

EVALUACIÓN DE UNA PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO
PARA EL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL GENERADA EN UNA EMPRESA DE
SABORIZANTES

EMILY ANDREA SOLER URIBE
WINNY JIMENA PRIETO BERNAL

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ, D.C.
2019

EVALUACIÓN DE UNA PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO
PARA EL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL GENERADA EN UNA EMPRESA DE
SABORIZANTES

EMILY ANDREA SOLER URIBE
WINNY JIMENA PRIETO BERNAL

Proyecto integral de grado para optar el título de:
INGENIERO QUIMICO

Director
ALEXANDER LOPEZ
Ingeniero químico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2019

Nota De Aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Bogotá, D.C. Febrero, 2019.

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos.

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Decano Facultad de Ingeniería

Ing. Julio César Fuentes Arismendi

Director Programa ingeniería

Ing. Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez

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.

DEDICATORIA

Todo el esfuerzo puesto en este proyecto fue hecho en memoria de dos ángeles que tengo, mi tío Willy y mi abuelita flor; quienes fueron muy importantes en mi vida y a quienes les quede debiendo un montón, todo el esfuerzo de este trabajo y en general todo el esfuerzo de mi formación universitaria se lo ofrezco a ellos como símbolo de gratitud, y con la esperanza de que desde donde me acompañan se sientan muy orgullosos de mí. A mi amiga Winny Prieto por su conocimiento y su esfuerzo para el desarrollo de este proyecto, por su tranquilidad y paciencia en los momentos de dificultad, pero sobre todo por ser una confidente y la mejor compañera de trabajo de grado que pude tener

Emily Andrea Soler Uribe

Dedico este trabajo primero que todo a Dios por permitirme culminar esta etapa tan importante en mi vida, a mi familia quienes fueron los motores que me impulsaron en los momentos difíciles, quienes con su amor, dedicación y apoyo incondicional me enseñaron a perseguir mis sueños sin importar los obstáculos que se presenten durante el camino, a Anyi por su conocimiento, apoyo incondicional, por su amistad y momentos compartidos; dedico el esfuerzo de este trabajo de grado a mi compañera y amiga Emily Soler quien deposito su confianza en mí, logrando cumplir un mismo sueño ser ingenieras químicas. Finalmente agradezco a todos mis compañeros, amigos, profesores y demás personas que hicieron parte de este crecimiento personal y profesional.

Winny Jimena Prieto Bernal

AGRADECIMIENTOS

AL ingeniero Alexander López quien fue fundamental para la realización de este trabajo, por su apoyo a lo largo de este proyecto, por su ayuda en todas las dificultades que se presentaron, por darnos su voto de confianza, por los conocimientos brindados en la parte experimental y en general por todo su tiempo y su dedicación para la culminación de este proyecto.

Al ingeniero Fernando Moreno quien fue nuestro orientador, por aportarnos todos sus conocimientos para la culminación de nuestro trabajo, por su tiempo y su dedicación para el desarrollo del mismo.

Al ingeniero Cristian Duarte por su voto de confianza para la realización de este proyecto, por el apoyo para la realización del mismo, por el conocimiento compartido de todos los procesos de producción y por su tiempo.

A la profesional Diana Londoño por apoyarnos para la realización de este proyecto, por su aporte con la información necesaria para el desarrollo del mismo, por su tiempo y conocimientos compartidos.

A nuestros padres por su apoyo moral y económico para culminar este proyecto, por ser nuestra motivación y ese impulso que necesitamos en los momentos de dificultad, por estar siempre en los peores momentos motivándonos y llenándonos de valor. Gracias a su esfuerzo nosotras estamos culminando esta etapa y hoy estamos a un paso de ser profesionales. Gracias a su educación somos personas integrales con muchas aspiraciones por cumplir

CONTENIDO

	pág
INTRODUCCIÓN	22
OBJETIVOS	24
1. GENERALIDADES	25
1.1 SABORIZANTES ARTIFICIALES	25
1.1.1 Industria de saborizantes	26
1.1.1.1 Materias primas utilizadas	26
1.1.1.2 Proceso productivo para la producción de sabores artificiales.	27
1.1.1.3 Vertimientos	29
1.2 AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES	30
1.2.1 Características de las aguas residuales industriales	31
1.2.2 Tratamientos de las aguas residuales	32
1.2.2.1 Pretratamiento o tratamiento preliminares	34
1.2.2.2 Tratamientos primarios	34
1.2.2.3 Tratamientos secundarios	44
1.2.2.4 Tratamientos terciarios.	45
1.3 NORMATIVIDAD	45
1.3.1 Parámetros de evaluación	46
2. DIAGNÓSTICO	48
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE SABORIZANTES ARTIFICIALES	48
2.2 BALANCE HÍDRICO	53
2.2.1 Redes de aguas residuales	53
2.2.2 Consumo de agua	53
2.2.3 Consumo de agua en producción	55
2.2.4 Agua residual	55
2.2.4.1 Agua residual doméstica	55
2.2.4.2 Agua residual industrial	56
2.3 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	58
2.3.1 Muestreo	59
2.3.2 Comparación con la normatividad	62

3. EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO A NIVEL LABORATORIO	64
3.1 MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL	64
3.2 DESARROLLO EXPERIMENTAL	70
3.2.1 Clarificación	72
3.2.1.1 Test de jarras	77
3.2.1.2 Velocidad de sedimentación	93
3.2.2 Filtración	95
4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	101
4.1 DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS	101
4.1.1 Trampa de grasas	102
4.1.2 Tanque de homogenización	105
4.1.3 Tanque clarificador	110
4.1.4 Filtro carbón activado	116
4.2 DOSIFICACIÓN DE LOS REACTIVOS QUÍMICOS	120
4.2.1 Regulador de ph	120
4.2.2 Coagulante	121
4.2.3 Floculante	122
5. ANÁLISIS DE COSTOS	125
5.1 COSTOS DE INVERSIÓN	125
5.2 COSTOS DE OPERACIÓN	126
5.2.1 Materias primas e insumos	126
5.2.2 Costo operario	127
5.3 COSTOS DE CARACTERIZACIÓN	128
5.4 COSTOS TOTALES	129
6. CONCLUSIONES	132
7. RECOMENDACIONES	133
BIBLIOGRAFIA	134
ANEXOS	141

