
Fosfatos (Molibdeno, Estaño)	Almacenar en caneca para posterior oxidación y precipitación química.
Cromo hexavalente (Difenil Carbazida)	

Fuente: Tratamiento de Agua Residual Industrial. ANALQUIM LTDA. No. Versión: 7. Documento: ANQ-PR-039. Año: 2016

- **Fracciones de muestras no analizadas:** las fracciones de muestras remanentes no empleadas para análisis una vez sean liberadas previa autorización del jefe de laboratorio, se clasificarán por el auxiliar de laboratorio acorde al tipo de agua analizada, en los siguientes grupos:
 - ✓ **Potable-cruda-superficial:** estas muestras, incluyendo aquellas que correspondan a ensayos de tratabilidad de este tipo de aguas se pueden verter directamente a la red de alcantarillado.
 - ✓ **Aguas residuales industriales:** se debe clasificar aquellas muestras que fueron identificadas por los analistas quienes verificaron que los parámetros analizados presentan altas concentraciones que podrían alterar el funcionamiento normal del sistema de tratamiento.

2.2 ESTADO ACTUAL DEL AGUA

2.2.1 Tipos de aguas y fuentes industriales. Con ayuda de información que brindó la empresa se realizó un análisis de las muestras que ingresaron desde el mes de Septiembre de 2018 a Junio de 2019, donde se especifica el tipo de matriz respectivamente. La empresa ANALQUIM LTDA, presta el servicio para análisis de aguas y suelos y a continuación se mencionará las diferentes fuentes industriales para las muestras:

- **Agua Residual Doméstica:** es el tipo de agua que proviene principalmente de lugares residenciales, y algunas actividades comerciales. Son vertimientos que se recogen en conjunto al alcantarillado, y pertenecen generalmente a desechos humanos, baños, cocina, etc. Este tipo de agua aporta a los parámetros derivados del nitrógeno como nitritos, nitrógeno amoniacal, fosforo y DBO y DQO.
- **Agua Residual No Doméstica:** su fuente principal son empresas industriales que no especifican una actividad en particular. Debido a que no es claro el tipo de actividad industrial a realizar de las empresas, no es posible identificar una linealidad en los parámetros afectados; sin embargo, su carga orgánica por lo

general es alta, por lo tanto se relacionan en algunos análisis fisicoquímicos, DBO, DQO y grasas y aceites.

- **Industria Agrícola:** este tipo de industria se encarga de la producción masiva de un solo producto a través del proceso de cultivar la tierra. A ANALQUIM LTDA, ingresa un bajo porcentaje de este tipo de muestra; sin embargo actualmente, debido al constante uso de sustancias químicas como fertilizantes, pesticidas, lubricantes etc, en este proceso; el vertimiento se ve afectado principalmente a la carga de compuestos orgánicos fenólicos.
- **Industria de Alimentos:** se refiere a las empresas encargadas de producir cualquier tipo de alimento para consumo humano; de igual forma industrias que trabajen con transporte, almacenamiento de alimentos, como restaurantes, centros comerciales, bodegas. Este tipo de industria es una de las más importantes al momento de establecer la carga contaminante que aporta al vertimiento, ya que tiene una alta relación con DBO, DQO, fisicoquímicos, grasas y aceites, básicos.
- **Industria de Aseo, Higiene y Limpieza:** son las empresas que se encargan de producir, comercializar elementos que permitan la salubridad de instalaciones y equipos, a ese tipo de industria se les incluye empresas que presten el servicio de lavado como lavaderos de carros, lavanderías, etc. El lauril sulfato de sodio, es el principio activo de este tipo de productos; por consiguiente el parámetro directamente relacionado SAAM o sustancias activas al azul de metileno. Así mismo este tipo de mercado tiene una alta carga de sulfatos y fósforo.
- **Industria de Combustibles:** otro tipo de aguas que recibe ANALQUIM LTDA, son las que provienen de la producción de aceites combustibles, así mismo la comercialización del mismo.
- **Industria Farmacéutica:** debido a que los productos fabricados en este tipo de industria requieren de un gran número de sustancias químicas no hay relación explícita del aumento de parámetros en el vertimiento.
- **Sector salud:** el sector salud o la sanidad, es el conjunto de bienes y servicios encaminados a preservar y proteger la salud de las personas. Son muestras que llegan de hospitales, IPS, EPS, clínicas; estas entidades se comportan de manera similar al tipo de agua residual doméstica, ya que tiene fuente de desechos humanos por lo tanto una carga orgánica.⁷ Se

⁷ Organización Internacional del Trabajo. Sectores e industrias.
<https://www.ilo.org/global/industries-and-sectors/lang-es/index.htm>

relacionan directamente con DBO, DQO, Nutrientes, Grasas y aceites, pH, y en ocasiones cuando proviene de consultorios odontológicos aporta altamente al ion fluoruro.

- **Industria de Madera:** este tipo de área pertenece a la actividad industrial que se ocupa del procesamiento de la madera, desde su plantación hasta la transformación de objetos. A la compañía ingresa una baja cantidad de muestras que proceden de este tipo de industria, pero debido al procesamiento que tiene este producto, cuenta con un alto número de sustancias químicas que aportan cargas a algunos metales en el vertimiento.
 - **Industria Petrolera:** en el último año ANALQUIM LTDA, recibió aproximadamente un 3% de muestras de la industria de hidrocarburos. Este tipo de agua tiene una alta relación con el parámetro grasas y aceites e hidrocarburos; por lo tanto para el vertimiento se genera una gran carga de este análisis.
 - **Industria de Plásticos:** la industria del plástico comienza desde la refinería del hidrocarburo, por consiguiente este tipo de industria aporta altamente el parámetro de grasas y aceites e hidrocarburos. El sector del plástico hay unos tipos de polímeros que se relacionan directamente con el parámetro de Fenoles y Formaldehído para el vertimiento.
 - **Agua Potable:** la matriz de agua potable es analizada en su totalidad para los parámetros básicos, colorimétricos, volumétricos y para llevar a cabo todos estos análisis se usan varios tipos de reactivos, sin embargo este tipo de agua no aporta una carga significativa al vertimiento de aguas.
 - **Industria de Laboratorios Químicos:** ANALQUIM LTDA, tiene contratos con otros laboratorios ambientales que prestan el mismo servicio de la empresa, por lo tanto reciben aguas de todo tipo industria que desafortunadamente no especifican su origen o fuente de captación.
 - **Suelos y Lodos:** este tipo de matriz contiene un alto de contenido de nutrientes como fósforo y compuestos derivados del nitrógeno como nitritos y nitratos, por lo tanto al vertimiento aportan significativamente estos parámetros.
 - **Industria Textil:** en el sector de la industria textil manejan varios solventes en sus procesos que afectan directamente a los parámetros de metales pesados, fenoles, sulfatos, fosforo, nitrógeno.
 - **Vidrio:** el sector de la industria del vidrio afecta directamente al parámetro del sílice ya que uno de los principales componentes del vidrio es el óxido de silicio.
-

A continuación se observa el historial de muestras ingresadas a ANALQUIM LTDA, de Septiembre de 2018 a Junio de 2019.

Tabla 7 Historial Muestras Septiembre de 2019 a Junio 2019

<u>Fuente Industrial</u>	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Agrícola	9	5	20	19	1	0	1	11	3	2
Aguas Potables	92		117	130	66	50	13	56	55	49
Alimentos	9	14	21	23	14	17	8	11	22	14
ARD	110	281	91	107	78	81	21	78	94	43
ARND	202	83	262	298	114	121	55	88	141	98
Aseo y Cosméticos	3	3	16	2	5	8	1	7	1	3
Combustibles	19	0	16	8	2	4	0	0	6	10
Curtiembres	1	1	1	0	0	4	0	0	1	0
Desconocido	3	27	27	30	29	25	4	17	24	16
Farmacéutica	4	7	4	11	4	5	4	6	3	4
Hidrocarburos	25	14	18	19	14	16	4	0	3	4
Ind. Metalúrgica	4	2	0	3	0	0	0	1	1	0
Ind. Textil	4	3	0	2	4	0	0	2	3	1
Laboratorios Químicos	26	31	32	4	47	40	25	51	54	32
Lixiviados	1	1	0	2	3	0	0	0	0	0
Madera	0	1	2	0	1	0	0	0	2	3
Pinturas	5	0	1	0	1	0	0	1	1	0
Plásticos	9	4	7	4	0	1	0	0	1	1
Salud	35	45	52	31	20	10	0	17	31	27
Suelos y Lodos	26	23	33		24	26	15	31	43	26
Vidrio	0	0	0		2	2	0	0	2	1
TOTAL	587	545	720	693	429	410	151	377	491	334

Fuente: elaboración propia

En las siguientes figuras se representa el ingreso de muestras durante los 10 meses que van desde Septiembre de 2018 a Junio de 2019. En la primera se muestra en términos numéricos el ingreso de muestras y en la segunda el porcentaje de los mismos.

Gráfica 1 Diagrama de Barras, Historial Muestras Septiembre de 2019 – Junio de 2019



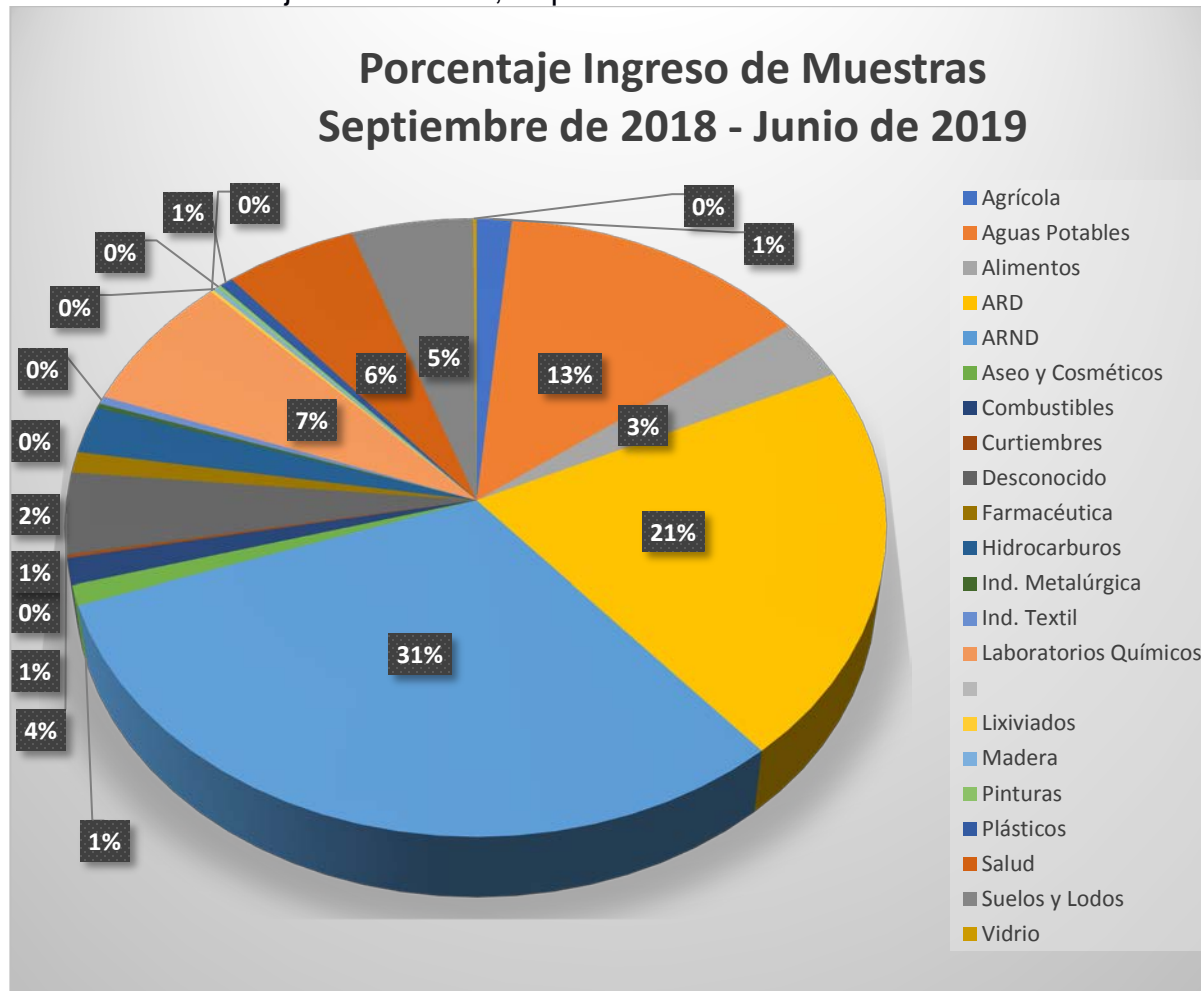
Fuente elaboración propia

Para el diagrama de barras se analiza que las muestras que han ingresado a ANALQUIM LTDA, en su gran mayoría corresponden a Aguas Residuales No Domésticas, es decir de fuentes industriales pero que no se puede determinar el sector del que proviene, ya que el cliente no especifica la actividad comercial; sin embargo, en las empresas que manejan procesos industriales por lo general manejan reactivos y solventes que pueden aportar parámetros como fenoles, cianuros, DQO al vertimiento. En segundo lugar tenemos Aguas Residuales Domésticas, por lo tanto éstas aportan significativamente los parámetros DBO, DQO, Grasas y Aceites, Nutrientes, debido a su fuente de desechos orgánicos, y residuos con alta carga orgánica al vertimiento.

Con respecto al diagrama circular en el cual se representa la información anterior pero en porcentaje, se puede observar que el menor número de muestras que ingresan a la empresa durante este rango de tiempo son los que corresponden a la Industria Textil y del Sector de Curtiembres, pero es muy posible afirmar que los meses en los cuales han ingresado, la carga orgánica aumenta significativamente, ya que este tipo industria maneja una alta demanda de residuos orgánicos. Cabe resaltar que una de las fuentes más importantes en desechos orgánicos son los lixiviados y éstos manejan un porcentaje de 0,148%, que a pesar de ser muy bajo, aportan a casi todos los parámetros para aguas residuales en el vertimiento. El sector hospitalario a partir del estudio anterior, tiene un porcentaje del 13 % y él mismo se relaciona directamente con los parámetros DBO, DQO, debido a su fuente orgánica.

Con la información anterior se puede concluir, que ANALQUIM LTDA, es una empresa que recibe aguas de todo tipo de fuente orgánico e inorgánico, por lo tanto su caracterización de la matriz es variable y con el tiempo no representa un comportamiento lineal.

Gráfica 2 Porcentaje de Muestras, Septiembre de 2019-Junio de 2019



Fuente elaboración Propia

2.2.2 Caracterización agua residual – Resolución 631 de 2015. Con el fin de observar el comportamiento y el estado que presenta las aguas residuales en la empresa actualmente, se solicitó a la compañía, el historial de caracterizaciones recientes, en el cual evidencie los resultados de la totalidad de parámetros a analizar basados en la resolución 631 de 2015 para vertimientos industriales.

ANALQUIM LTDA realiza cada 3 meses una caracterización de agua al vertimiento generado por los residuos y remanente de muestras del laboratorio, en las instalaciones de la empresa donde se analizan los parámetros del capítulo XV de la resolución 631 de 2015, por el tipo de actividad comercial, correspondiente a un laboratorio ambiental. Para los meses de Septiembre, Diciembre de 2019 y Marzo de 2019 la empresa realizó un estudio completo de los parámetros a analizar según la normatividad legal, donde arrojaron los siguientes resultados.

Tabla 8 Resultados de parámetros de caracterización de agua

SEPTIEMBRE DE 2018		
PARÁMETRO	VALORES LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	VALOR OBTENIDO EN EL LABORATORIO
DQO	150,0 mg/L O ₂	189
DBO5	50,0 mg/L O ₂	102
Grasas y Aceites	10,0 mg/L	18
Hierro (Fe)	1,00 mg/L	1,69
Selenio (Se)	0,20 mg/L	0,019
DICIEMBRE DE 2018		
PARÁMETRO	VALORES LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	VALOR OBTENIDO EN EL LABORATORIO
DQO	150,0 mg/L O ₂	246
DBO	50,0 mg/L O ₂	102
Grasas y Aceites	10,0 mg/L	14
Hierro	1,00 mg/L	2,36
Selenio	0,20 mg/L	0,018
MARZO DE 2019		
PARÁMETRO	VALORES LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	VALOR OBTENIDO EN EL LABORATORIO
DBO5	50,0 mg/L O ₂	41
Cromo (Cr)	0,10 mg/L	0,13
Hierro (Fe)	1,00 mg/L	5,53

Fuente elaboración propia

En el cuadro anterior se muestran los parámetros que no cumplen con la normatividad para el vertimiento, es decir un histórico durante el mes de septiembre de 2018, diciembre de 2018, marzo de 2019 en la empresa. Donde se analiza que el parámetro DQO tiene un promedio de 217,5 y que se no cumple para 2 de los meses analizados. En el caso de la DBO, este parámetro tiene un promedio de 81,6 mg/L DBO. El parámetro de grasas y aceites se calcula en un promedio en concentración de 16 mg/L y se observa que no cumple en 2 de los 3 meses analizados. Por otro lado, se presenta un incumplimiento a la norma de algunos metales como el hierro y el selenio, que no cumplen con la resolución; así mismo el cromo se sale de la norma superando el valor de 0,10 mg/L Cr.