LISTAS DE CUADROS

	pág
Cuadro 1. Características de las aguas residuales	31
Cuadro 2. Clasificación de las aguas residuales industriales	33
Cuadro 3. Tipos de coagulantes	41
Cuadro 4. Tipos de sedimentación	43
Cuadro 5. Parámetros de evaluación según resolución 0631 de 2015	46
Cuadro 6. Descripción del muestreo del agua residual	59
Cuadro 7. Ventajas y desventajas de la electrocoagulación	65
Cuadro 8. Ventajas y desventajas de la clarificación	66
Cuadro 9. Ventajas y desventajas de los lodos activados	68
Cuadro 10. Descripción de coagulantes	74
Cuadro 11. Floculantes usados en la experimentación	77
Cuadro 12. Condiciones de operación para el test de jarras	78
Cuadro 13. Índice de Willcomb	78
Cuadro 14. Principales adsorbentes en el tratamiento de aguas residuales	95
Cuadro 15. Tiempos de retención hidráulicos	102
Cuadro 16. Características típicas de diseño para filtros monomedio	117

LISTAS DE TABLAS

	pág
Tabla 1. Registro del consumo hidrico bimensual	54
Tabla 2. Comparacion con la resolucion 0631 de 2015	63
Tabla 3. Resultados tratamiento de agua residual por lodos activados	69
Tabla 4. Parametros iniciales del agua residual industrial	72
Tabla 5. Condiciones iniciales del agua diluida 1:4	80
Tabla 6. Resultados determinación pH con hidróxido de sodio 5%	81
Tabla 7. Resultados determinacion pH con hidroxido de calcio 5%	82
Tabla 8. Resultados ensayo 2 seleccion del floculante	85
Tabla 9. Resultados ensayo 3 evaluacion de sulfato de alliminio	87
Tabla 10. Resultados ensayo 4 evaluacion de cloruro ferrico	88
Tabla 11. Resultados ensayo 5 evaluacion de policloruro de aluminio	89
Tabla 12. Recopilacion de resultados agua residual industria diluida 1:4	91
Tabla 13. Resultados agua residual industrial cruda	92
Tabla 14. Velocidad de sedimentacion agua tratada con sulfato de aluminio y PAC	94
Tabla 15. Comparacion de resultados del agua residual clarificada con PAC y filtrada con carbon activado	98
Tabla 16. Comparacion de resultados del agua residual clarificada con sulfato de aluminio y filtrada con carbon activado	98
Tabla 17. Resultados caracterizacion agua tratada con PAC	99
Tabla 18. Resultados caracterizacion agua tratada con sulfato de aluminio	99
Tabla 19. Cantidades de reactivos quimicos	123
Tabla 20. Dimensionamiento básico de los equipos	124
Tabla 21. Costo de los equipos	125
Tabla 22. Costo de los insumos	127
Tabla 23. Costo operario	128
Tabla 24. Costo caracterizacion de agua residual industrial	128
Tabla 25. Costos totales	130

LISTAS DE DIAGRAMAS

	pág
Diagrama 1. Proceso de producción de saborizantes	28
Diagrama 2. Diagrama general del proceso productivo	52
Diagrama 3. Balance hidrico general	58
Diagrama 4. Sistema de tratamiento propuesto	70
Diagrama 5. Secuencia general del desarrollo experimental	71
Diagrama 6. Secuencia experimental para la determinacion del polimero floculante	84
Diagrama 7. Secuencia experimental para la determinacion del cogaulante	86
Diagrama 8. Diagrama de equipos para el sistema de tratamiento	101

LISTAS DE IMÁGENES

	pág
Imagen 1. Area de saborizantes dulces	49
Imagen 2. Homogenizador	50
Imagen 3. Secador	50
Imagen 4. Area de aplicacion de los saborizantes dulces	51
Imagen 5. Ensayo 1 con hidroxido de calcio 5%	81
Imagen 6. Ensayo de jarras 1 con Hidroxido de calcio al 5%	82
Imagen 7. Comparación pH 12	83
Imagen 8. Resultados ensayo 2 seleccion del floculante	85
Imagen 9. Resultados evaluación de sulfato de aluminio	87
Imagen 10. Resultados de la evaluacion de cloruro ferrico	89
Imagen 11. Resultados evaluacion de policloruro de aluminio	90
Imagen 12. Carbón activado usado en la filtración	97
Imagen 13. Filtro de carbon activado	97
Imagen 14. Volumen de lodos generados durante la clarificacion	111

LISTAS DE GRÁFICAS

	pág
Gráfica 1. Consumo de agua en m ³ /bimensual	54
Gráfica 2. Variacion del caudal de agua residua respecto al tiempo	60
Gráfica 3. Variacion de pH respecto al tiempo	61
Gráfica 4. Variacion de la temperatura respecto al tiempo	62
Gráfica 5. Determinacion del volumen de suspension en función del tiempo	94