Los arrojados por los análisis, demuestran que las fuentes hídricas que ingresan a ANALQUIM LTDA, tienen una alta carga orgánica consecuente de la variedad de industrias que hay y que aportan al incumplimiento de la normatividad legal.

2.2.2.1 Detalles de Muestreo. Para darle continuidad al estudio anterior del estado del agua, en el mes de Julio de 2019 se realizó el muestreo compuesto del vertimiento de aguas residuales durante las actividades normales de la empresa, en tiempo de 8 horas y medidas continuas; esto con el fin de poder fijar varias condiciones y factores que van cambiando a medida que pasa el tiempo y que a su vez tienen una implicación sobre el vertimiento. Las muestras fueron tomadas en la caja de inspección externa a donde llega el vertimiento realizado por la empresa. La muestra tomada, es la recolección de varias muestras tomadas cada treinta (30 minutos), y que a su vez se fueron refrigerando con el objetivo de evitar su alteración. La mezcla de muestras fue envasada en recipientes adecuados para el análisis fisicoquímico completo según la normatividad legal.

- Cada treinta (30) minutos se tomó un respectivo volumen para estimar el caudal del vertimiento. El caudal puntual para cada punto se calculó a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 1 Caudal

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

Dónde:

Q= Caudal en litros, L/s

V = Volumen en litros, L

T = tiempo en segundos, s

- A partir de los datos obtenidos por cada caudal puntual se realizó la sumatoria de caudales:

Ecuación 2 Caudal

$$\sum Q_p$$

Dónde Q_p , se define como caudal puntual

En el proceso de muestreo las alícuotas corresponden a la porción de muestra individual expresada en unidad de volumen que hará parte de la muestra compuesta. Luego de finalizar el muestreo se calculó la sumatoria de caudales y a partir de los parámetros a analizar en la laboratorio se determinó el volumen mínimo necesario, que es de 3358 mL. ANALQUIM LTDA, generó un informe con la información de la muestra tomada que se encuentra en el ANEXO B, sin embargo en la siguiente tabla se muestran los datos del muestreo compuesto:

La información de la muestra tomada se encuentra a continuación:

Tabla 9 Información Muestra 18125

ANALQUIM LTDA	
Caja de Inspección Externa	
Código de Muestra	181235
Caudal Promedio	0,031 L/s
Origen de Descarga	Planta de Tratamiento
Tipo de Descarga	Continuo
Tiempo de Descarga	8 horas
Frecuencia de Descarga	Diario
Tipo de Muestra	Compuesta Residual
Número de Alícuotas Registradas	17 alícuotas
Volumen Total Monitoreado	3358 mL

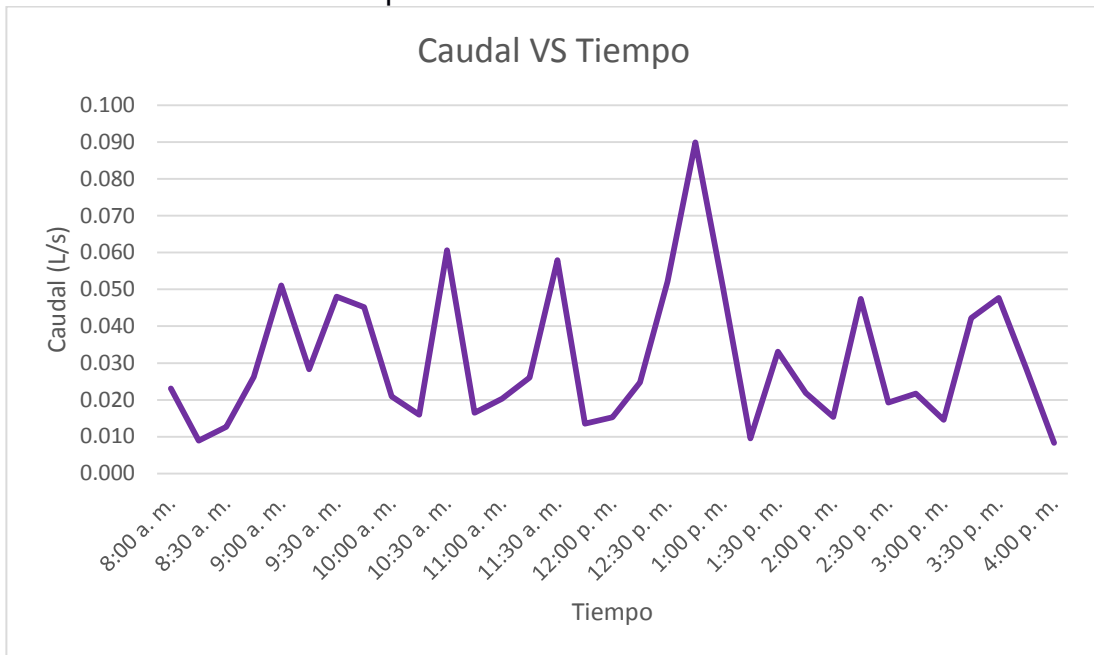
Fuente: INFORME DE CARACTERIZACIÓN DE AGUA ANALQUIM LTDA, 2019

A partir de los detalles de muestreo se tomaron varios factores in-situ, temperatura, pH, sólidos sedimentables y caudales en determinado tiempo de descarga, ya que estos parámetros tienen un comportamiento variado con el paso del tiempo. A continuación se muestran las gráficas de la relación del tiempo con los anteriores parámetros in-situ.

Gráfica Caudal VS Tiempo: en la relación del caudal con el paso del tiempo se establece un caudal promedio que va desde el rango de 0,05 a 0,06 L/s en

determinadas horas tanto de la mañana como de la tarde; sin embargo la gráfica presenta un pico alto para un caudal de 0,09 L/s al medio día.

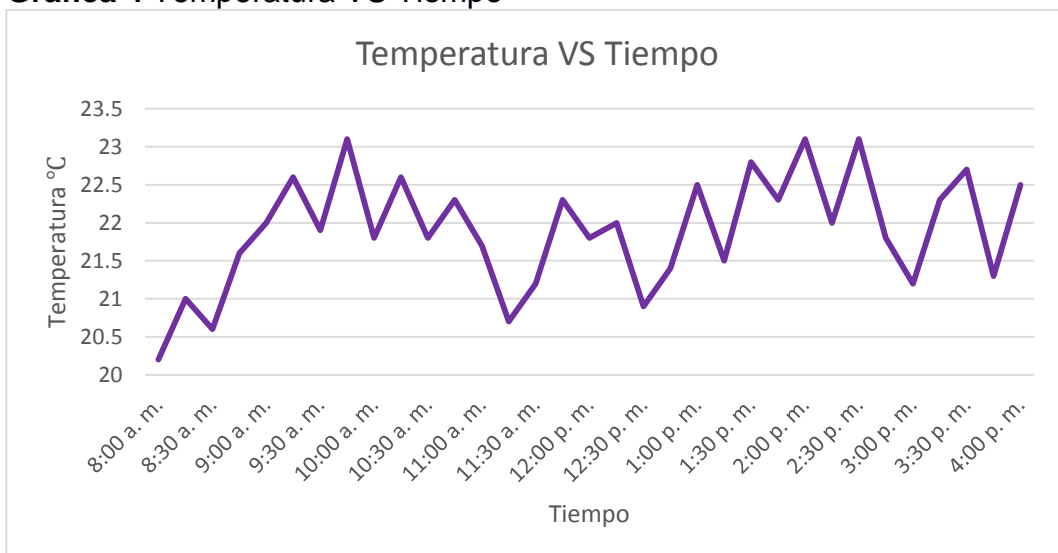
Gráfica 3 Caudal VS Tiempo



Fuente elaboración propia

Gráfica Temperatura VS Tiempo:

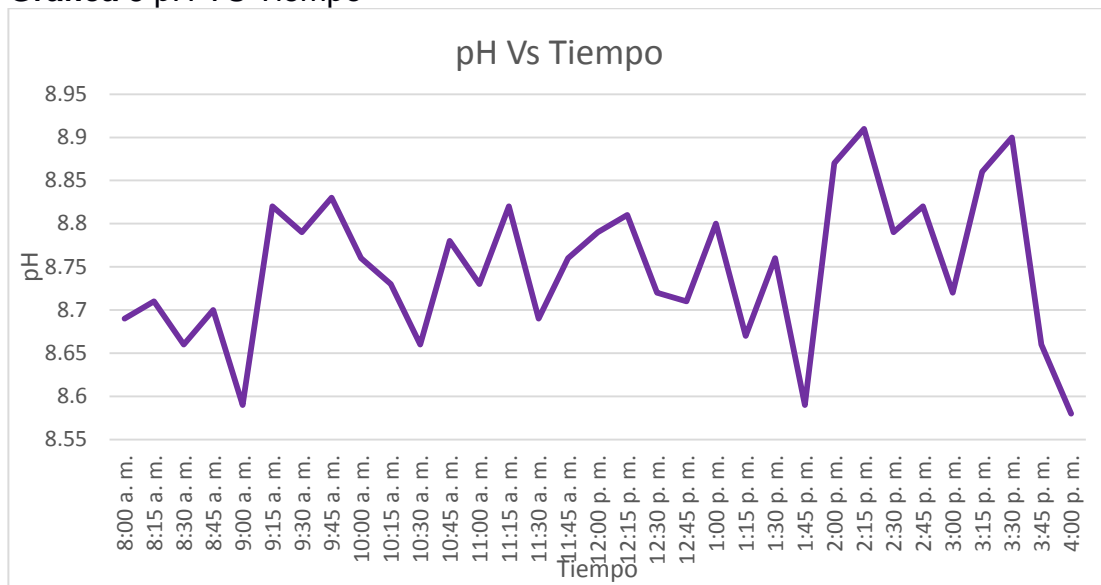
Gráfica 4 Temperatura VS Tiempo



Fuente elaboración propia

Gráfica pH VS Tiempo: la gráfica de pH vs Tiempo muestra un rango de valores entre los 8,5 y 8,9 unidades de pH, por lo cual se analiza que este valor está un poco alto con respecto a la normatividad legal es decir la resolución 631 de 2015 y esto se debe a que se vierten en ocasiones aguas residuales de origen industrial.

Gráfica 5 pH VS Tiempo



Fuente elaboración propia

Por otro lado, los resultados de parámetros analizados para la muestra se registraron en la siguiente tabla donde se comparan con el cumplimiento de la resolución 631 de 2015.

En primer lugar tenemos los análisis de metales que se realizaron en las instalaciones del laboratorio de ANALQUIM LTDA por el método de absorción atómica, donde se puede observar que los parámetros Cromo y Hierro están por fuera de los límites permisibles con respecto a la normatividad legal. En el caso del Cinc, que se encuentra por debajo de 3,00 mg/L es decir cumple con su límite permisible, está muy cerca con una concentración de 2,91 mg/L, por lo tanto es un metal que se debe tener en cuenta para los próximos vertimientos. Al analizar estos resultados, del incumplimiento de los parámetros, se puede relacionar con las muestras de tipo industrial en los cuales usan solventes con carga de iones metálicos y que tiene como consecuencia que estos contaminantes en el agua no cumplan con la normatividad legal.

Tabla 10 Resultados de metales Caracterización de agua

PARÁMETRO	VALORES LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	VALOR OBTENIDO EN EL LABORATORIO
Aluminio (Al)	Análisis y Reporte	0,53
Arsénico (As)	0,10 mg/L	0,006
Cinc (Zn)	3,00mg/L	2,91
Cobalto (Co)	0,10 mg/L	<0,05
Cobre (Cu)	1,00 mg/L	<0,05
Cromo (Cr)	0,10 mg/L	0,13
Estaño (Sn)	2,00 mg/L	<1
Hierro (Fe)	1,00 mg/L	5,53
Litio (Li)	Análisis y Reporte	<0,04
Manganeso (Mn)	Análisis y Reporte	<0,03
Mercurio (Hg)	0,002 mg/L	<0,002
Níquel (Ni)	0,10 mg/L	<0,05
Plata (Ag)	0,20 mg/L	<0,05
Plomo (Pb)	0,10 mg/L	<0,02
Selenio (Se)	0,20 mg/L	0,012

Fuente elaboración propia

El capítulo XV de la resolución 631 de 2015, se encuentran además de los metales unos parámetros fisicoquímicos con sus respectivos límites permisibles; en la siguiente tabla se reportan los análisis fisicoquímicos para el agua residual salida del vertimiento, donde se puede observar que los parámetros DQO, DBO y Grasas y Aceites, no cumplen con la normatividad; estos factores son unos de los más importantes en un Agua Residual ya que tienen una relación directa con la materia orgánica disuelta en las muestras de agua, y la empresa recibe un alto porcentaje de aguas con fuentes domésticas.

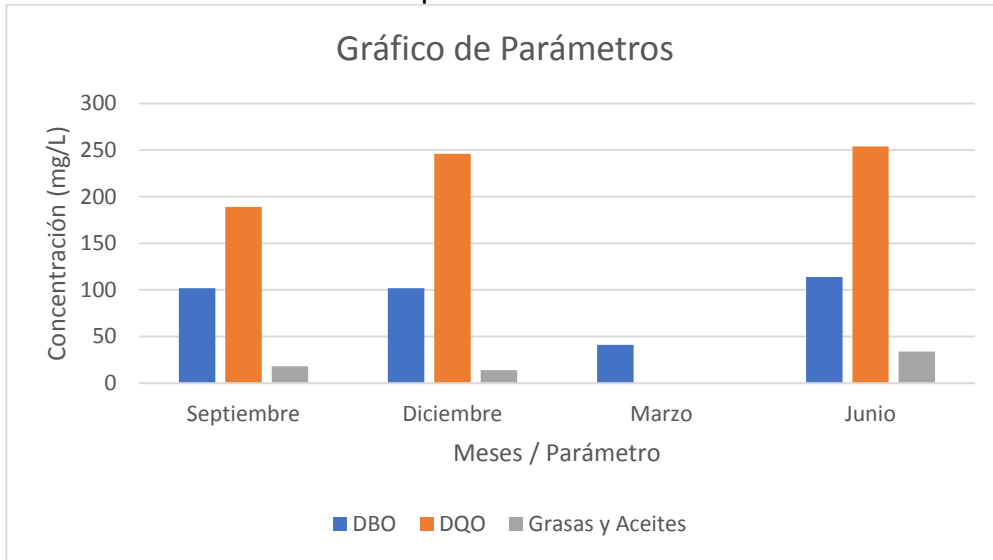
Tabla 11 Resultados de parámetros Fisicoquímicos de Caracterización de Agua

PARÁMETRO	VALORES LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	VALOR OBTENIDO EN EL LABORATORIO
pH	6,00 a 9,00 Unidades de pH	7,52
DQO	150,0 mg/L O ₂	254
DBO ₅	50,0 mg/L O ₂	114
Sólidos Suspendidos Totales	50,0 mg/L	11
Sólidos Sedimentables	1,00 mg/L	<0,1
Grasas y Aceites	10,0 mg/L	34
Fenoles Totales	0,20 mg/L	0,07
Tensoactivos	Análisis y Reporte	5,56
Ortofosfatos	Análisis y Reporte	0,3
Fósforo Total	Análisis y Reporte	0,4
Nitratos	Análisis y Reporte	0,1
Nitritos	Análisis y Reporte	0,029
Nitrógeno Amoniacal	Análisis y Reporte	4,2
Cianuro Total	0,10 mg/L	0,02
Cloruros	250,0 mg/L	55,6
Fluoruros	5,0 mg/L	1,2
Sulfatos	250,0 mg/L	125,6
Sulfuros	1,00 mg/L	<0,1
Acidez Total	Análisis y Reporte	12
Alcalinidad Total	Análisis y Reporte	22
Dureza Cálcica	Análisis y Reporte	35
Dureza Total	Análisis y Reporte	30
Color Real	Análisis y Reporte	<5

Fuente elaboración propia

Para los resultados arrojados durante los 4 meses de estudio en los parámetros de calidad del agua, se representa a través de las tablas que los parámetros DBO, DQO y Grasas y Aceites presentan un incumplimiento constante según sus límites permisibles respecto al marco legal. Los tres parámetros nombrados anteriormente, son unos de los más importantes ya que esto implica que al momento de verter el agua puede generar significativamente un impacto con el medio ambiente, por la carga orgánica que lleva la misma. Para el mes de Marzo el vertimiento no presentó incumplimiento en los parámetros DQO y Grasas y Aceites. A continuación se muestra a manera de gráfica los resultados por meses de los parámetros incumplidos.

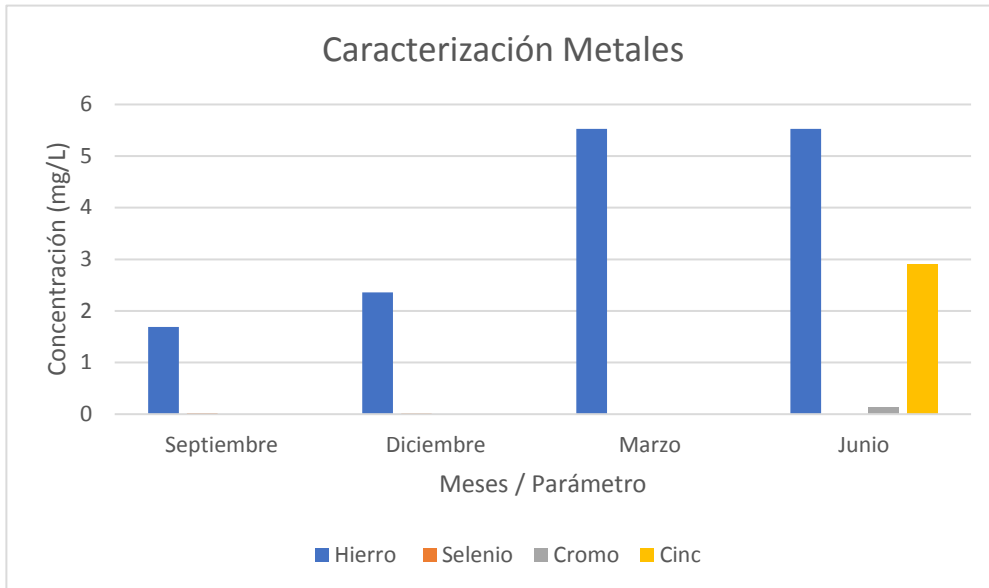
Gráfica 5 Parámetros Físicoquímicos



Fuente elaboración propia

En el caso de los metales, se muestra en el siguiente gráfico los resultados de estos parámetros:

Gráfica 6 Metales



Fuente elaboración propia

2.3 ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA

ANALQUIM LTDA, cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, que tiene una capacidad de 700 litros. La planta inicia cada vez que se llena la caja de inspección externa que es aproximadamente cada dos días, esta caja cuenta con una capacidad de 432 litros, e ingresa el vertimiento a través de una bomba manual con ayuda de un operario. El agua ingresa al tanque de agitación y cuando ésta se llena el operario realiza un proceso de oxidación química, coagulación y floculación, donde adiciona hipoclorito de calcio al 2% en una cantidad de 200 mL, 32 gramos de hidróxido de Sodio, 30 gramos de carbonato de Calcio y 22 gramos de sulfato de Aluminio.

Después de que todos los reactivos son adicionados, se prende un motor agitador durante 4 horas donde se mezclan todas las sustancias y se aglomeran las partículas que se van tomando a partir del coagulante. Pasadas las 4 horas, se apaga el motor y se deja sedimentar durante otras 4 horas.

Pasando el momento de sedimentación, los sólidos pasan por unos filtros de carbón activo y de membrana que permiten que se retengan sólidos con diámetros más pequeños para que luego el agua que sale la planta vaya directamente al alcantarillado.

2.3.1 Sistema de Tratamiento de Agua Residual Industrial.

La planta de tratamiento de agua residual industrial del laboratorio ANALQUIM LTDA, tiene las siguientes etapas:

- **Caja de sedimentación y homogenización:** a este tanque ingresa el agua residual proveniente del lavado de material del laboratorio y trabajo en campo, así como el agua residual del análisis de muestra de laboratorio y el remanente de muestras no procesadas.
- **Tanque de precipitación química:** en este tanque se realizan los procesos de oxidación química y precipitación del agua residual industrial proveniente de la caja de sedimentación y homogenización.
- **Sistema de filtración:** el sistema está compuesto de un filtro multimedia que remueve los sólidos mayores y con un micro filtro de 10 micras, que remueve los sólidos sedimentables del agua clarificada proveniente del tanque de precipitación química.

Figura 3 Planta de Tratamiento de agua residual industrial ANALQUIM LTDA



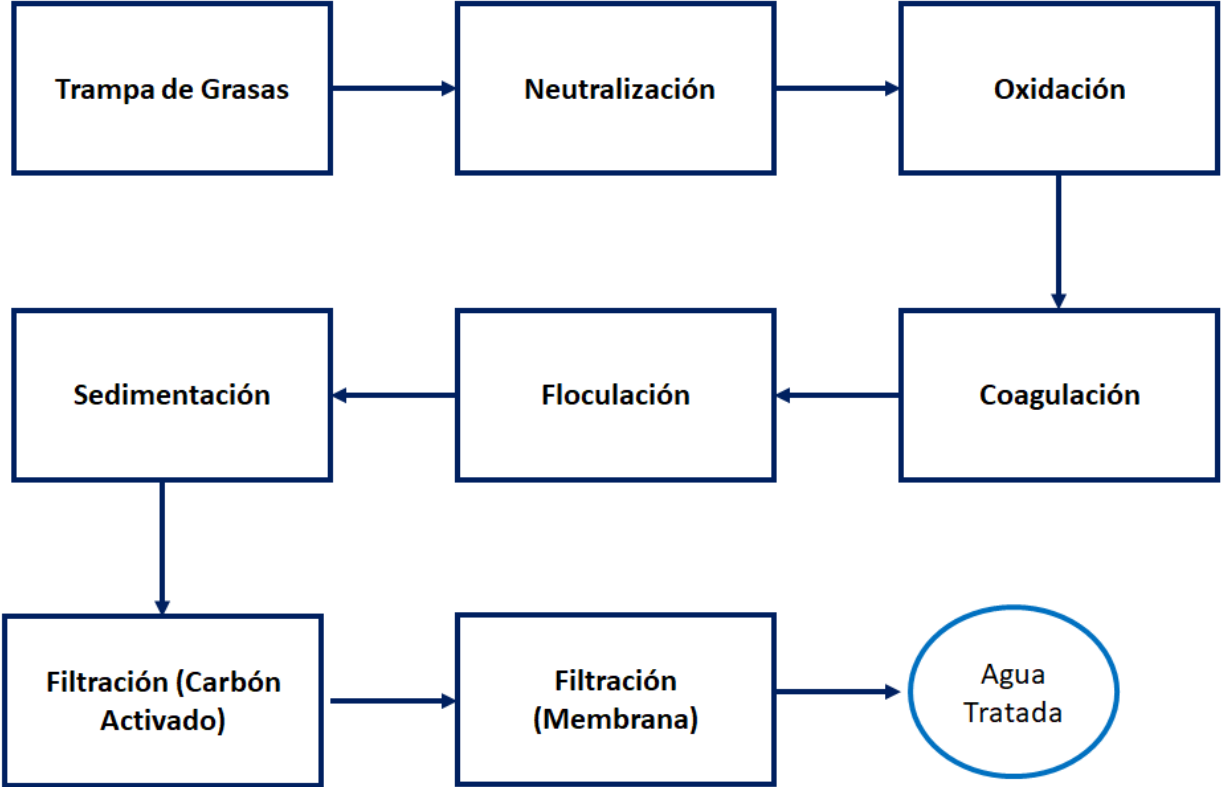
Fuente elaboración propia

La imagen anterior representa el tanque de agitación y homogenización donde ocurre el proceso de almacenamiento, coagulación y floculación del vertimiento.

2.3.2 Descripción de la Operación del Sistema.

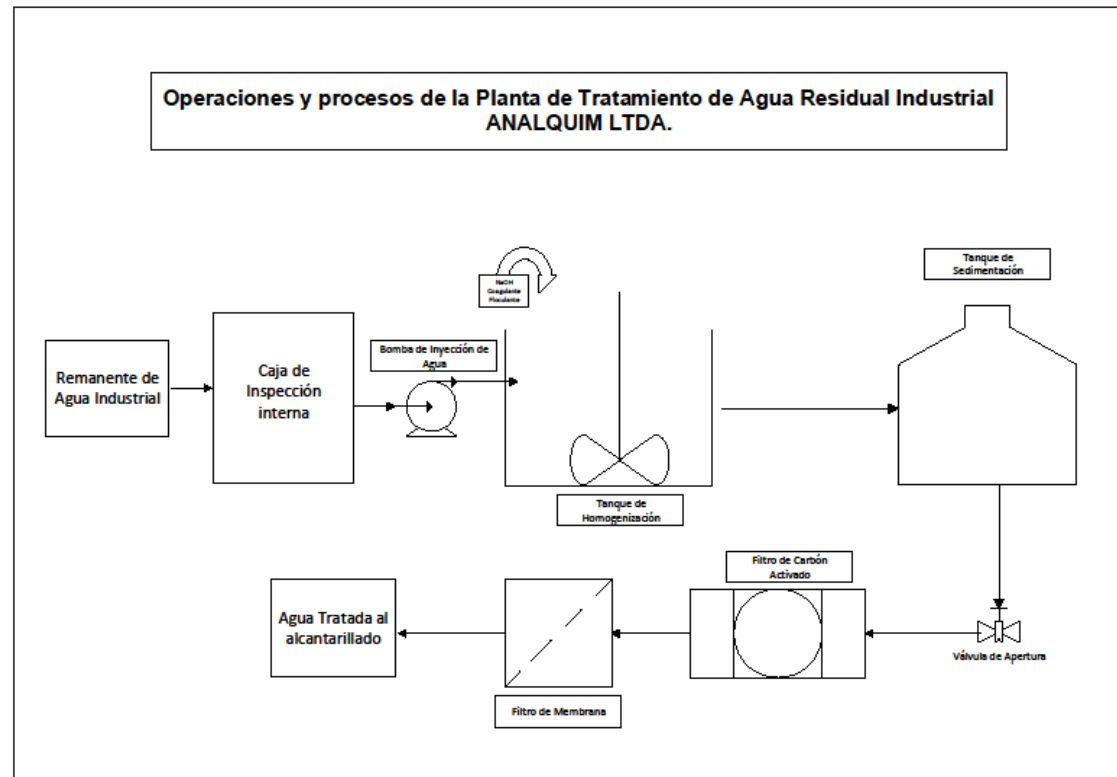
La PTAR, está constituida por siguientes operaciones y procesos:

Diagrama 1 Operaciones y procesos de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Industrial



Fuente elaboración propia

Figura 4 Operaciones y procesos de la planta de Tratamiento de Agua Residual Industrial ANALQUIM LTDA



Fuente elaboración propia

2.3.2.1 Retención de Sólidos. Este pretratamiento se realiza en las pocetas del laboratorio y en el área del lavado de materiales, con el fin de retener sólidos gruesos que se pueden generar en las diferentes actividades del laboratorio. En las pocetas se ponen rejillas circulares planas de 2½" pulgada de diámetro facilitando la retención de sólidos gruesos que pueden alterar el normal funcionamiento de las unidades de tratamiento posteriores.

2.3.2.2 Homogenización y ajuste de pH. A esta unidad (tanque de sedimentación) ingresa agua residual del lavado de material del laboratorio y de trabajo en campo, así como el agua residual del análisis de muestra del laboratorio y los remanentes de muestras no analizadas, la cual requiere homogenización, verificación y ajuste de pH antes de su oxidación y precipitación química. Consiste en un tanque rectangular en concreto y descarga por bombeo permitiendo almacenar el agua para facilitar la homogenización y controlar el pH.

Se debe mezclar el contenido del tanque prendiendo la bomba y retornando el líquido bombeando durante al menos 5 minutos. Una vez homogenizado el contenido de éste, se toma una muestra para evaluar el pH y se comprueba si cumple con la norma.

Una vez el agua se haya tratado, se instala la manguera de descarga de la bomba dentro del tanque de precipitación química. Es fundamental durante la descarga del efluente homogenizado evitar la re suspensión del lodo almacenado, para ello debe regularse apropiadamente la profundidad de la bomba (tipo sumergible) de capacidad 60 L/min.

Especificaciones técnicas:

Las dimensiones técnicas del tanque son:

- Ancho: 1.30 m
- Largo: 2.50 m
- Profundidad: 2.50 m

2.3.2.3 Oxidación y Precipitación Química. Se realiza en el tanque de precipitación química, consiste en dos etapas de procesos químicos, cuyo objetivo es concentrar la carga contaminante suspendida y disuelta obteniendo un efluente clarificado. Las etapas requeridas para tal fin son:

- **Test de tratabilidad (test de jarra):** para el ensayo de jarras previamente se debe realizar un ajuste de pH aún valor entre 7 a 8.5, adicionando Hidróxido de Sodio al 50%. Se homogeniza hasta disolver y a continuación, se agrega

solución de Hipoclorito de Calcio, sulfato de Aluminio y un polímero aniónico en concentración de 10 mg/L.

- **Oxidación Química:** en esta etapa se agrega un agente oxidante (Hipoclorito de Sodio) con una dosificación de 100 gramos por cada litro de agua. Se agita vigorosamente a 130 rpm durante 15 minutos y se deja reaccionar por lo menos durante 1 hora. Este proceso contribuye a estabilizar la materia orgánica presente, disminuyendo la carga orgánica, la cual se ve reflejada en la disminución de la concentración de DBO5 y DQO. De igual manera el agente oxidante puede oxidar otras especies químicas presentes como Nitritos y Sulfuros. Este proceso también facilita el proceso de coagulación y floculación.
- **Precipitación Química:** Consiste en tres (3) etapas sucesivas, (coagulación, floculación y sedimentación), las cuales tienen como finalidad decantar mediante la adición de químicos la materia orgánica disuelta y suspendida, metales en suspensión principalmente.

Es necesario verificar que las válvulas instaladas en el tanque estén cerradas para evitar posibles derrames, se deberá dejar el agua almacenada en reposo, durante al menos 1 hora con el fin de facilitar la sedimentación de los flocs y de esta forma garantizar un buen efluente clarificado.

Una vez terminada la sedimentación, se realiza la descarga del agua tratada hacia el sistema de filtración. Para ello se abren las válvulas instaladas en la sección cilíndrica del tanque de precipitación química de manera regulada tal que se impida la re suspensión de los sólidos sedimentados.

Una vez finalizada la salida del agua tratada al sistema de filtros, el lodo almacenado en la sección cónica del tanque de precipitación química se evacua a través de la válvula de purga de lodos, se almacena y trata o acondicionará previamente para reducir su volumen. Finalmente, este lodo se almacena en garrafas plásticas para su posterior disposición con el gestor que posea la licencia ambiental vigente y la caracterización se debe realizar anualmente.

2.3.2.4 Sistema de Filtración. A este sistema ingresa el agua residual clarificada proveniente del tanque de precipitación química con la finalidad de remover sólidos suspendidos y mejorar la calidad del agua potable; posterior al proceso de oxidación y precipitación química se abre la válvula, se coloca el filtro multimedia en opción FILTER y se prende la bomba de filtración.

Figura 4 Filtro de Carbón Activado y Filtro membrana



Fuente elaboración propia

2.3.2.5 Caja de Inspección Externa. La caja de inspección externa es el punto de descarga a la red de alcantarillado público. Está diseñada para facilitar la realización de aforos y toma de muestras. Las dimensiones de la caja de inspección son las siguientes:

- Ancho: 0,6 m
- Largo: 0,6 m
- Profundidad: 1,2 m

Figura 5 Caja de Inspección Externa de ANALQUIM LTDA



Fuente Tratamiento de Agua Residual Industrial. ANALQUIM LTDA. No. Versión: 7. Documento: ANQ-PR-039. Año: 2016

Con la información anterior se tiene que el estado actual del agua, en primer lugar no es óptimo ya que se evidencia que no rige en totalidad la resolución 631 de 2015 para vertimientos demostrando un incumplimiento en los parámetros fisicoquímicos como DBO, DQO, Grasas y Aceites y algunos metales pesados; lo cual requiere una alternativa de mejora experimental en el proceso. Por otro lado, para el estado actual de la planta, se observa que la empresa sigue una serie de operaciones unitarias válidas para el tratamiento de agua residual, sin embargo necesita de un estudio en el cual se pueda evaluar una alternativa en cuanto a equipos de tal manera que se desarrolle una mejora a la planta.