LISTAS DE ECUACIONES

	pág
Ecuación 1. Calculo consumo de agua para uso domestico	56
Ecuación 2. Balance hidrico general	56
Ecuación 3. Balance hidrico general por caudales	57
Ecuación 4. Porcentaje de remocion de turbidez	78
Ecuación 5. Dilucion de soluciones	80
Ecuación 6. Velocidad de sedimentación	93
Ecuación 7. Area de la trampa de grasas	102
Ecuación 8. Calculo de area	103
Ecuación 9. Relacion ancho/longitud del area de la trampa de grasas	103
Ecuación 10. Volumen útil	104
Ecuación 11. Profundidad útil	104
Ecuación 12. Volumen del tanque de homogenización	105
Ecuación 13. Volumen de un cilindro	106
Ecuación 14. Diametro del tanque de homogenizacion	106
Ecuación 15. Altura del tanque de homogenizacion	106
Ecuación 16. Area del tanque de homogenizacion	107
Ecuación 17. Longitud de la paleta de agitacion del tanque homogenizador	108
Ecuación 18. Diagrama del disco del tanque homogenizador	108
Ecuación 19. Potencia requerida del tanque homogeneizador	108
Ecuación 20. Volumen del tanque clarificador	110
Ecuación 21. Calculo tangente seccion conica del tanque clarificador	111
Ecuación 22. Calculo cateto opuesto seccion conica tanque clarificador	112
Ecuación 23. Volumen de un cono	112
Ecuación 24. Volumen sección cilíndrica del tanque clarificador	113
Ecuación 25. Área sección cilíndrica del tanque clarificador	113
Ecuación 26. Altura total del tanque clarificador	113
Ecuación 27. Longitud de la paleta de agitación del tanque clarificador	114
Ecuación 28. Diámetro del disco del clarificador	114
Ecuación 29. Potencia requerida tanque clarificador	115
Ecuación 30. Área tanque de clarificación	115
Ecuación 31. Profundidad de lecho	118
Ecuación 32. Tamaño efectivo del carbon activado	118
Ecuación 33. Coeficiente de unifromidad	118
Ecuación 34. Area de filtracion	118
Ecuación 35. Volumen del filtro	119
Ecuación 36. Diametro del filtro	119

LISTAS DE FIGURAS

	pág
Figura 1. Trampa de grasas	105
Figura 2. Tanque homogenizador	109
Figura 3. Tanque clarificador	116
Figura 4. Filtro de carbon activado	119

LISTAS DE ILUSTRACIONES

	pág
Ilustración 1. Doble capa de una partícula coloidal	36
Ilustración 2. Proceso de coagulación	37
Ilustración 3. Fuerzas de atracción y repulsión	38
Ilustración 4. Reestabilización de partículas	39
Ilustración 5. Atrapamiento de partículas coloidales en un floc	39
Ilustración 6. Desestabilización de coloides mediante polímeros	40
Ilustración 7. Sección cónica del tanque clarificador	111

LISTAS DE ANEXOS

	pág
Anexo A. Resultados Muestreo	141
Anexo B. Resultados Replica Desarrollo Experimental	142
Anexo C. Resultados Prueba De Sedimentación	145
Anexo D. Resultados Análisis Fisicoquímico Agua Residual Tratada Con Sulfato De Aluminio	146
Anexo E. Resultados Análisis Fisicoquímico Agua Residual Tratada Con Policloruro De Aluminio	147
Anexo F. Fichas Técnicas Floculantes	148
Anexo G. Fichas De Seguridad Coagulantes	151
Anexo H. Fichas De Seguridad Reguladores De Ph	161
Anexo I. Cotización Equipos Sistema De Tratamiento De Aguas Residual Industrial	168
Anexo J. Cotización Cogaulante Y Regulador De Ph	169
Anexo K. Cotizacion Floculante	170
Anexo L. Cotización Caracterización Agua Tratada	171

NOMENCLATURA

<i>ARI</i>	Agua residual industrial
$^{\circ}\text{C}$	Grados centígrados
<i>cm</i>	Centímetros
<i>cm/min</i>	Centímetros sobre minuto
<i>DBO</i>	Demanda Biológica de Oxígeno
<i>DQO</i>	Demanda Química de Oxígeno
<i>Kg</i>	Kilogramos
Kg/m^3	Kilogramos sobre metro cúbico
<i>kWh</i>	Kilovatio hora
<i>L</i>	Litros
<i>L/s</i>	Litro sobre segundo
<i>mg/L</i>	Miligramo sobre litro
mgO_2/l	Miligramo de Oxígeno por litro
<i>mL</i>	Mililitro
<i>mL/lh</i>	Mililitro sobre litro por hora
<i>m</i>	Metro
m^2	Metro cuadrado
m^3	Metro cúbico
m^2/g	Metro cuadrado sobre gramo
<i>min</i>	Minuto
<i>NTU</i>	Unidad Nefelométrica de Turbidez
<i>ppm</i>	Partes por millón
<i>rpm</i>	Revoluciones por minuto
<i>rps</i>	Revoluciones por segundo
<i>S</i>	Segundo
<i>SST</i>	Sólidos suspendidos totales
<i>UPC</i>	Unidades de Platino Cobalto
<i>W</i>	Watts

GLOSARIO

CONTAMINACIÓN: es la acción y efecto de introducir materias o formas de energía en el agua, de modo directo o indirecto que implique una alteración perjudicial de su calidad¹.

CONTAMINANTE: son todos aquellos productos químicos, desechos o materiales de diferente naturaleza que alteran la calidad del agua².

CARGA CONTAMINANTE: medida que representa la masa de contaminante por unidad de tiempo que es vertida por una corriente residual³.

EFLUENTE INDUSTRIAL: descargas residuales provenientes de la industria a cuerpos hídricos que pueden estar o no tratadas.

FLÓCULOS O FLOCS: aglomeración o masa coagulada de partículas en un líquido que se generan al adicionar una sustancia química floclulante.

MEZCLA RÁPIDA: agitación intensa cuya finalidad es dispersar el coagulante en el agua y que las reacciones de coagulación se den en condiciones óptimas.

MEZCLA LENTA: agitación lenta que tiene como objetivo favorecer la formación de aglomeraciones o flóculos.

pH: medida de acidez o alcalinidad de una sustancia. El potencial hidrógeno es el logaritmo negativo de la concentración molar de los iones de hidrógeno.