3. PLAN DE MEJORAMIENTO PARA LA PLANTA DE AGUAS RESIDUALES

Los vertimientos de aguas residuales pasan por una serie de procesos que cuentan con etapas específicas de tal manera que mejoren las características del agua que sale de la planta y de esta manera ocurra la remoción o eliminación de parámetros. En el capítulo anterior, se evidencia que el agua tratada de la empresa ANALQUIM LTDA no cumple en la totalidad de sus parámetros, y a partir de esto, en primera instancia el nicho a tratar son los contaminantes de fuentes orgánicas es decir la Demanda Biológica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, y Grasas y Aceites, por lo tanto se plantea una alternativa que cuenta con una serie de etapas planteadas a continuación:

3.1 Etapa 1: Estudio de la implementación de una trampa de grasas como primera etapa del proceso en la planta de tratamiento de aguas. A partir de la caracterización de agua tomada durante el mes de Junio de 2019 y meses anteriores se observa que hay un incumplimiento reiterativamente en los parámetros, DBO, DQO y Grasas y Aceites, y con base en las referencias bibliográficas se sabe que estos tres parámetros tienen cierta relación ya que todos pertenecen a la carga orgánica en el agua. Por lo tanto se propone un equipo especializado que permita la reducción de estos parámetros, es decir una trampa de grasas. En el capítulo anterior con respecto al estado actual de la planta, observamos que la empresa, maneja dentro de sus operaciones unitarias en el proceso de tratamiento de aguas residuales una serie de etapas en las cuales se pretende reducir la mayor cantidad posible de los contaminantes orgánicos que la misma tiene, pero se observa que esta planta no cuenta con un equipo como, una trampa de grasas, y que a partir de estudios bibliográficos tiene un porcentaje de remoción de un 95% en sólidos, por lo tanto al momento de realizar la eliminación de sólidos se disminuye directamente la carga orgánica.

- **Metodología Etapa 1:**

- ✓ Estudio técnico del proceso de la trampa de grasas
- ✓ Diseño teórico de la trampa de grasas

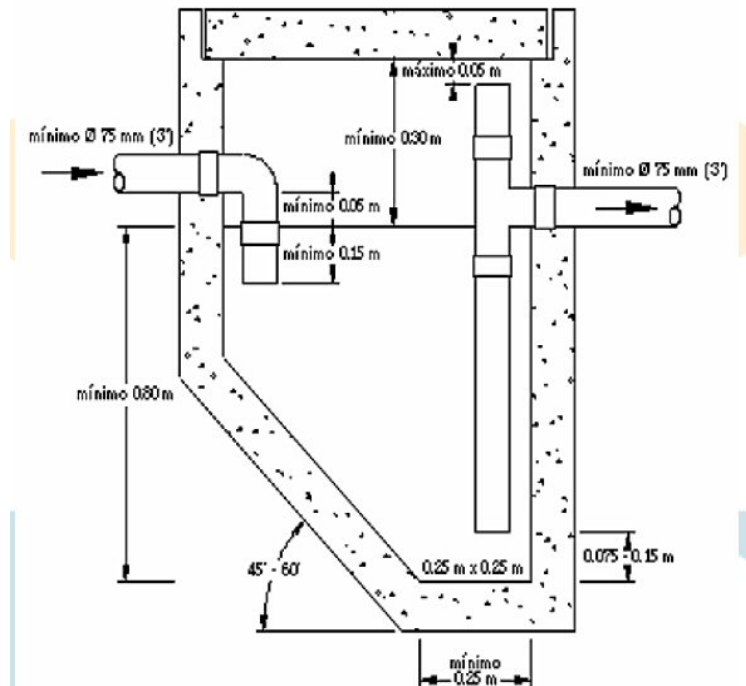
3.1.1 Trampa de Grasas. Su función es atrapar los flotantes, natas compuestas por aceites y grasas principalmente y la forma más simple y económica para la

eliminación de las grasas y aceites se basa en aprovechar su flotabilidad, por lo que bajo el principio del sifón, los flotantes quedan retenidas en la superficie del líquido. ⁸

La trampa de grasas retiene por sedimentación los sólidos en suspensión y por flotación el material grueso. La trampa de grasas tiene dos compartimientos separados por una rejilla que se encarga de no dejar pasar sólidos. El compartimiento más grande por donde llegan los líquidos con sólidos disueltos, la grasa se separa al ser menos densa que el agua. Por el otro compartimiento, sale el agua más limpia.

Un modelo tradicional de una trampa de grasa consiste en una cámara donde se almacena el agua, la cual contiene desviaciones que se fuerzan, como en la siguiente figura.

Figura 6 Trampa de grasas, vista interior



Fuente: DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE SAN JUAN CHAMELCO. AÑO 2014

⁸ Propuesta de reglamento técnico salvadoreño para el diseño y construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario para la zona rural. Ministerio de Salud. SAN SALVAOR, Octubre de 2015

Las trampas de grasas varían en el tamaño y su funcionamiento según las necesidades industriales. Existen modelos de limpieza manual como de remoción de grasa automática. Las trampas de grasas como su nombre lo indica, están diseñadas para atrapar grasas, por lo tanto al momento del vertimiento se debe evitar arrojar restos de desperdicios sólidos ya que posiblemente pueden obstaculizar su funcionamiento.

3.1.1.1 Tipos de Trampas de Grasas.

- **Trampa de Grasa aérea:** son modelos para lugares pequeños donde se genere menor cantidad de sólidos y grasas, como por ejemplo, casas residenciales y algunos restaurantes. Se instalan directamente debajo de los fregaderos, son un poco más económicos y precisan un mantenimiento más frecuente como desnatado.

Figura 7 Trampa de Grasas Aérea



Fuente <http://www.biodynamicgroup.com/productos-para-hoteles-restaurantes-casinos-centros-comerciales-centros-educativos/>. 2018.

- **Trampa de Grasas de piso o subterráneas:** son equipos que tienen mayor capacidad hidráulica y tienen varios comportamientos. Al momento de su instalación su costo es bajo ya que se puede construir y diseñar en concreto. Este tipo de trampa puede eliminar hasta el 99% de las grasas.

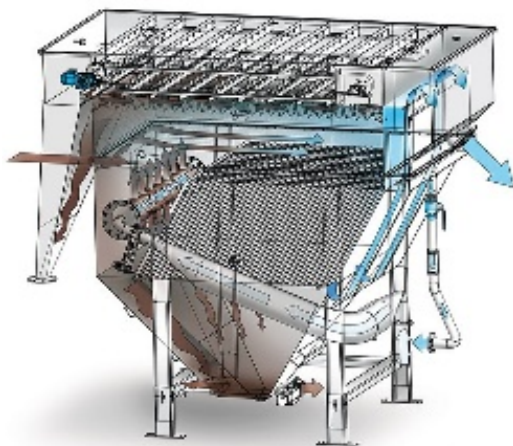
Figura 8 Trampa de Grasas de piso o subterránea



Fuente Trampa para grasas. Catálogo Trampas. Durman.Canplas..

- **Trampas de Grasa por flotación mediante aire disuelto (DAF):** este tipo de trampa usan desnatadores mecánicos en el cual se recogen flotantes de grasas de la superficie del agua. Su costo es más alto a los equipos anteriores ya que se instalan directamente en plantas de tratamiento de aguas residuales y que a su vez tienen alto contenido de grasas y aceites.

Figura 9 Trampa de Grasas de por flotación mediante aire disuelto (DAF)



Fuente Diseño de un nuevo sistema de Flotación para Tratamiento de Aguas industriales. j. e. forero *, j. díaz * y v. r. blandón. vol 1. núm. 5. dic 1999

3.1.1.2 Diseño de Trampa de Grasas. Actualmente hay varios autores que han estimado las fórmulas necesarias para el diseño en la implementación de una

trampa de grasas, sin embargo para el mismo se debe tener en cuenta unos criterios. A continuación se encuentra una tabla en la cual hay una serie de características y parámetros para el dimensionamiento de la trampa.

Tabla 12 Parámetros para diseño de trampa de Grasas

Características	Valor o Rango
Tiempo de Retención Hidráulica	24 minutos
Relación Largo :Ancho	Entre 2:1 y 3:2
Profundidad útil	Mínima: 0.8m Máxima: 2m
Borde Libre	0.3 m
El volumen máximo de acumulación de grasa	1/3 del volumen total de la trampa de grasa

Fuente Metcalf y Eddy. (1996) Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido v reutilización. Dos tomos. México, McGraw Hill., 990 pp.

Así mismo en los textos recomiendan unas dimensiones para la trampa de grasas según el caudal de diseño, y se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 13 Dimensiones para diseño de trampa de Grasas

Rango de Caudales (L/seg)	Volumen de la trampa (m³)	Profundidad (h)	Ancho (a)	Largo (L)
<1	1.80	1.5	1.0	1.2
		1.0	1.0	1.8
1 a 2	3.60	1.5	1.10	2.20
2 a 3	5.40	2.0	1.13	2.40
3 a 4	7.20	2.0	1.45	2.50
4 a 5	8.10	2.0	1.50	2.70
5	9.12	2.0	1.60	2.85

Fuente Metcalf y Eddy. (1996) Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido v reutilización. Dos tomos. México, McGraw Hill., 990 pp.

A continuación se compara las ventajas y desventajas del equipo como propuesta a implementar en la mejora de la planta de tratamiento de agua residual:

Tabla 14 Ventajas y Desventajas de la Trampa de Grasas

	Trampa de Grasas
Ventajas	1. Proporciona una remoción de grasa superior al 80%
	2. Es fácilmente adaptable a los sistemas de desagüe existente.
	3. Se puede conectar y desconectar en cualquier momento.
	4. El ciclo del recorrido es más largo.
	5. Se puede adaptar a varios desagües.
Desventajas	2. No evita la sedimentación de materia orgánica.
	1. Costo alto de inversión que requiere en la estructura.

Fuente elaboración Propia

En este capítulo se evaluó de forma bibliográfica el estudio de selección del mejor equipo de implementación para la mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales, donde se pudo observar el funcionamiento de la trampa de grasas, las clases de trampas de grasa, y su diseño. A partir de lo anterior y para dar cumplimiento al objetivo de la selección de mejora más adecuada en la planta de tratamiento de aguas residual en la empresa ANALQUIM LTDA, se propone la implementación de una trampa de grasas al inicio del proceso en el cual el agua que es vertida pasa primero por la trampa de tal manera que sea posible retener los sólidos que se encuentran y por consiguiente haya una disminución en contaminantes de fuentes orgánicas y los parámetros DBO, DQO y Grasas y Aceites se puede eliminar significativamente. En el siguiente capítulo se explicará las especificaciones técnicas para la implementación de este equipo en la planta de tratamiento de aguas.

En el estudio del diagnóstico del agua, encontramos que los parámetros que tienen alta carga orgánica no cumplen con los límites permisibles según la normatividad legal para vertimientos en industrias. Como primera etapa se propuso la implementación de nuevos equipos para la planta de tratamiento de aguas, en este caso una trampa de grasas en la cual permita un alto porcentaje de remoción de contaminantes. En la segunda etapa de alternativa de mejora, se desea evaluar el

procedimiento experimental que se realiza en el tratamiento de agua residual; se sabe que ANALQUIM LTDA, cuenta con un tanque al que ingresa el agua y en el cual ocurre el proceso de coagulación y floculación, con el fin de tratar las partículas suspendidas que por lo general cuenta con una gran fuente de residuos orgánicos.

La empresa actualmente en el proceso de coagulación y floculación usa como reactivo coagulante Sulfato de Aluminio Tipo A y como reactivo floculante SuperFloc Kemira, y son mezclados en el tanque de precipitación química donde se producen flóculos y luego son sedimentados; sin embargo como segunda etapa en la alternativa de mejora, se propone realizar una evaluación con nuevos coagulantes para este proceso. Cabe resaltar que la empresa cuenta con un stock alto de floculante SuperFloc Kemira, por lo tanto las pruebas experimentales se realizan con este reactivo otorgado por ANALQUIM LTDA.

3.2 ETAPA 2: EVALUACIÓN DE UN NUEVO COAGULANTE.

Dentro de las etapas de tratamiento del agua residual en la empresa ANALQUIM LTDA, se realiza un proceso de coagulación y floculación ya que es una etapa clave para la remoción de color y turbiedad; por lo tanto es necesario la evaluación de un nuevo coagulante en el cual se aumente la eficiencia del proceso sin afectar los tiempos en la planta. Así mismo, se debe tener en cuenta la concentración óptima del reactivo de coagulante y floculante a usar en el proceso de coagulación y el tiempo de mezcla que tiene él mismo.

Para llevar a cabo la evaluación del nuevo coagulante se realizarán una serie de actividades y factores que se pondrán luego en una matriz de selección.

• Metodología Etapa 2:

- ✓ Evaluar diferentes coagulantes para el tratamiento de aguas residuales.
- ✓ Determinar la concentración adecuada.
- ✓ Estimar la velocidad óptima para el proceso de coagulación.
- ✓ Definir el tiempo de sedimentación de los sólidos.
- ✓ Caracterizar los parámetros de pH, turbiedad, color, conductividad y alcalinidad luego del ensayo de jarras.

3.2.1 Ensayo de Jarras. Para el desarrollo de este capítulo se realiza un ensayo de jarras el cual es un método a nivel laboratorio y arroja resultados de dosificación de coagulante y floculante. Se usa para muestras de aguas residuales industriales y se evalúa la cantidad de concentración del reactivo químico.

3.2.1.1 Coagulantes Utilizados.

- **Cloruro Férrico:** es un compuesto químico es llamado “tricloruro de hierro”. Es usado en plantas de tratamiento de aguas residuales, por su alta eficiencia en remoción de compuestos orgánicos y de metales pesados. Se presenta en forma líquida al 42% v/v.
- **Hidroxiclорuro de Aluminio:** es un “polinuclear” de aluminio líquido que se desempeña como coagulante inorgánico para aguas potables y residuales. En la clarificación de agua actúa como coagulante primario y como ayudante de filtración (catiónico inorgánico).

A continuación, se presenta una comparación de las ventajas y desventajas del coagulante actual que utiliza la empresa sulfato de Aluminio tipo A, con los coagulantes propuestos.

Tabla 15 Ventajas y Desventajas de Coagulantes

	Sulfato de Aluminio	Cloruro Férrico	Hidroxiclورو de Aluminio	
Ventajas	1. Alta disponibilidad	1. Efectividad en amplios rangos de pH y Temperatura	1. Bajo ciertas condiciones hay uso de menor gasto de coagulante.	
	2. Bajo Costo	2. Genera iones trivalentes de mayor peso molecular	2. Efectividad en un rango de pH.	
	3. Flexibilidad de uso en diferentes tipos de agua	3. Dosis baja	3. Rendimiento con distintas temperaturas.	
	4. Eliminación de turbidez		4. Eficaz en la eliminación de solidos suspendidos	4. Reducción de lodos de un 25-75%.
			5. Remueve fosfatos con un eficiencia del 95%	5. Remoción al color
				6. Genera menor residual de aluminio.
Desventajas	1. Generación de lodos	1. Muy corrosivo para almacenar y manejar.	1. Precio más alto	
	2. Efectivos negativos sobre la salud.	2. Comercialmente disponible solo en presentación líquida.	2. Su pH es muy alto para la coagulación.	
	3. Rango de pH limitado.			
	4. Problemas con agua de alta turbiedad.			
	5. Remoción de materia orgánica en el proceso limitada.			

Fuente elaboración propia

En la tabla anterior se encuentra la información basada en textos bibliográficos donde se especifican las ventajas y desventajas que tienen cada uno de los coagulantes propuestos y que es actualmente usado en la empresa. Se nombran las características a favor y en contra en cuanto a costos, eficiencia, disponibilidad,

rangos de actividad, etc. Se evidencia que el sulfato de aluminio, en la industria es un reactivo altamente usado por su bajo costo y su alta disponibilidad; sin embargo, genera mucho lodo el proceso y tiene problemas ya que su rango de pH es limitado. Por otro lado uno de los coagulantes propuestos es el Cloruro Férrico que entre su ventajas se encuentra un rango de pH y temperatura variable a momento de trabajar con él, elimina sólidos suspendidos en un alto porcentaje; este coagulante tiene como desventaja que es un compuesto corrosivo por lo tanto se debe tener control y aplicar las medidas de seguridad en su almacenamiento y transporte. Por último se planteó como nuevo coagulante el Hidroxicloruro de Aluminio que tiene un rango amplio de pH, reduce lodos en un alto porcentaje y remueve color, como desventaja, este reactivo tiene un costo alto. A partir de los criterios anteriormente nombrados, se realiza un ensayo de jarras en y a través de ensayos experimentales se elige la mejor alternativa como nuevo coagulante en el proceso.

3.2.1.2 Floculante utilizado. El floculante usado para el ensayo de jarras es el SuperFloc Kemira C-490; son floculantes catiónicos altamente efectivos. Acondicionan con eficacia los sólidos para las operaciones de deshidratación y ayuda en los procesos de clarificación de agua en una amplia variedad de industrias. Estos floculantes muestran un excepcional desempeño en las separaciones sólido-liquido en un amplio rango de condiciones. La empresa ANALQUIM LTDA, brinda este reactivo para las pruebas experimentales del Test de Jarras como floculante.

3.2.1.3 Equipos utilizados para el ensayo de jarras.

- **Plancha de Agitación:**

Figura 10: Plancha de Agitación



Fuente: elaboración propia

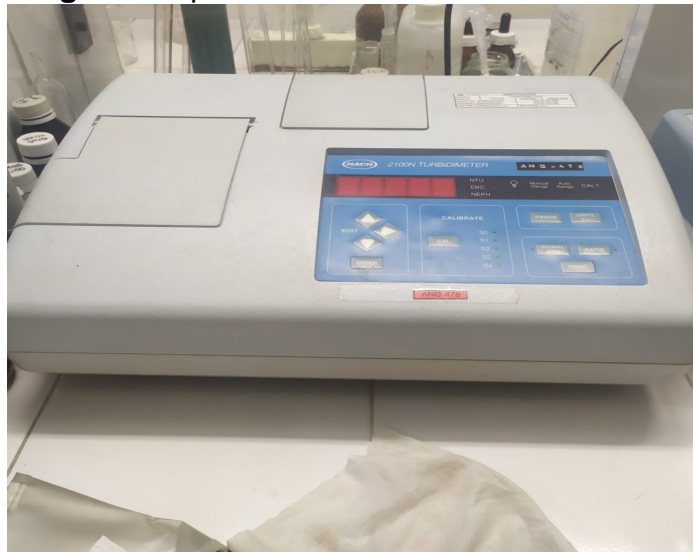
La plancha de calentamiento y agitación MS-H-S10 de DLAB, está desarrollado para aplicaciones exigentes, con capacidad de agitación hasta de 400 ml x 10 posiciones.

Motor de corriente continúa sin escobillas sin mantenimiento. Tiene una Velocidad máxima 1100rpm y Temperatura máx. 120 ° C.

Placa de trabajo de acero inoxidable, cubierta con cojín de silicona, proporciona el excelente rendimiento de uniformidad de calentamiento y resistencia al deslizamiento.⁹

• **pH metro:**

Figura 11: pHmetro



Fuente: elaboración propia

Referencia: Hanna Instruments.H1522

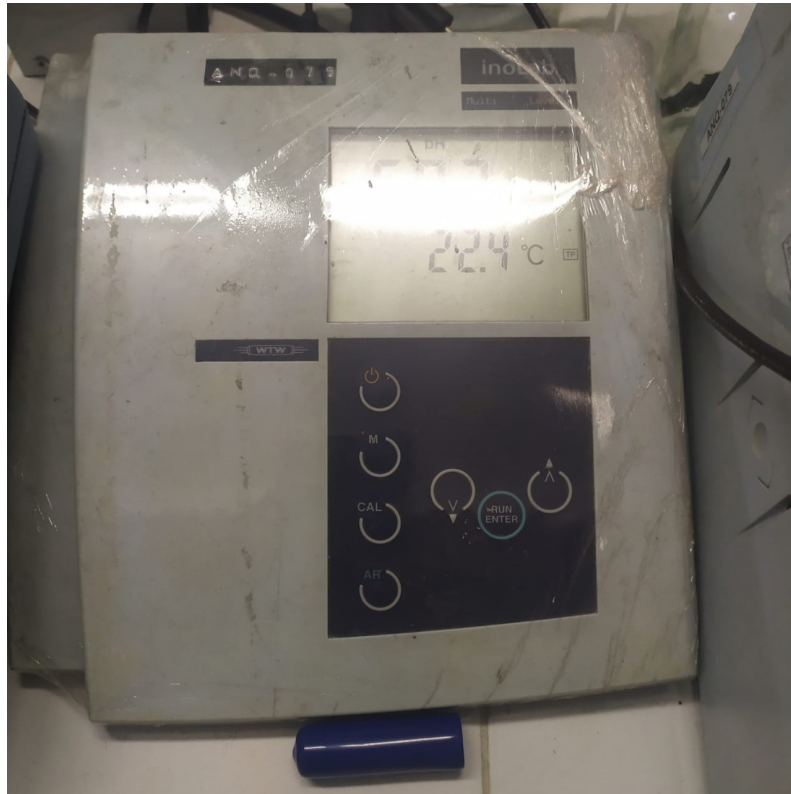
Posibilitan la medición de pH en un rango de -2.00 a 16.00 pH en un rango ampliado de temperatura de -9.9 a 120°C. La calibración es automática hasta en 3 puntos, seleccionando los tampones más adecuados entre los 5 memorizados (pH 4.01,

⁹ METRICONTROL. LABORATORIO, PLANCHAS DE CALENTAMIENTO.
<https://metricontrol.com/productos/laboratorio/planchas-calentamiento/ms-h-s10/>

6.86, 7.01, 9.18, 10.01). Además permiten al usuario programar manualmente dos valores adicionales de pH para la calibración.¹⁰

- **Conductímetro:** el medidor portátil SC-110 cuenta con un diseño de microprocesador con protección IP65 a prueba de agua. El medidor es compatible con una celda de 4 electrodos que permite una amplia gama de aplicaciones desde soluciones de conductividad media a alta y también para salinidad y TDS.¹¹

Figura 12 Conductímetro



Fuente elaboración propia

Antes de realizar el test de jarras se miden los siguientes parámetros para el agua tomada y se registró en la siguiente tabla.

¹⁰ Catalogo. I.C.T, S.L. INSTRUMENTACION CIENTIFICO TECNICA. PH-METRRO DE SOBRE MESA. PROGRAMABLE HANNA H1522.

¹¹ CATALOGO, SUNTEX. Microprocessor Benchtop Conductivity/Resistivity Meter SC-2300

Tabla 16 Parámetros antes del Test de Jarras

Parámetro	Resultado
Conductividad	407 (S/m)
pH	6,47 (unidades de pH)
Alcalinidad	154 (mg/L)
Turbiedad	96,3 (NTU)
Color	42 (UPC)

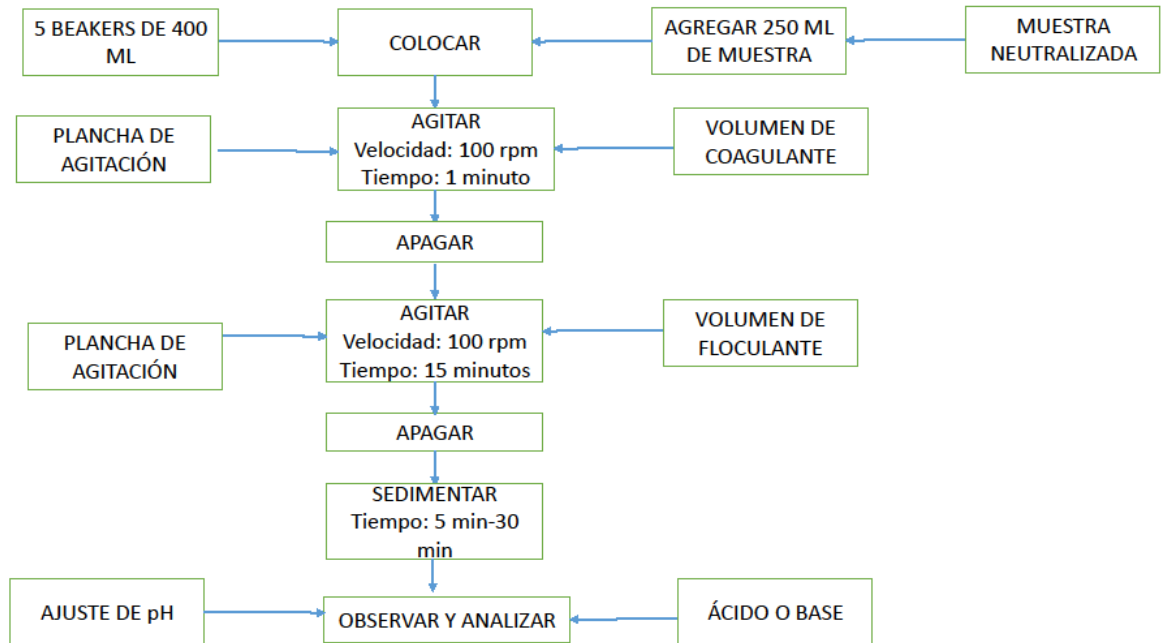
Fuente elaboración propia

3.2.1.4 PROCEDIMIENTO REALIZADO PARA EL ENSAYO DE JARRAS.

Para la elaboración del procedimiento de ensayo de jarras se basó en el artículo “Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales” elaborado por Diana Marcela Fúneque y Andrea Viviana Yate que se encuentra en el Anexo E. Como reactivos se usaron los coagulantes, floculante e hidróxido de sodio de sodio para el ajuste de pH.

El diagrama de procesos se presenta en la siguiente figura, donde se muestra el procedimiento realizado en el laboratorio. Este diagrama fue seleccionado a partir de la tesis de grado, “Propuesta de Tratamiento para las aguas residuales industriales generadas por la empresa proalimentos Liber S.A.S”. Posteriormente se realiza un análisis de resultados presentados en cada proceso.

Diagrama 3 Procedimiento para el Ensayo de Jarras



Fuente elaboración propia

3.2.1.5 Selección de coagulante.

Para la selección del coagulante se realizó el procedimiento descrito en el diagrama anterior con el Cloruro Férrico y con el Hidroxicloruro de Aluminio, con el fin de conocer el comportamiento y seleccionar el mejor. Es importante tener en cuenta que el floculante que se usó en el ensayo de jarras Superfloc Kemira fue escogido por la empresa.

- **Cloruro Férrico:**

se inicia con el Cloruro Férrico, se realizan 5 ensayos en un beaker, cada uno con 400 mL del agua residual a tratar y se realizan las siguientes dosificaciones:

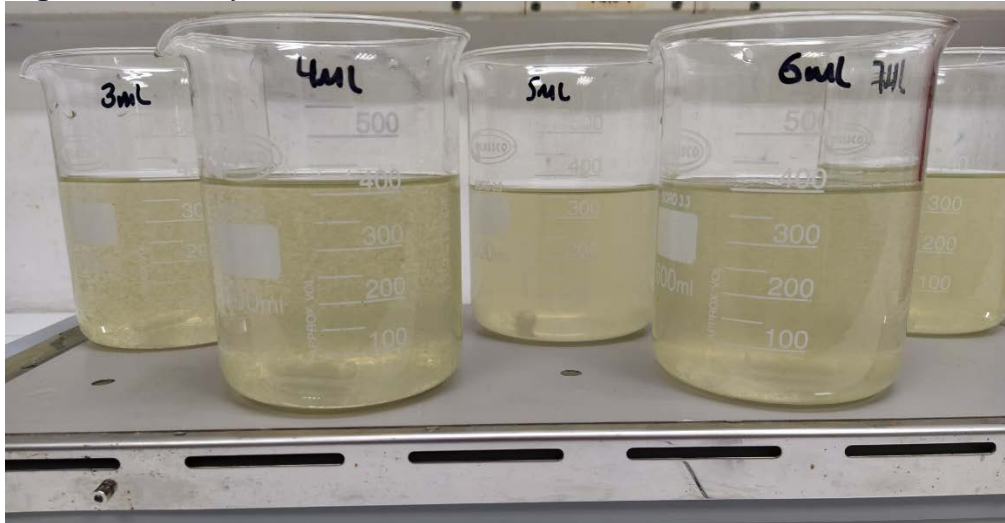
Tabla 17 Dosificación Coagulante

Ensayo	Muestra Agua Residual	Volumen del Coagulante
1	400 ml	3 mL
2	400 ml	4 mL
3	400 ml	5 mL
4	400 ml	6 mL
5	400 ml	7 mL

Fuente: elaboración propia

Al momento de agregar cada volumen de coagulante en el beaker respectivo se agita durante 1 minuto a 100 rpm, como se observa en la siguiente figura.

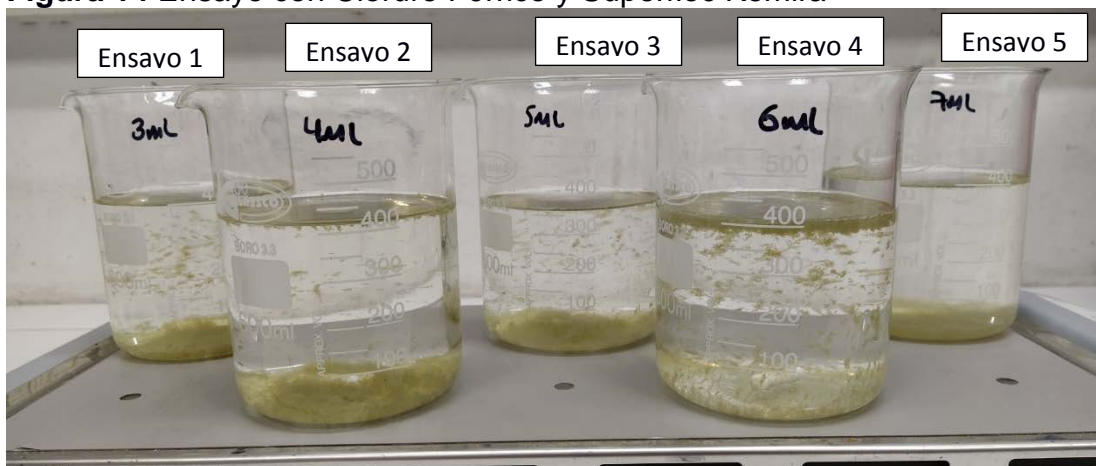
Figura 13 Ensayo con Cloruro Férrico



Fuente elaboración propia

Luego se agrega la dosis de floculante Superfloc Kemira para ensayo con los volúmenes y se agita durante 15 minutos a una velocidad de 100 rpm. Luego de agitar cada ensayo se apaga el equipo y se deja pasar un tiempo de 15 minutos para observar la sedimentación de cada ensayo. A continuación a través de una figura se muestra el comportamiento en cada una de las pruebas.

Figura 14 Ensayo con Cloruro Férrico y Superfloc Kemira



Fuente elaboración propia

Pasados los 15 minutos de sedimentación, el primer ensayo en sedimentar corresponde al ensayo 5 con 7 mL de coagulante. Se puede observar en la figura anterior que hubo sedimentación de sólidos en los 5 ensayos y que el color disminuyó significativamente para todos; sin embargo los ensayos con 3 y 6 mL de coagulante presentan sólidos suspendidos en su superficie y no alcanzaron a sedimentar bien. Para el ensayo 5 es decir con 7 mL de coagulante se observa que no presenta sólidos suspendidos pero tiene un poco de turbiedad con respecto a las otras muestras. Por último en el ensayo 2 con un volumen de 4 mL de coagulante se observa que presenta baja turbiedad y más del 90% de los sólidos suspendidos. Luego de realizar el ensayo de jarras, se analiza el agua con los parámetros iniciales es decir, conductividad, pH, alcalinidad, turbiedad. En la siguiente tabla se muestra el resultado de los parámetros analizados:

Tabla 18 Parámetros después del Ensayo de Jarras – Cloruro Férrico

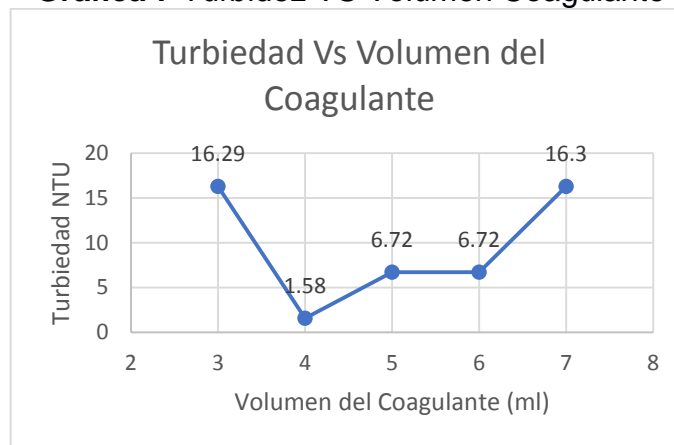
Parámetro	Ensayo 1 (3 mL)	Ensayo 2 (4 mL)	Ensayo 3 (5 mL)	Ensayo 4 (6 mL)	Ensayo 5 (7 mL)
Conductividad	408	409	428	426	436
pH	6,23	6,13	6,13	5,99	5,82
Alcalinidad	98	96	72	68	54
Turbiedad	16,29	1,58	6,72	6,72	16,3

Fuente: elaboración propia

Con respecto a la tabla anterior se puede determinar que la turbiedad para todos los ensayos disminuyó por lo tanto el color también; sin embargo para el ensayo 2 con 4 mL del coagulante presenta la menor turbidez con 1,58 NTU y alta cantidad de sólidos sedimentados.