PLANTA DE TRATAMIENTO: instalación construida para reducir los contaminantes presentes en el agua residual antes de su descarga.

SISTEMA DE TRATAMIENTO: conjunto de operaciones físico- químicas y o/ biológicas, cuyo objetivo es modificar las características del agua residual a tratar

VERTIMIENTO: descarga residual a un cuerpo de agua o alcantarillado público.

¹ ARAQUE PINZÓN, Mariana. PROPUESTA DE DISEÑO DE UN MÓDULO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA PEQUEÑAS EMPRESAS DE JUGOS CÍTRICOS EN BOGOTÁ. Pontificia Universidad Javeriana, 2012. p. 19-20.

² CALVO FLOREZ, F. G. Contaminación del agua. 2018. 7-11

³ URIBE VÉLEZ, Álvaro and RODRÍGUEZ GONZÁLEZ RUBIO, Cecilia. DECRETO NÚMERO 3100 DE 2003. Colombia: 2003. 2

RESUMEN

En este proyecto se realiza la propuesta de un sistema de tratamiento para las aguas residuales provenientes del proceso productivo de saborizantes artificiales; para esto se realizó el diagnóstico del agua residual industrial en donde se determinaron los parámetros críticos que no dan cumplimiento a la normatividad vigente, de acuerdo a la comparación con la resolución 631 de 2015 que controla los vertimientos a los cuerpos hídricos.

Con el diagnóstico de las propiedades físico químicas se procedió a evaluar el sistema de tratamiento propuesto de acuerdo a la comparación de las ventajas y desventajas de las distintas alternativas de tratamiento experimentalmente mediante la simulación a nivel laboratorio de los equipos requeridos para el desarrollo del sistema de tratamiento, determinando las condiciones de operación, los reactivos necesarios y sus respectivas dosificaciones para lograr la mayor remoción de los contaminantes.

Finalmente se realizó el diseño del sistema de tratamiento mediante el dimensionamiento de los equipos y la dosificación de los reactivos químicos, para finalmente analizar los costos de inversión, operación y caracterización de las aguas residuales de la alternativa propuesta].

Palabras clave: aguas residuales, tratamiento de aguas residuales, caracterización del agua residual, clarificación

INTRODUCCIÓN

La carga contaminante presente en los cuerpos hídricos proviene por lo general de actividades industriales, agropecuarias o domésticas, su presencia es de gran importancia pues alteran las características físicas y químicas, impidiendo su consumo, la utilización en el riego y alterando los ecosistemas⁴, desatando una problemática que se agrava años tras año y es la escasez de este recurso. Actualmente cerca de la quinta parte de la población mundial vive en áreas de escasez física de agua, mientras que 500 millones se aproximan a esta situación debido a la sobreexplotación de las fuentes hídricas, el desperdicio y la gestión de forma insostenible⁵.

Esta problemática ha despertado el interés en la sociedad de tratar los efluentes provenientes de diferentes actividades mediante procesos físicos, químicos o biológicos antes de ser vertidos con el propósito de disponer los residuos líquidos de manera segura al alcantarillado o ser reutilizadas, disminuyendo el impacto ambiental y conservando este recurso hídrico⁶. Estadísticas presentadas por la Organización Mundial de la salud en América latina solo el 10% de las aguas residuales colectadas reciben algún tratamiento previo antes de ser dispuestos en los ríos o mares constituyendo un vector de trasmisión de parásitos, bacterias y virus en la salud humana⁷. En Colombia el volumen de agua residual generada por la industria manufacturera en el 2016 fue de 191.5 millones de metros cúbicos, donde los establecimiento dedicados a la fabricación de alimentos y bebidas aportaron 56.1 millones de metros cúbicos de agua residual⁸; al consumir gran cantidad de agua en sus procesos son los principales aportantes de vertimientos orgánicos industriales aumentando el DBO⁵, el DQO y SST⁹

Este trabajo de grado se lleva acabo para proponer un sistema de tratamiento físico-químico adecuado para el tratamiento de efluentes generados por la industria de saborizantes artificiales caracterizada por altos valores de DQO, DBO⁵, SST y aceites y grasas, cuya principal fuente de contaminación en esta fábrica se debe a la limpieza de material y equipos, a fin de permitir la descarga segura al alcantarillado público cumpliendo con la resolución colombina 631 de 2015 la cual

⁴ El problema de la contaminación hídrica - ECOLOGÍA. [0]. [Consultado el Nov 21,2018]. Disponible en: https://www.fundacionaguae.org/wiki-explora/35_contaminacion/index.html

⁵ Departamento de asuntos económicos y sociales de Naciones Unidas. Decenio Internacional para la Acción 'El agua, fuente de vida' 2005-2015. Áreas temáticas: Escasez de agua. [1]. [Consultado el Nov 20,2018]. Disponible en: <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml>

⁶ SALGOT, Miquel; FOLCH, Montserrat and UNIT, Soil Science. Wastewater treatment and water reuse. En: CURRENT OPINION IN ENVIRONMENTAL SCIENCE & HEALTH.

⁷ ARAQUE PINZÓN, Mariana. Propuesta de diseño de un módulo de tratamiento de aguas residuales para pequeñas empresas de jugos cítricos en Bogotá. Pontificia Universidad Javeriana, 2012. p. 1-109

⁸ Encuesta Industrial Ambiental (EAI) 2016. Bogotá D.C: Apr 27, 2018.