3.2.1.6 Resultados de Turbidez vs volumen del Cloruro Férrico.

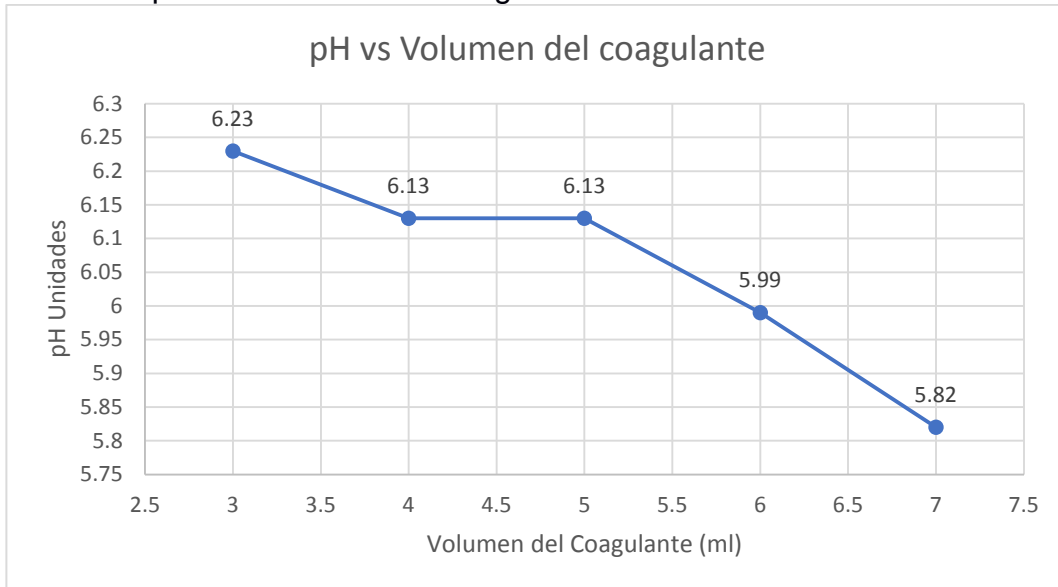
Gráfica 7 Turbidez VS Volumen Coagulante



Fuente elaboración propia

3.2.1.7 Resultados de pH vs volumen del Cloruro Férrico.

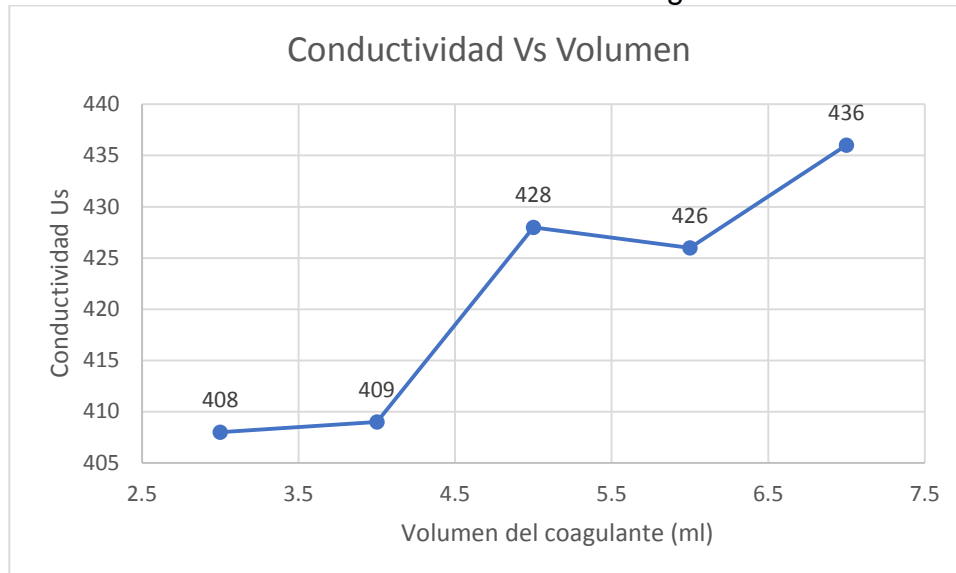
Gráfica 8 pH Vs Volumen del Coagulante



Fuente: elaboración Propia

3.2.1.8 Resultados de Conductividad vs volumen del Cloruro Férrico.

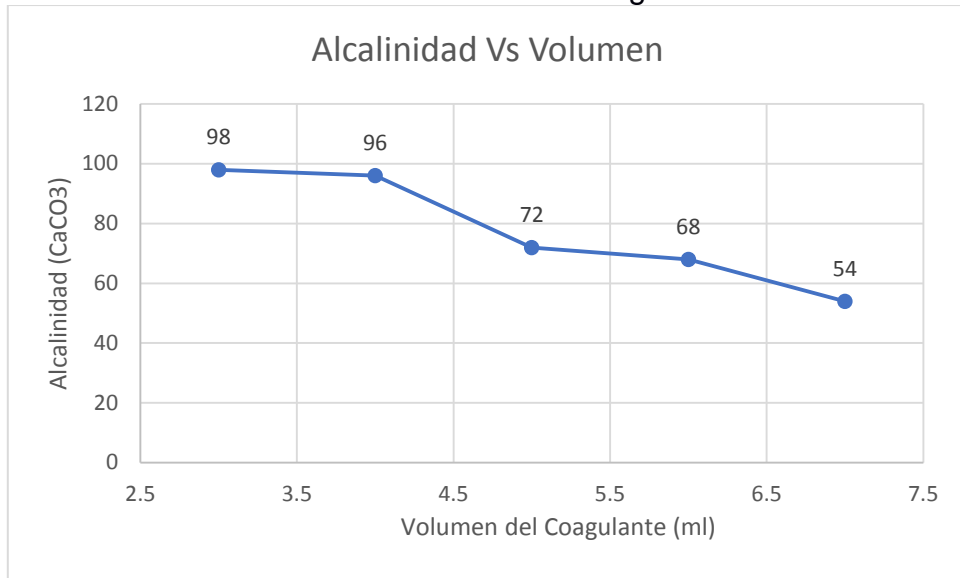
Gráfica 9 Conductividad Vs Volumen del Coagulante



Fuente: elaboración propia

3.2.1.9 Resultados de Alcalinidad vs volumen del Cloruro Férrico.

Gráfica 10 Alcalinidad Vs Volumen del Coagulante



Fuente: elaboración propia

A partir de las anteriores gráficas se observa que al aumentar las concentraciones de coagulante, la turbiedad no presenta una linealidad es decir una relación directa; caso contrario con el pH, a medida que aumenta la concentración de Cloruro Férrico su pH disminuye. Para el caso de la alcalinidad se presenta una relación inversamente proporcional, ya que ocurre una reacción química en la cual se rompen enlaces y los bicarbonatos que se encuentran en el agua desaparecen.

• Hidroxicloruro de Aluminio

Para el segundo coagulante, se realizan los mismos 5 ensayos anteriores con 400 ml de aguas residual en cada uno con la siguiente dosificación.

Tabla19 Dosificación Hidroxicloruro de Aluminio

Ensayo	Muestra Residual	Agua	Volumen del Coagulante
1	400 ml		3 ml
2	400 ml		4 ml
3	400 ml		5 ml
4	400 ml		6 ml
5	400 ml		7 ml

Fuente elaboración propia

Se usa el floculante Superfloc Kemira para el desarrollo de este ensayo de jarras con el mismo volumen utilizado en la dosificación del coagulante. A continuación se muestra la primera parte del procedimiento.

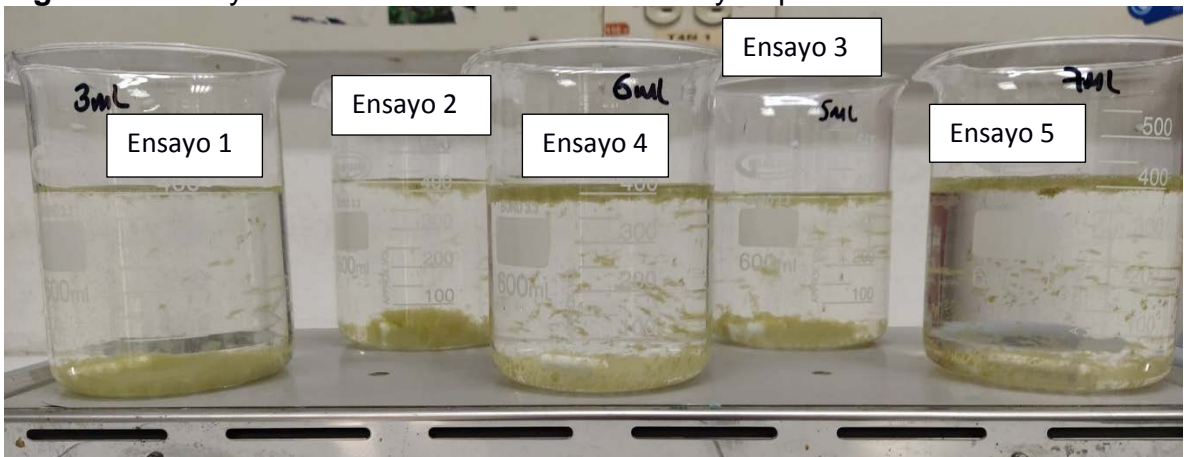
Figura 15 Ensayo con Hidroxicloruro de Aluminio



Fuente: elaboración propia

Luego se agrega la dosis de floculante Superfloc Kemira para ensayo con los volúmenes y se agita durante 15 minutos a una velocidad de 100 rpm. Luego de agitar cada ensayo se apaga el equipo y se deja pasar un tiempo de 15 minutos para observar la sedimentación de cada ensayo. A continuación, a través de una figura se muestra el comportamiento en cada una de las pruebas.

Figura 16 Ensayo con Hidroxicloruro de Aluminio y Superfloc Kemira



Fuente elaboración propia

Con respecto al gráfico anterior se muestra que la turbiedad para los 5 ensayos disminuyó y así mismo el color. Para el ensayo 2 se observa que cuenta con una alta sedimentación de sólidos contrario a los ensayos 3, 4 y 5 donde los sólidos aún se encuentran suspendidos por toda el agua, lo cual hace que su turbiedad no haya disminuido en un alto porcentaje. Para los análisis de pH, conductividad y alcalinidad, se realizan posterior al test de jarras con el fin de comparar y concluir cual es el mejor coagulante a usar.

En la siguiente tabla se muestran los resultados de los análisis:

Tabla 20: Parámetros después del Ensayo de Jarras – Hidroxicloruro de Aluminio

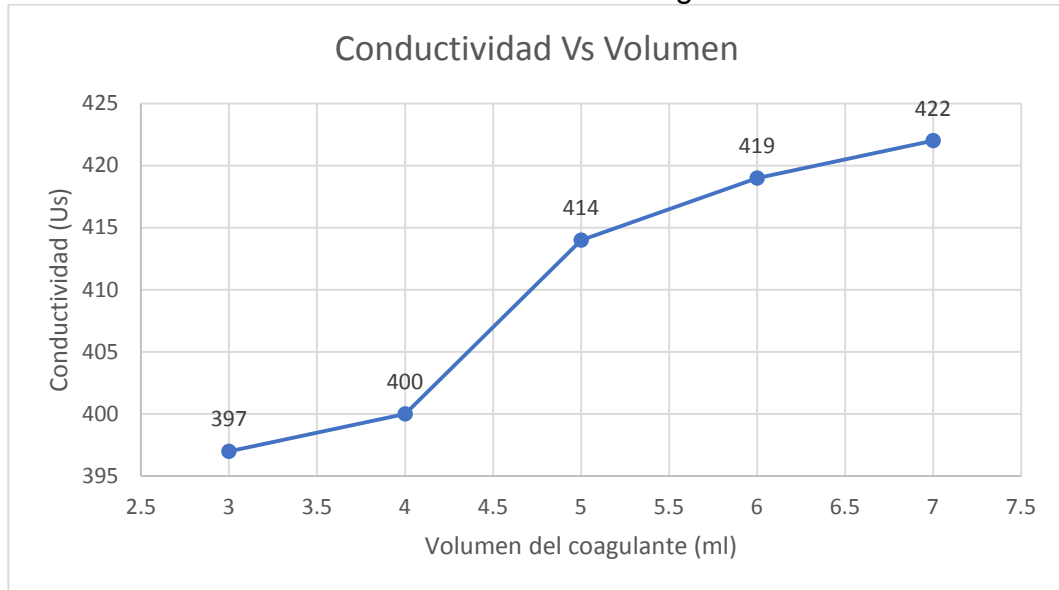
Parámetro	Ensayo 1 (3 mL)	Ensayo 2 (4 mL)	Ensayo 3 (5 mL)	Ensayo 4 (6 mL)	Ensayo 5 (7 mL)
Conductividad	397	400	414	419	422
pH	6,47	6,45	6,38	6,22	6,10
Alcalinidad	100	90	82	72	70
Turbiedad	10,0	5,41	35,6	7,67	5,57

Fuente elaboración propia

Haciendo un análisis de resultados, a partir de la tabla anterior se concluye que el pH para los 5 ensayos se encuentran en el rango óptimo para aguas residuales, la conductividad se mantiene en un rango de 397 (S/m) hasta 422 (S/m), la cual no varía mucho con el agua antes de ser tratada. Con respecto al parámetro de alcalinidad disminuyó para los 5 ensayos, pero con el ensayo 1 con 3 mL de coagulante no presentó una disminución significativa. Por último, la turbiedad más baja se presentó en el ensayo 2 con 4 mL de coagulante pero al compararle con el uso del primer coagulante Cloruro Férrico es más alta. El color en los 5 ensayos se encuentra en un rango de 3 a 5 ya que tiene una relación directa con la turbiedad.

3.2.1.10 Resultados de Conductividad vs volumen del Hidroxicloruro de Aluminio

Gráfica 11 Conductividad Vs Volumen del Coagulante

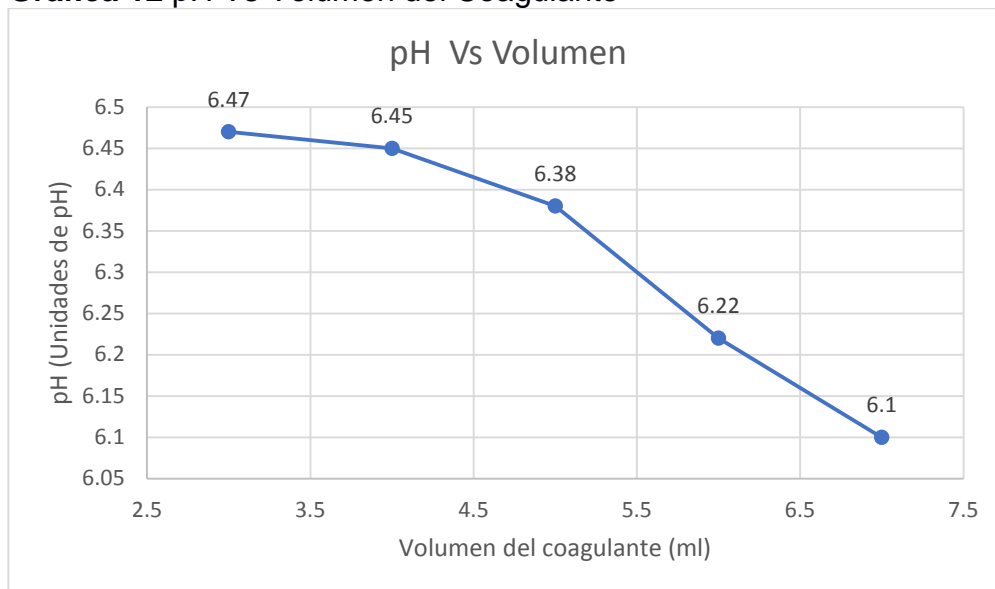


Fuente: elaboración propia

3.2.1.11 Resultados de pH vs volumen del Hidroxicloruro de Aluminio.

La siguiente gráfica presenta un comportamiento lineal en el cual a medida que aumenta el coagulante, su pH disminuye, dejándolo en valor neutro entre 6 y 6,5.

Gráfica 12 pH Vs Volumen del Coagulante

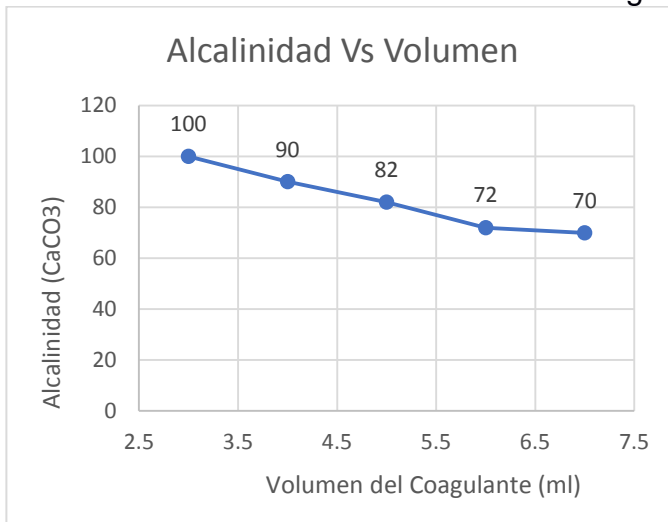


Fuente: elaboración propia

3.2.1.12 Resultados de Alcalinidad vs volumen del Hidroxicloruro de Aluminio

Para el caso del comportamiento del agua con respecto a su alcalinidad se concluye que ésta disminuye con el aumento del coagulante Hidroxicloruro de Aluminio.

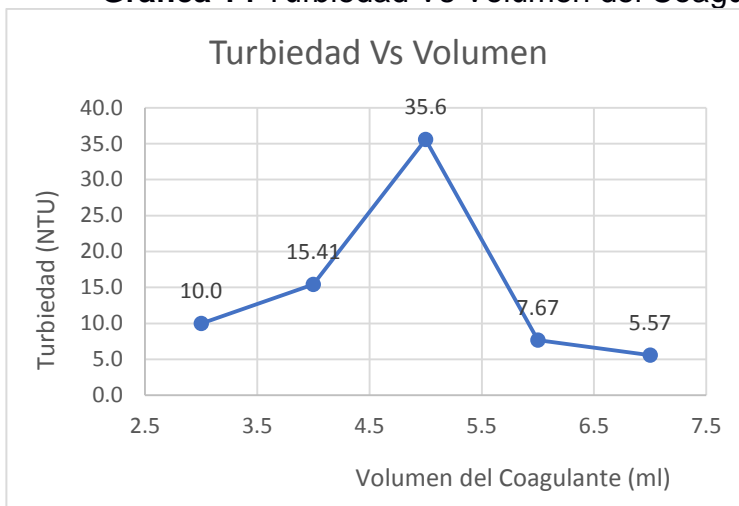
Gráfica 13 Alcalinidad Vs Volumen del Coagulante



Fuente: elaboración propia

3.2.1.13 Resultados de Turbiedad vs volumen del Hidroxicloruro de Aluminio.

Gráfica 14 Turbiedad Vs Volumen del Coagulante



Fuente: elaboración propia

Posterior al ensayo de jarras, se observó que entre los dos coagulantes propuestos Cloruro Férrico e Hidroxicloruro de Aluminio, se obtuvo que para el primero cuando se agregó 4 ml de coagulante en 400 ml de agua, dio como resultado un efecto óptimo en la precipitación de sólidos y menor tiempo de precipitación, que fue medido con ayuda de un cronometro durante el procedimiento. En las mediciones de pH se observa que se encuentran en los rangos adecuados es decir entre 6-9 unidades de pH, según la norma 631 de 2015. Sin embargo si el pH se saliera de la norma se debe realizar una neutralización con ayuda de NaOH, dosificando cuidadosamente, sin exceder la concentración del mismo o superar los límites que regulan la resolución, es decir 6-9 unidades de pH.

Con respecto a la turbidez, para los dos coagulantes se presenta una disminución en comparación con la inicial. Particularmente, hablando del Cloruro Férrico, se estima que la turbiedad presenta un promedio de 9,52 NTU disminuyendo en un 79% este parámetro. Mientras tanto para el segundo coagulante Hidroxicloruro de Aluminio se estima una disminución del 68% con respecto a la turbiedad. El parámetro de color tiene una relación directa con la turbiedad, por lo tanto, a partir de lo anterior, el coagulante Cloruro Férrico es el más adecuado para la remoción de la turbidez.

La alcalinidad se analizó antes y después del ensayo de jarras, para el primer coagulante usado se presentó mayor disminución y con un promedio de 78 $CaCO_3$. Este parámetro ayuda a regular los cambios de pH producidos por la adición de ácidos. En las aguas residuales, la alcalinidad es importante en aquellos casos en los que se emplean tratamiento químicos para la eliminación biológica de nutrientes. Para la selección del coagulante más adecuado en la mejora de la planta de aguas residuales, se desarrolló una matriz de selección en la que se analizaron los siguientes criterios:

• **CRITERIOS DE SELECCIÓN:**

- ✓ **Eficiencia:** se tendrá en cuenta la mayor disminución de los parámetros considerados en el ensayo de jarras.
- ✓ **Factibilidad:** al momento de la selección del coagulante se debe tener en cuenta que no afecte la infraestructura de la planta.
- ✓ **Costos:** al momento de determinar la alternativa más adecuada se debe contemplar costos bajos de reactivos.
- ✓ **Criterio de manejo operativo:** la alternativa a seleccionar debe contar con equipos tecnológicos que no requiera de ayuda humano durante periodos prolongados.
- ✓ **Sostenibilidad Ambiental:** debe evitar el impacto ambiental, mediante el control de residuos generados después del proceso.

A partir de los criterios de selección nombrados, a continuación se realiza una matriz que maneja las siguientes convenciones:

- ✓: Cumple con el requerimiento.
- X: No cumple con el requerimiento

Tabla 21 Matriz de Selección del Coagulante

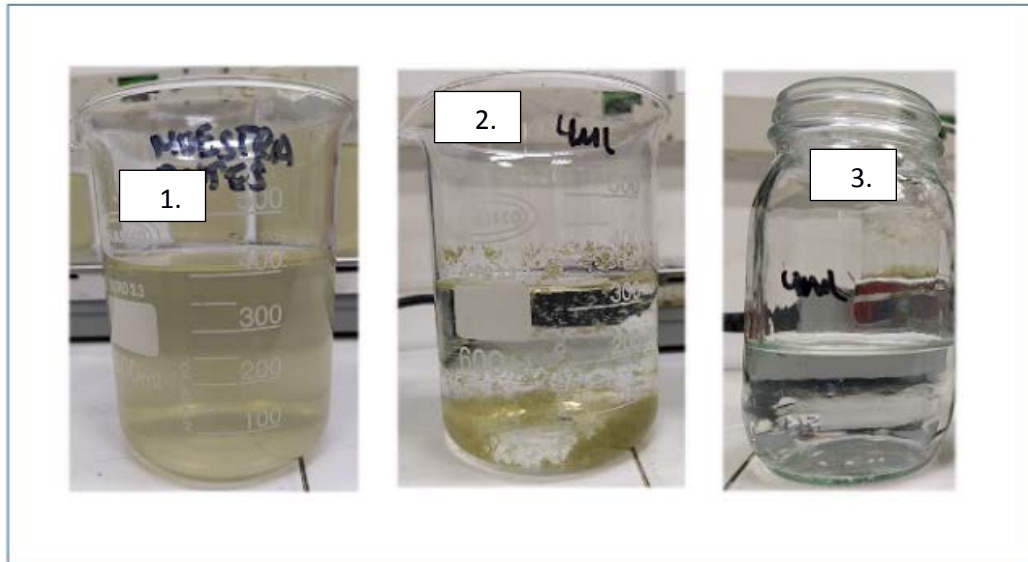
MATRIZ DE SELECCIÓN		
Criterios de Selección	Coagulante Cloruro Férrico	Coagulante Hidroxicloruro de Aluminio
Criterios técnicos		
Eficiencia	✓	X
Factibilidad	✓	✓
Costos	✓	X
Criterios de Operación		
Criterio de Manejo operativo	✓	✓
Sostenibilidad Ambiental	✓	✓

Fuente elaboración propia

Para finalizar con la segunda etapa de la alternativa de mejora, y a partir del desarrollo experimental, de las referencias bibliográficas y la matriz de selección se concluye que el coagulante más adecuado para la mejora de la planta y del vertimiento es el Cloruro Férrico, con un volumen óptimo de 4 mL de reactivo en 400 mL del agua a tratar a escala laboratorio; de tal manera que, posiblemente, haya una disminución en los parámetros no solo del ensayo de Jarras sino también los críticos según la resolución 631 de 2015.

En la siguiente figura se observa el agua antes del ensayo de Jarras comparándola con la adición de coagulante al volumen óptimo. La primera foto, ilustra la muestra sin tratar, para la segunda foto, se observa el agua después del ensayo de jarras, con 4 mL de Hidroxicloruro de Aluminio, en el cual se evidencia que su turbiedad disminuyó y por lo tanto el agua cambió su color a uno más cristalino. Por último, en la tercera foto, se retiraron los sólidos sedimentables producidos luego del proceso de floculación.

Figura 17 Agua Tratada con el Coagulante Seleccionado – Cloruro Férrico



Fuente elaboración propia

En el capítulo anterior se explicó el estado actual del agua, donde se evidencia una serie de parámetros que no cumplen según la resolución 631 de 2015, entre esos contaminantes tenemos algunos metales como el Hierro, Selenio, Cinc y Cromo. Actualmente la planta de tratamiento de aguas residuales en la empresa, cuenta con unos filtros, el primero de carbón activado y el segundo de membrana, que se encuentran al final del proceso luego de la sedimentación de sólidos. El filtro de membrana contiene una resina catiónica la cual atrapa cationes y tiene como objetivo la retención de sólidos más pequeños sobrantes del proceso de oxidación y precipitación química, esta resina al momento de atrapar este tipo de iones retiene algunos metales, sin embargo como tercera etapa en la alternativa de mejora para la reducción de los metales se propone una resina mixta, la cual tenga la capacidad de atrapar aniones y cationes y se logre un mayor porcentaje de remoción de los metales.

3.3 Etapa3: Evaluación de una nueva resina para el filtro de membrana.

ANALQUIM LTDA, cuenta con un sistema de filtración luego del proceso de oxidación y precipitación química; a este sistema ingresa el agua residual clarificada con la finalidad de remover sólidos suspendidos y mejorar la calidad del agua.

El Filtro es un sistema de filtro multimedia en opción FILTER que contiene una membrana y resina catiónica la cual permite la retención de sólidos más pequeños

después del tratamiento y la remoción de metales pesados. En la siguiente figura se muestra el filtro con el que cuenta la planta actual de la empresa.

Figura 18 Filtro Multimedia FILTER



Fuente elaboración propia

Las resinas de intercambio iónico son materiales esféricos que tiene un diámetro generalmente de 0,5 mm a 1 mm, son de material sintético. Están conformadas por matrices poliméricas con radicales polares ácidos, o bases. Su funcionamiento consiste en que cuando pasa el agua a través de la resina, ésta toma iones del agua y su vez cede una cantidad en cuanto a carga de protones o de hidroxilos. A continuación se representa este tipo de resina.

Figura 19 Resina para filtro de Membrana



Fuente Informaciones Técnicas. Catálogo de Productos. PuroLite.2014

Según la bibliografía hay varios tipos de resinas iónicas, Resinas catiónicas de ácido fuerte: eliminan los cationes intercambiando sodios o protones. Resinas catiónicas de ácido débil: eliminan los cationes asociados con bicarbonatos. Resinas aniónicas de base fuerte: eliminan todos los aniones. Se utilizan para eliminar carbonatos y silicatos. Resinas aniónicas de base débil: eliminan con gran eficiencia los aniones de ácidos fuertes (sulfatos, nitratos y cloruros).¹²

Este tipo de resinas se usan para remover sales disueltas en el agua, que se encuentran disociadas en forma de partículas con carga, es decir los iones. Este tipo de proceso es muy usado y además, tiene como ventaja la purificación del agua con bajo contenido de sales hasta tal punto donde solo permanecen trazas de dichos iones.

Las aguas residuales que pasan por estas resinas deben tener un pre-tratamiento para un óptimo funcionamiento y así mismo se cumpla la vida útil de la resina. Inicialmente este tipo de agua debe provenir de un tratamiento químico y de igual forma debe pasar por un filtro de carbón activado antes donde se pueda eliminar el color, olor y compuestos orgánicos del agua.

Como tercera etapa en la alternativa de mejora, y para la reducción de metales en el vertimiento de aguas residuales, se propone una nueva resina que sea mixta en la cual realice un trabajo doble, es decir atrapar aniones y cationes. Este nuevo tipo de resina es el resultado de la combinación de resina catiónica fuerte y aniónica fuerte la cual permite lograr abastecer agua libre de iones con conductividades menores a 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Para este lecho mixto, se encuentran varias ventajas en la que se tiene en cuenta, su estabilidad química, de larga duración y fácil regeneración. Actualmente las resinas tienen altas capacidades de tratamiento, y tiene costos bajos. A partir de esta información bibliográfica se realiza una prueba experimental a nivel laboratorio, que consiste en el uso de la nueva resina, por donde pasa el agua residual industrial generada por el tanque de oxidación y precipitación química. A continuación, se muestra la resina a usar:

¹² Resinas de Intercambio iónico. CONDORCHEM ENVITECH. Soluciones Medioambientales industriales. <https://condorchem.com/es/>

Figura 20 Resina Mixta Electrolítica



Fuente elaboración propia

Este tipo de resina por su calidad electrolítica y debido a que contiene un anión de base fuerte y un catión de ácido fuerte, permite que el agua procesada sea de la mejor calidad 18.3 MΩ. Este producto se obtuvo en la empresa BIOCIDAS Y QUIMICOS, compañía especializada en productos para el tratamiento de aguas, ubicado en la ciudad de Medellín – Colombia.

3.3.1 Prueba Experimental.

Con el fin de encontrar la mejor alternativa para la disminución de metales en el agua tratada y que haya cumplimiento con la norma 631 de 2015 para aguas residuales, se realizan unas pruebas en el laboratorio de las instalaciones de ANALQUI LTDA, para el agua residual, donde se hace una comparación de los datos obtenidos antes y después por el paso de la resina.

Inicialmente se mide el pH y la conductividad que dieron como resultado 8,19 unidades de pH y 1840 μS/cm para la conductividad. El agua residual pasa por la resina que se encuentra en un montaje de bureta como se observa a continuación:

Figura 21 Prueba experimental de la resina a Nivel Laboratorio



Fuente elaboración propia

En la imagen anterior, el agua que pasa por la resina pierde un poco de turbiedad, así mismo aparentemente se reducen una cantidad de sólidos. Debido a que este tipo de resina es mixta es decir aniónica y catiónica, las sales que se encuentran en el agua, deben disminuir, por lo tanto luego de este proceso, se analiza el agua por el método de absorción atómica para medir los metales que anteriormente incumplieron la normatividad legal, es decir, Selenio, Hierro, Cinc y Cromo. Así mismo se mide el pH y la nueva conductividad luego del tratamiento.

Figura 22 Multiparámetro Agua



Fuente elaboración propia

Con una sola sonda el medidor multiparamétrico controlar hasta 14 parámetros relevantes de la calidad del agua. El medidor multiparametrico es robusto y resistente al agua, y ha sido diseñado especialmente para mediciones al aire libre. Sistema de identificación de Tags Fast Tracker. Calibración rápida. Función GLP (Good Laboratory Practice) con memoria de las 5 últimas calibraciones. Sistema GPS: se calcula el lugar de medición. ¹³

En esta prueba el pH disminuyó al igual que la conductividad, lo anterior ocurre ya que la conductividad está directamente relacionada con las sales y la carga iónica que contiene, y como las sales disminuye su conductividad también. Por otro lado, en la siguiente tabla se encuentra la comparación de los metales analizados:

¹³ Medidor Multiparámetro portátil. PCE. INST. <https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-medida-laboratorio/medidor-multiparametrico-HI%209828xx.htm>.

Tabla 22 Resultados de Metales luego del desarrollo experimental

	Hierro (mg/L)	Selenio (mg/L)	Cromo (mg/L)	Cinc(mg/L)
Septiembre	1,69	0,019	0	0
Diciembre	2,36	0,018	0	0
Marzo	5,53	0	0	0
Junio	5,53	0	0,13	2,91
Promedio de Metales	3,78	0,018	0,13	2,91
PRUEBA DESPUÉS DE LA RESINA				
	Hierro (mg/L)	Selenio (mg/L)	Cromo (mg/L)	Cinc (mg/L)
Datos Experimentales	2,56	0,016	0,11	1,87

Fuente elaboración propia

En la tabla anterior, se exponen los resultados de laboratorio para el análisis de metales donde se observa disminución de todos los metales; por lo tanto, es válido afirmar que la resina mixta de grado electrolítico atrapa iones catiónicos y aniónicos lo cual permite que las sales queden retenidas en la resina y sea posible la disminución de estos contaminantes en el agua tratada que va al alcantarillado. Las especificaciones de la resina se explican en el siguiente capítulo de acuerdo su vida útil y costos en el filtro de membrana de la planta de tratamiento de aguas.

Finalizando este capítulo se propuso una alternativa de mejora que consta de tres etapas, con respecto al estado actual del agua y el estado actual de la planta de tratamiento; inicialmente se encuentra la implementación de una trampa de grasas con el fin de la eliminación de grasas y aceites y que a su vez remueve cargas orgánicas. En segundo lugar se propone el uso de un nuevo coagulante, es decir, Cloruro Férrico, ya que disminuye turbiedad, color, y sólidos suspendidos que por consiguiente afectan directamente las fuentes orgánicas. Por último, de acuerdo con el historial de caracterizaciones realizadas para el agua residual del vertimiento, se observa un incumplimiento de algunos metales en la resolución 631 de 2015, por lo tanto se propone como alternativa de mejora 3, el uso de una resina mixta de grado electrolítico que atrape iones catiónicos y aniónicos y se evidencie un porcentaje de remoción en estos metales.

4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA MEJORA SELECCIONADA

4.1 Etapa 1. Implementación Trampa de grasas en la planta de tratamiento de aguas residuales.

Para darle continuidad al capítulo anterior se deben tener en cuenta las especificaciones para cada alternativa de mejora. En primer lugar se propuso la implementación de una trampa de grasas que se encuentre al inicio de la planta de tratamiento de aguas, es decir antes de que el agua ingrese al tanque donde ocurre la oxidación y precipitación química. Uno de los factores importantes en la implementación de este nuevo equipo es el tamaño del mismo y que cumpla con las condiciones del caudal actual que maneja el agua en la planta al momento de verter.