⁹ ARAQUE PINZÓN, op. cit, p. 11

establece los límites máximos permisibles en los vertimientos industriales evitando sanciones legales, financieras y disminuyendo el impacto ambiental.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar una propuesta de un sistema de tratamiento para el agua residual industrial generada en una empresa de saborizantes

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el estado actual del agua residual industrial del proceso de producción de saborizantes.
- Establecer el sistema de tratamiento para el agua residual industrial mediante un desarrollo experimental.
- Determinar las especificaciones técnicas del sistema de tratamiento seleccionado.
- Analizar los costos del sistema de tratamiento de agua residual industrial

1. GENERALIDADES

La industria alimenticia comprende procesos de elaboración de un gran volumen de productos y generación de residuos, requiere de grandes cantidades de agua para sus procesos y algunos usos ajenos al consumo como la limpieza de las materias primas y el lavado de los equipos productivos¹⁰. Uno de los productos de mayor influencia en esta industria son los saborizantes artificiales que se encuentran cada vez más presentes en nuestra alimentación y son diseñados para potenciar el sabor de los alimentos sustituyendo algunos ingredientes ausentes y recuperando el sabor que se ha perdido a lo largo de algún proceso de producción masivo¹¹.

La necesidad del recurso hídrico en los procesos de producción se determina en función de los criterios de calidad y plantea una problemática de generación de residuos líquidos con carga contaminante; estas cargas se deben prevenir y controlar adecuadamente, de lo contrario se podrían presentar inconvenientes con las entidades de control de residuos y afectar negativamente los ecosistemas locales¹².

En este capítulo se realiza una contextualización teórica de los temas relacionados en el presente proyecto y la problemática existente de la empresa en estudio encargada de la producción de saborizantes artificiales; se tratan conceptos como: los saborizantes artificiales, las aguas residuales industriales y sus características, los distintos tratamientos actuales que reducen la carga contaminante y la normatividad involucrada en los vertimientos de estos residuos.

1.1 SABORIZANTES ARTIFICIALES

Los saborizantes artificiales son concentrados de sustancias químicas que imitan un sabor natural, pueden ser líquidos, polvos y emulsiones dependiendo del producto elaborado al que se le incorporan; son ampliamente usados en la industria alimentaria para mejorar el sabor propio de los alimentos o transmitir un sabor y/o aroma determinado en un producto terminado; mediante la incorporación del saborizante se logran grandes cualidades sensoriales que hacen más atractivos los

¹⁰BERKOWIT, Deborah. Industria Alimentaria. En: Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. Madrid: Chantal Dufresne, BA, 2001. 1-.34 p.

¹¹ BARCIELA, Fernando. Factorías de sabores y olores. En: EL PAÍS. Madrid. Oct 5,2015

¹² BERKOWIT, Op.cit. 5

productos para el consumidor, proporcionando un sabor característico y propio del producto en el que se aplica.

1.1.1 Industria de saborizantes. La importancia de los saborizantes en la industria alimenticia radica en mejorar las propiedades sensoriales de los productos elaborados; entre las principales aplicaciones de los saborizantes tenemos la diferenciación con los demás productos al destinar un sabor único y específico, compensar las pérdidas que se pueden ocasionar en grandes producciones y transformar alimentos insípidos en productos agradables para el consumidor¹³.

1.1.1.1 Materias primas utilizadas. Se pueden clasificar las materias primas en sustancias aromáticas, naturales, químicas, disolventes y coadyuvantes. Las sustancias aromáticas pueden ser artificiales y naturales, son las encargadas de asignar notas específicas del sabor, por ejemplo el compuesto aldehído cinámico es en encargado de añadir la nota de canela en la mezcla, el compuesto 2-Hexanal es el que proporciona notas de manzana, el metil mercaptano añade notas de café; y así, cada compuesto añade una nota específica¹⁴.

En cuanto a las sustancias naturales se encuentran las siguientes¹⁵:

a) Aceites esenciales: aquellos productos oleosos de origen vegetal y animal obtenidos mediante la destilación por arrastre con vapor de agua¹⁶ entre los que se encuentran eugenol, isoeugenol, anetol, vainillina y timol.

b) Oleorresinas: aquellos que se extraen mediante disolventes orgánicos de especies o hierbas.

c) Especies: aquellos productos de origen vegetal característicos por generar sabores dulces amargos y por su olor fuerte.

d) Extractos: aquellos obtenidos por agotamiento en frío o en caliente de productos de origen animal o vegetal con disolventes, los extractos pueden presentarse como

¹³HERNANDEZ, Mario. Desarrollo de sabores para la industria alimentaria en SYMRIRE, S de R.L. de C.V. Instituto Politécnico Nacional, 2013. p. 1-30.

¹⁴ Ibid., p.10

¹⁵ Ibid., p.11

¹⁶Anonymous Reglamento técnico Mercosur de aditivos aromatizantes/saborizantes. [Consultado el Sep 1,2018]. Disponible en: <http://www.sice.oas.org/Trade/MRCSRS/Resolutions/AN4693.asp>.

extractos líquidos o secos, los extractos líquidos son aquellos que se obtienen con la nula o parcial eliminación del disolvente, mientras que los extractos secos se obtienen con la completa eliminación del disolvente.

d) Extracto graso: obtenido mediante la extracción de grasa animal o vegetal y la posterior purificación con flores.

e) Bálsamos: aquellos obtenidos mediante la exudación libre o provocada de especies vegetales con ácidos cinámicos o benzoicos y derivados esterés.

Además de compuestos naturales se emplean algunas sustancias químicas orgánicas separadas por compuestos oxigenados (alcoholes, aldehídos, ácidos, cetonas y ésteres), compuestos de nitrógeno y azufre como los mercaptanos, terpenos y fenoles. Los coadyuvantes empleados comprenden una amplia gama de compuestos antioxidantes, espesantes, enturbiantes, emulsificantes, colorantes, potenciadores, edulcorantes y conservadores. Por último, los disolventes y vehículos usados como el agua, propilenglicol, sal, almidones, gomas vegetales y alcohol etílico.