Para hallar el volumen de la trampa de grasas se aplica la siguiente ecuación, el volumen de diseño debido a la trampa de grasa es de 75% el valor de la capacidad de la trampa de grasa, debido a que se asume un 25% menos por el volumen ocupado por tuberías.¹⁴

Ecuación 3 Volumen de Diseño para Trampa de Grasas

$$V_{diseño} = 0,75 * V_{Real}$$

Para hallar el volumen real tomamos datos brindados por la empresa a la cual pertenecen la altura de la tubería y su radio, y posterior se aplica la siguiente ecuación:

Ecuación 4 Volumen Real

$$V_{real} = \pi * r^2 * h$$

$$V_{real} = 450 L$$

Luego se reemplaza en la ecuación del Volumen del diseño:

$$V_{diseño} = 0,75 * 450$$

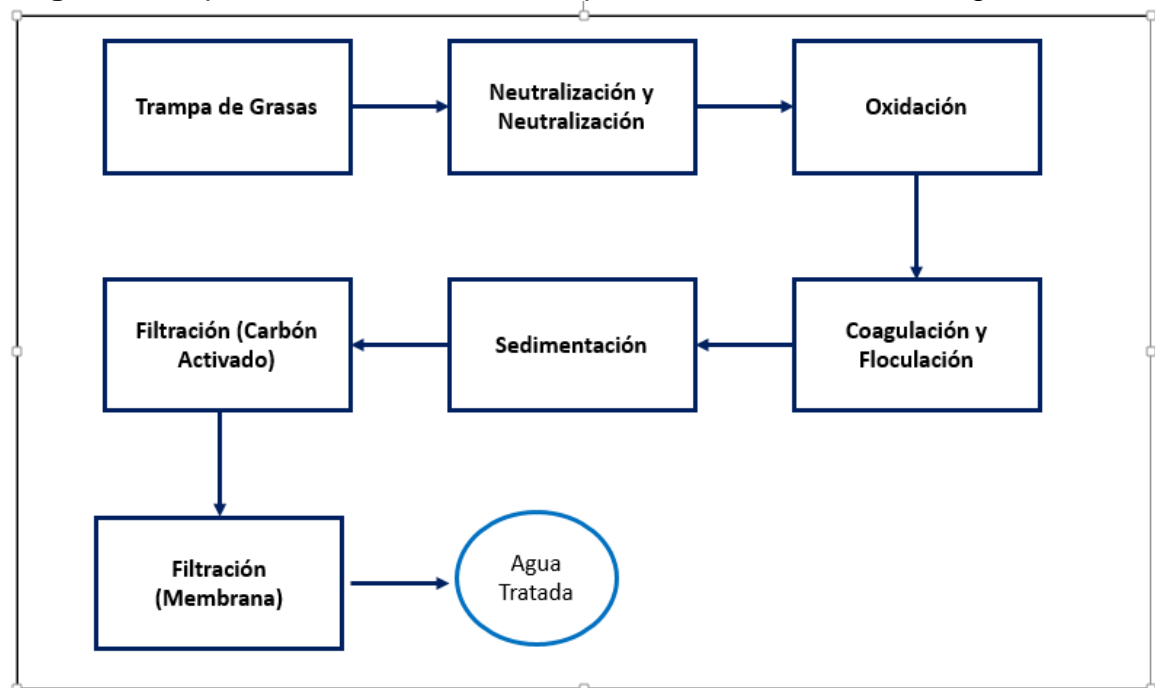
¹⁴ ROMERO ROJAS Jairo Alberto, Tratamiento de aguas residuales – teoría y principios de diseño – Escuela colombiana de ingeniería , 2008 , p1090

$$V_{\text{diseño}} = 337,5 L$$

ANALQUIM LTDA, maneja un caudal de 0,031 L/s, es decir con respecto a la información bibliográfica del capítulo anterior para la trampa de grasas es <1 y un volumen de $0,38 m^3$ que comparada a la tabla es de $1,80 m^3$; por lo tanto las dimensiones recomendadas superan el metro de largo, por lo tanto las dimensiones de la trampa de grasas son pequeñas.

Debido al espacio con el que cuenta la empresa se requiere que la trampa de grasas implementada sea de tipo subterránea de tal manera que sea instalada en la caja de inspección que tiene unas dimensiones de: ancho 0,6 m, largo 0,6 m y profundidad 1,2 m. En cuanto el proceso que realiza ANALQUIM LTDA, para el tratamiento de aguas, se adiciona un equipo nuevo, que se encontrará al inicio del proceso, es decir, el agua que ingresa a la caja de inspección y luego pasa por la trampa de grasas con el fin de remover grasas y aceites y sólidos, que por consiguiente ocurre una eliminación de carga orgánica para la eliminación y reducción de parámetros como DBO, DQO y Trampa de Grasas. A continuación se muestra el nuevo diagrama de operaciones unitarias en la planta de tratamiento de aguas residuales.

Diagrama 4 Operaciones Unitarias de la planta de Tratamiento de Aguas



Fuente elaboración propia

4.2 ETAPA 2. NUEVO COAGULANTE: CLORURO FÉRRICO

Dentro de las etapas de alternativas de mejora, se planteó realizar una evaluación de nuevos coagulantes, con el fin de mejorar el proceso de coagulación y floculación y poder disminuir sólidos suspendidos que contienen una alta fuente de carga orgánica y esto se ve reflejado en los resultados de las caracterizaciones con el incumplimiento de la normatividad legal para los parámetros Demanda Biológica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y Grasas y Aceites.

En el capítulo anterior, se realizó una prueba experimental (Test de Jarras) en el cual se concluyó que el reactivo más adecuado para el proceso de tratamiento de aguas residuales, es el Cloruro Férrico; la anterior decisión se llevó a cabo mediante una matriz de selección en la cual se determinaron criterios, de costos, eficiencia, impacto ambiental. A partir de lo anterior, debido a que el ensayo que se realizó fue a escala laboratorio, se deben realizar unos cálculos de acuerdo con el tamaño del tanque de agitación con el que cuenta la planta. En ANALQUIM LTDA, el proceso de oxidación y precipitación química, se refiere a una coagulación y floculación junto con ajuste pH. Esta parte del proceso ocurre dentro del tanque del principal que tiene una capacidad de 700 Litros; por lo tanto para el proceso de coagulación de deben agregar 7 Litros de Cloruro férrico en una agitación que lleva una velocidad de 100 rpm por un minuto. Adicionalmente se agregan 7 Litros de floculante Superfloc Kemira, con la misma velocidad 100 rpm durante 15 minutos. Pasado este tiempo se debe apagar el agitador para que los sólidos se puedan sedimentar. A continuación se muestra la tabla de dosificaciones y para el coagulante y floculante.

Tabla 23 Condiciones de operación Test de Jarra

	Volumen (litros)	Velocidad (rpm)	Tiempo de agitación (minutos)
Cloruro Férrico	7 L	100	1 min
Superfloc Kemira	7L	100	15 min

Fuente elaboración propia

Cabe resaltar que al momento de realizar la homogenización de muestras que ingresan al tanque se debe hacer una medición de pH y que cumpla unos rangos de valores de 6 a 7 unidades de pH. Cuando finaliza este ajuste, se agrega el coagulante y floculante con las condiciones anteriormente señaladas. Por último, al momento final donde se sedimentan los sólidos en su totalidad, se realiza de nuevo la medición de pH de tal manera que se confirme que su rango de trabajo no se ha salido de los límites permisibles; en caso de que esto suceda se debe ajustar el mismo ya se con un ácido o base según se encuentre.

4.3 ETAPA 3. RESINA MIXTA: GRADO ELECTROLÍTICO

Con el fin de realizar una reducción significativa para los metales que no cumplen con la normatividad legal, mencionados en el capítulo anterior, se propuso el cambio de resina para el filtro de membrana que está ubicado al final del proceso antes del vertimiento final al alcantarillado. Por lo tanto para la selección de la resina mixta de tipo anicónico y catiónico se realizó una prueba experimental donde el agua residual pasaba por una columna que contenía esta resina para luego ser analizada el agua final en el laboratorio, donde se pueda evidenciar los resultados de las concentraciones de metales en la nueva caracterización. En el desarrollo experimental se obtuvo que hubo una reducción en los metales Cinc, Cromo, Hierro y Selenio, esto se debe a que la resina químicamente cuenta con los dos tipos de iones de carácter catión y anión, y que permite atrapar las sales e iones de contaminantes que no pudieron ser removidos durante el proceso de oxidación y precipitación química. La resina seleccionada debe ser mixta y de un diámetro que no supere 1 mm de tamaño ya que debe ser ubicado dentro del filtro FILTER.

5. ANALISIS DE COSTOS

Para este capítulo se pretende realizar un análisis de costos donde se incluye los costos de inversión, costos de operación, costos de materias primas lo cual nos indicará el valor total para la mejora de la planta de tratamiento de aguas en la empresa ANALQUIM LTDA.

5.1 COSTOS DE INVERSIÓN

Para hallar los costos de inversión se tiene en cuenta los costos de los equipos a implementar, es decir, la trampa de grasas, teniendo en cuenta el volumen que se determinó en el capítulo anterior que nos permitió tener el tamaño de la trampa de grasas. Así mismo se tiene en cuenta la nueva resina de tipo mixta para el filtro de membrana, la cual puede cambiarse debido al uso que se le dé, que es aproximadamente cada 4 meses.

Tabla 24 Costo de Trampa de Grasas

Equipo	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Trampa de Grasas	1	\$1.666.000	\$1.666.000

Fuente elaboración propia

La información referente a la cotización de la trampa de grasas se encuentra Anexa al final del documento.

Tabla 25 Costo de Resina Grado Electrolítico

Equipo	Cantidad Peso (gramos)	Costo Unitario	Costo Total
Resina Mixta Grado Electrolítico	500 Gramos	\$54050,38	\$162151,14

Fuente: elaboración propia

La información referente a la cotización de la resina mixta de grado electrolítico se encuentra Anexa al final del documento.

5.2 COSTO DE OPERACIÓN

Para estos costos se tiene en cuenta los que son generados por la operación, donde se incluyen insumos y materia prima, y costos de mano de obra.

- **Costo de Insumos:** durante del desarrollo del proyecto se determinaron las cantidades de insumos y materia prima a usar en las pruebas experimentales. A continuación se muestra el valor de los costos.

Tabla 26: Costo de Insumos

Insumo	Costo	Presentación	Dosis Mensual	Dosis Anual	Costo Anual
Coagulante Cloruro Férrico	\$100.939.89	Galón de 25 L	84 L	1008 L	\$4.069.896.40
Floculante Kemira Super Floc	\$18.150	Saco de 25 Kg	84 L	1008 L	\$789.888
NaOH	\$125.304.69	Galón de 25 L	15 L	180 L	\$902.193.80
				Total	\$5.761.978.20

Fuente elaboración propia

- **Costo de Mano de Obra:** para la instalación, mantenimiento y funcionamiento de la planta de tratamiento, se propone contratar un operario que esté a cargo de este proceso, por lo tanto tiene el siguiente costo de mano de obra.

Tabla: Costo de Mano de Obra

Costo Mano de Obra		
Criterio	Valor Mensual	Valor Anual
Salario	\$828.116	\$9.937.392
Auxilio de Transporte	\$97.032	\$1.164.384
Vacaciones	\$34.700	\$416.400
Cesantías	\$73.684	\$884.208
Intereses a las cesantías	\$8.842	\$106.104
Prima de Servicios	\$69.009	\$828.108
Salud	\$67.344	\$808.128
Pensión	\$95.104	\$1.141.248
Dotación	\$80.000	\$960.000
ARL	\$34.443	\$413.316
Total	\$1.388.274	\$16.659.288

Fuente: elaboración propia

5.3 COSTOS TOTALES

Tabla 28 Costos Totales

Parámetro	Costo (\$)
Costo de Trampa de Grasas	\$1.666.000.00
Costo Resina Mixta	\$162.151.14
Costo Insumos	\$5.761.978.20
Costo Mano de Obra	\$16.659.288
Total	\$24.249.417

Fuente elaboración propia

Los costos totales incluyen la inversión que la empresa debe hacer anualmente, teniendo en cuenta la compra de la instalación de una trampa de grasas que solo se realiza una vez, por otro lado la resina que se hará la compra hasta agotar existencia; sin embargo, es importante aclarar que la resina mixta tiene un gasto depende de la demanda de muestras de aguas residuales que se vaya a verter. Así mismo se incluye los costos de insumos con respecto a los reactivo a usar para el proceso de coagulación y floculación en la planta.

6 CONCLUSIONES

- Se concluye que la empresa ANALQUIM LTDA, tiene vertimiento provenientes del proceso de análisis de muestras que no cumplen en su totalidad de parámetros de la resolución 0631 de 2015, los cuales son en repetidas ocasiones DBO, DQO, y grasas y aceites. Así mismo los metales, Cromo, Selenio y Cinc a causa de un mal manejo en la planta de tratamiento de aguas Residuales.
- Se propone una alternativa de mejora, que consta de tres etapas, en primer lugar la implementación de una trampa de grasas subterránea con el fin de remover en un alto porcentaje los parámetros de DBO, DQO, Grasas y Aceites.
- Se plantea como segunda etapa en la alternativa el uso de un nuevo coagulante, es decir Cloruro Férrico con una dosificación de 7 Litros para cada 700 Litros de la planta de Tratamiento de Aguas, con el fin de reducir la turbidez y los sólidos suspendidos que contiene el agua residual.
- Se propone como última etapa en la alternativa de mejora, el cambio de resina del filtro de membrana, donde se use una resina mixta de grado electrolítico con el fin de aumentar la remoción de metales incumplidos según la normatividad legal.
- Se determina las especificaciones para las alternativas seleccionadas, donde se especifica el volumen para la implementación de la trampa de grasas, la dosificación del coagulante Cloruro Férrico y el tipo de resina con el diámetro correspondiente a usar.
- Se desarrolla un análisis de costos, involucrando costos de inversión, costos de equipos, insumos, mano de obra, dando como resultado un costo total anual de \$19.991.288 para la primera. En el segundo año no se cuenta el costo de instalación de la trampa de grasas, es decir un costo total de \$24.249.417.

7. RECOMENDACIONES

- Evaluar un diseño nuevo en cuanto a infraestructura donde se encuentra la planta de tratamiento de aguas residuales, ya que el espacio actual es reducido en caso de realizar otra mejora.
- Adquirir un equipo nuevo en el cual se pueda realizar el ensayo de jarras y que permita periódicamente hacer este test e identificar nuevas dosificaciones de coagulante y floculante.
- Generar un proyecto para el uso de lodos que salen de la planta de tratamiento de tal manera que pueda ser utilizado en compostaje.

BIBLIOGRAFIA

AGUIERRE P. Mecanismos de eliminación de la materia orgánica y los nutrientes en humedales construidos de flujo superficial. Edición CPET. Barcelona. 2004. Pp 1-29.

BORRERO, L. Jaime. (1999), “Depuración de Aguas residuales municipales con humedales artificiales”, Trabajo final (Máster en Ingeniería y Gestión Ambiental) Instituto Catalán de tecnología Universidad Politécnica de Cataluña Barcelona

CENTA, SECRETARIADO ALIANZA POR EL AGUA. Manual de depuración de aguas residuales urbanas. Barcelona. 2012.

FONAM. (2010). Oportunidades de Mejoras Ambientales por el Tratamiento de Aguas Residuales en el Perú” Diciembre 2010.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogotá D.C: El instituto, 2018 ISBN 9789588585673 163p.

LIZARAZO Jenny. ORJUELA Martha Isabel. Sistema de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia. Universidad Nacional del Colombia. Facultad de Medicina, Especialización en Administración en Salud Pública. Bogotá. Colombia. 201 WEB: <http://bdigital.unal.edu.co/11112/1/marthaisabelorjuela2013.pdf>.

LOZANO R., W. A. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales: Módulo Didáctico. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2012.

METCALF & EDDY (1995), Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización, Volumen I-II, 3ra. Edición en español, Mac Graw-Hill. Madrid, España.

PROTOCOLO DE MUESTREO Y MEDICIÓN DE CAUDAL, LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL IDEAM, JULIO 1997.

PURIFICACIÓN DEL AGUA. Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá: 2000.

RIGOLA, PEÑA. M. “Tratamiento de aguas industriales” Alfa omega grupo editor. México. 1999.

ROMERO ROJAS Jairo Alberto, Tratamiento de aguas residuales – teoría y Principios de diseño – Escuela colombiana de ingeniería, 2008, p1092.

ROSALER, Robert y RICE, James, Manual de mantenimiento industrial. México D.F.: Mc Graw-Hill, 1993. Vol. 1. 133 p.

SALAZAR G., Lorena. Diseño de Plantas Potabilizadoras. Módulo didáctico. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2012.

SUNASS, (2016), Diagnostico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el Ámbito de Operación de las entidades prestadoras de Servicios de Saneamiento, Lima, Perú.

TROCONIS ALEJANRA. Tratamiento de Aguas Residuales. Belzona . Edición 2010.WEB:
https://www.belzona.com/es/solution_maps/wastewater/money_map.pdf.

ANEXOS