1.1.1.2 Proceso productivo para la producción de sabores artificiales.

Inicialmente se realiza la recepción de las materias primas empleadas, luego se procede a la inspección de las características fisicoquímicas y organolépticas de las mismas de acuerdo a los estándares de calidad; las materias primas en buen estado que cumplen con el control son separadas en dos grupos, el primero de ellos es almacenado para otros usos y el segundo continúa con el proceso de elaboración. Posteriormente se realiza la cuantificación de las materias primas, allí se pesan y se miden según la formulación asignada para cada sabor específico según el lote de producción requerido, se procede a la operación de mezclado mediante la agitación integrando todos los componentes¹⁷.

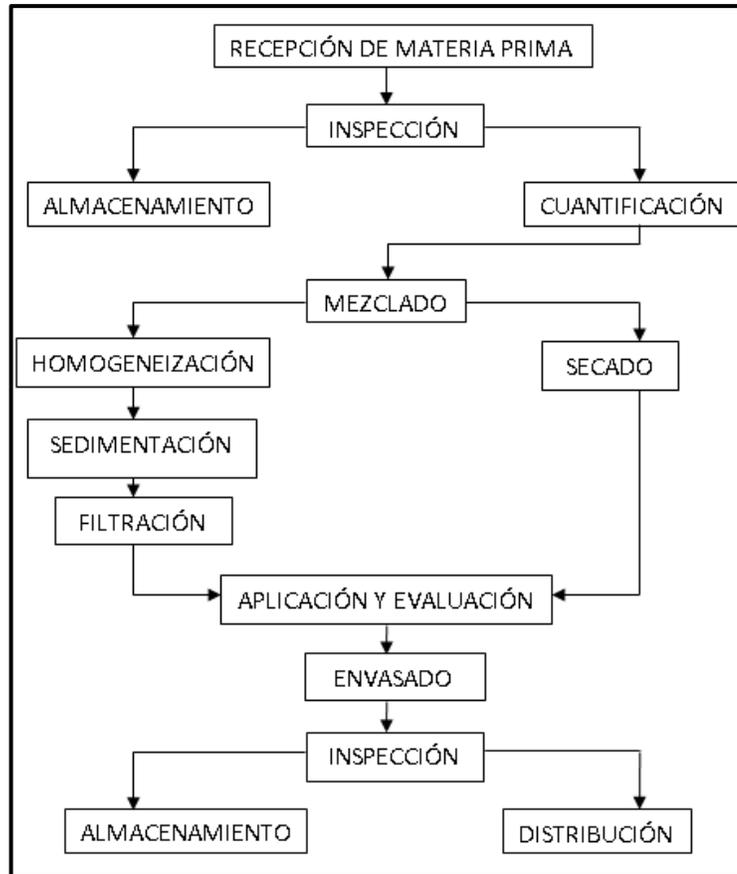
Los saborizantes pueden tener tres presentaciones: sólida, líquida o emulsión dependiendo de los requerimientos y el estado del producto en el que se va a aplicar; de acuerdo a esto se desprenden dos corrientes una vez se haya terminado la etapa de mezclado, una de ellas sufre un proceso de secado en el que se obtiene el saborizante en polvo y la otra corriente sufre un proceso de homogeneización de donde se genera el saborizante líquido. De ser necesario, en esta última corriente se llevan a cabo las operaciones de sedimentación y filtración¹⁸. Por último,

¹⁷ HERNÁNDEZ, op. Cit, p.16

¹⁸ Ibid., p.16

mediante la aplicación del saborizante en los productos se realiza la evaluación y el análisis de control de calidad, el producto que cumple con los requerimientos es envasado para finalmente ser distribuido, y otra parte es almacenada como muestra¹⁹. A continuación se identifican las operaciones y procesos unitarios involucrados en la elaboración de saborizantes²⁰.

Diagrama 1. Proceso de producción de saborizantes



Fuente: HERNANDEZ, Mario. Desarrollo de sabores para la industria alimentaria en SYMRIRE, S de R.L. de C.V. Instituto Politécnico Nacional, 2013. p. 1-3

¹⁹ Ibid., p.16

²⁰ Ibid., p.17

1.1.1.3 Vertimientos. En la producción de saborizantes artificiales se requieren grandes cantidades de agua para los procesos productivos, en su mayor parte para diversos usos ajenos al consumo, tales como el lavado de los utensilios y equipos productivos; el uso del agua se determina con base a los criterios de exigencia de calidad²¹ debido a que el proceso se realiza por lotes sobre pedido, de tal manera que es muy importante realizar el lavado de los equipos al finalizar cada lote, eliminando trazas de la corrida anterior y así evitar la contaminación cruzada²²

La industria de saborizantes genera residuos líquidos con alto contenido de materia orgánica soluble debido a que los saborizantes son producto de la integración de una variedad de sustancias de tipo orgánico principalmente; si estas cargas contaminantes no se controlan adecuadamente afectarán negativamente los ecosistemas locales, esto se debe a que los cursos de agua que reciben estos efluentes contaminados utilizarán el oxígeno disuelto para estabilizar biológica y químicamente la materia orgánica del agua²³. En consecuencia, la disminución de los niveles de oxígeno disuelto puede ocasionar daños ecológicos y ambientales como la muerte de los seres vivos acuáticos aerobios, problemas de salud pública por la generación de olores indeseables y el desarrollo de condiciones sépticas o descomposición en los ecosistemas²⁴.

La materia orgánica biodegradable está conformada por grasas y aceites, las proteínas y los hidratos de carbono; debido a las características oleosas de las materias primas provenientes de especies vegetales como los aceites esenciales, el aporte de aceites y grasas en las aguas residuales aumenta considerablemente²⁵. Los aceites y grasas de origen vegetal son biodegradables; sin embargo, al ser inmiscibles con el agua permanecen en la superficie de los efluentes y pueden interferir en el intercambio de gases entre la atmósfera y el agua impidiendo el paso del oxígeno y la salida de dióxido de carbono de la misma, si no son removidas

²¹ BERKOWIT, Op.cit 10

²² HERNÁNDEZ, op. Cit, p.16

²³ BERKOWIT, op.cit, p.11

²⁴ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. Teoría y principios de diseño. Tercera ed. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2000.

²⁵MARTÍNEZ Nodal, Pastora de la C, et al. Minimización del impacto ambiental de las aguas oleosas mediante columna rellena con bagazo de caña de azúcar. En: CENTRO AZÚCAR. Mar 1,.,vol. 43, no. 1, p. 61-69

podrían causar acidificación del agua, reducción de los niveles de oxígeno disuelto e interferir en la penetración de la luz solar²⁶.

1.2 AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

Las aguas residuales industriales son todas aquellas que provienen de una actividad industrial en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilizan aguas del proceso y aguas de drenaje²⁷. Toda agua residual posee carga contaminante que afecta de alguna manera la calidad del cuerpo hídrico receptor propiciando condiciones que hacen del agua inaceptable para su uso²⁸, Entre los contaminantes más importantes se encuentran los metales pesados, materia orgánica, compuestos de nitrógeno y fósforo, patógenos, sedimentos en suspensión, y productos químicos tóxicos²⁹.

El vertimiento de estos efluentes causa efectos importantes en los cuerpos hídricos receptores dependiendo de los contaminantes generados en las actividades industriales, por ejemplo las industrias que utilizan materias primas orgánicas son las principales contribuyentes a la contaminación por materia orgánica que es la responsable de la disminución de oxígeno disuelto en el agua, mientras que las industrias del petróleo, el acero y la minería son las principales contribuidoras de metales pesados que son tóxicos para todos los organismos³⁰; en general, las aguas residuales industriales causan efectos negativos para el medio ambiente y la vida acuática³¹.

Además de las consecuencias ambientales que se generan por los vertimientos, el estado puede sancionar a las entidades generadoras de acuerdo a la normativa actual que establece los límites máximos de la carga contaminante de acuerdo a

²⁶ VIDALES OLIVO, Amelia; LEOS MAGALLANES, Marina Yasabel and CAMPOS SANDOVAL, María Gabriela. Extracción de Grasas y Aceites en los Efluentes de una Industria Automotriz. En: CONCIENCIA TECNOLÓGICA. Dic., Vol. 40, p. 29-34

²⁷ Clasificación de aguas residuales industriales. En: AMBIENTUM. Jun, 2002

²⁸ Romeo, op.cit, p. 23-24

²⁹ Anonymous Aguas residuales industriales. Mar 13, 2017. [Consultado Sep 14, 2018]. Disponible en: <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact-36-industrial-wastewater/>

³⁰ *Ibíd.*,

³¹ PERU, Marketing. Efectos de las aguas residuales en el medio ambiente. Sep 28, 2017. [Consultado el Oct 13,2018]. Disponible en: <http://www.quimtiamedioambiente.com/blog/efecto-aguas-residuales-medio-ambiente/>

varios parámetros dependiendo de la actividad industrial³². Es por esto que es necesaria la disposición adecuada de estos residuos, mediante la aplicación de tratamientos para las aguas residuales que ayuden a reducir la concentración de los contaminantes presentes.

1.2.1 Características de las aguas residuales industriales. Los residuos líquidos generados después de un proceso productivo difieren sus características según la carga contaminante y la actividad industrial de la cual proceda; estas características por lo general son de tipo físico, biológico o químico. Las aguas residuales provenientes de industria se caracterizan porque DQO, DBO, sólidos suspendidos y disueltos, grasas aceites y metales pesados son los parámetros de mayor importancia ³³.

En el cuadro 1. Se muestran los principales parámetros para caracterizar las aguas residuales industriales y el impacto que tiene sobre el medio ambiente.

Cuadro 1. Características de las aguas residuales

CARACTERÍSTICAS	ASPECTOS IMPORTANTES
Físico	<ul style="list-style-type: none"> • Turbiedad: es una medida óptica de las partículas suspendidas y son un factor importante en la calidad de agua. • Temperatura: este parámetro afecta la evolución de la vida acuática, así como la velocidad de las reacciones químicas, la tasa de sedimentación y provee el crecimiento microbiano. • Sólidos totales: están directamente relacionados con la cantidad de lodo que se produzca en el sistema de tratamiento de agua residual y es la principal causa la turbiedad en el agua. • Grasas y aceites: son los compuestos de oxígeno carbono e hidrógeno que flotan cubriendo la superficie del agua residual. Este tipo de contaminante proviene de la mantequillas, aceites,

³² Resoluciones | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. [Consultado el Sep 27,2018]. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/normativa/resoluciones>

³³ CERVANTES, Mauricio. Conceptos fundamentales sobre ecosistemas acuáticos y su estado en México. 2007. p. 37-67.

Cuadro 1. (Continuación)

CARACTERÍSTICAS	ASPECTOS IMPORTANTES
Químico	<ul style="list-style-type: none"> • DQO: determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar el material orgánico presente en una muestra de agua a partir de un oxidante fuerte que por lo general es dicromato de potasio. • DBO: indica la cantidad de oxígeno empleado por los microorganismos para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones aerobias. • El DQO y el DBO desoxigenan el agua y producen olores indeseados. • pH: indica la concentración del ion hidrógeno en el agua. Este parámetro representa un peligro potencial para los seres acuáticos • Metales pesados: altas concentraciones
Biológico	<ul style="list-style-type: none"> • Las aguas residuales industriales están compuestas por un sinfín de microorganismos como virus, bacterias, hongos y animales acuáticos complejos de eliminar, además de ser puente de trasmisión de enfermedades.

Fuente: Recopilación. ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. Teoría y principios de diseño. Tercera ed. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2000. Pág. 24, 25, 37, 38, 54, 59, 60.

1.2.2 Tratamientos de las aguas residuales. Por tratamiento de agua se entiende como el conjunto de operaciones unitarias de tipo químico, físico o biológico cuyo propósito es reducir la carga contaminante (materia orgánica, grasas y aceites, sólidos suspendidos totales entre otros contaminantes) presente en las aguas residuales industriales o domésticas, obteniendo así aguas con los estándares requeridos para ser descargadas al alcantarillado sin transgredir la normatividad³⁴.

³⁴ AGUASISTEC. Planta de Tratamiento de Agua. [Consultado el Apr 15, 2018]. Disponible en: <http://www.aguasistec.com/planta-de-tratamiento-de-agua.php>

Los sistemas de tratamiento pueden ser físicos, químicos o biológicos. En los procesos químicos la remoción de la carga contaminante presente en el ARI se realiza mediante el uso de sustancias químicas³⁵; los procesos físicos tienen como propósito quitar partículas sólidas de pequeño mediano o gran tamaño según el método seleccionado³⁶; los métodos biológicos se caracterizan por emplear microorganismos, que contribuyan a la degradación y eliminación de las impurezas presente. Este tipo de tratamientos tiene mayores rendimiento y destruyen completamente los contaminantes transformándolos en sustancias inocuas, por lo general se lleva a cabo en reactores biológicos³⁷. El tratamiento las aguas residuales industriales se divide en 4 etapas: Pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario o avanzado. En el cuadro 2. Se muestra de manera simplificada los diferentes tratamientos que se usan para la clarificación de las aguas residuales industriales.

Cuadro 2. Clasificación de las aguas residuales industriales

PRE TRATAMIENTO	TRATAMIENTO PRIMARIO	TRATAMIENTO SECUNDARIO	TRATAMIENTO Terciario
Cribado	Coagulación	Lodos activados	Ósmosis inversa
Desarenado	Floculación	Filtros biológicos	Arrastre aire/ vapor
Desengrasado	Sedimentación		Intercambio iónico
Neutralización	Filtración		Adsorción
Homogenización			Procesos de membrana
Procesos físicos	procesos físico-químicos	Procesos biológicos	Procesos físicos, químicos y biológicos

³⁵ SÁNCHEZ MARTÍNEZ, Hugo. TRATAMIENTO QUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES. Mar 17,. [Consultado el April 15,2018]. Disponible en: <https://prezi.com/fbwg5wwtruft/tratamiento-quimico-de-aguas-residuales/>

³⁶ Redacción Ingeoexpert. Tratamientos físicos en las tecnologías de depuración de aguas residuales. : Ingeoexpert. 2017.

³⁷ ARNÁIZ, Carmen; LEBRATO, Juman and ISAC, Laura. Tratamiento biológico de aguas residuales; En: REVISTA TECNOLOGÍA DEL AGUA. Mar, 2000. p. 1-2

Cuadro 2. (Continuación)

PRE TRATAMIENTO	TRATAMIENTO PRIMARIO	TRATAMIENTO SECUNDARIO	TRATAMIENTO Terciario
Remover partículas sólidas que generen daños en los elementos de sistema	Eliminar material orgánico sedimentable y de flotante	Eliminación de material orgánico y patógenos	Eliminación de sólidos en suspensión, material orgánico residual, nutrientes y patógenos

Fuente: ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. Teoría y principios de diseño. Tercera ed. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2000.

1.2.2.1 Pretratamiento o tratamiento preliminares. Remueve del agua residual la mayor cantidad de residuos sólidos como: arcillas, arenas, grasas, aceites, latas, piedras entre otras partículas de gran tamaño por acción física y mecánica que por su naturaleza pueden generar averías en los equipo, taponamiento y desgaste en tuberías, válvulas o bombas y formación de costras, causando dificultades en el mantenimiento y operación en los procesos posteriores^{38 39}.

1.2.2.2 Tratamientos primarios. Este tratamiento tiene como finalidad la remoción de materia orgánica sólidos suspendidos y patógenos mediante procesos físico-químicos⁴⁰. Los principales procesos físico-químicos que pueden ser utilizados en el tratamiento primario son: la coagulación, la floculación, sedimentación y filtración.

a) Coagulación: proceso químico encargado de desestabilizar las partículas coloidales que se encuentran en suspensión en las aguas residuales, haciendo uso de sustancias químicas denominadas coagulantes⁴¹, los cuales trabajan como cargas positivas, y se le adicionan al agua con el fin de desestabilizar las partículas coloidales formando flóculos de gran tamaño que puedan precipitar y ser removidos con mayor facilidad. Mediante este proceso químico se remueve patógenos, materias orgánicas y sólidos suspendidos, disminuyendo así la turbidez y el color

³⁸ Alianza por el agua. MANUAL DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS. : MONOGRÁFICOS AGUA EN CENTROAMÉRICA [3]. España

³⁹ Romeo, op.cit, p.174-175

⁴⁰ Alianza por el agua, op.cit, p. 34

⁴¹ ANDIA CARDENAS, Yolanda. Tratamiento de agua coagulación y floculación. 2000. p. 1-44.

que estos coloides provocan en los líquidos residuales. El pH, la temperatura del agua, la concentración del coagulante y la velocidad de mezclado son parámetros críticos que se debe tener en cuenta al momento de realizar este proceso físico-químico⁴². A continuación se presentan algunos fundamentos teóricos.

Coloides: son sólidos suspendidos que presentan una carga negativa que impiden que las partículas se aproximan una a la otra, y las lleva a permanecer estable en el medio, causando que la sedimentación sea lenta o casi nula, responsables de la turbiedad y el color en las aguas residuales⁴³. Los sistemas coloidales se caracterizan en el tratamiento de aguas por ser hidrofóbicos e hidrófilicos, las partículas hidrofóbicas no se dispersan espontáneamente en el agua y deben ser retiradas por medios físicos, mientras que las hidrofílicas reaccionan químicamente con el agua y los coagulantes permitiendo la formación de flóculos, estas se caracterizan por dispersarse fácilmente en cuerpos de agua debido a que superficialmente se encuentra rodeadas de moléculas de agua que previenen todo el contacto entre las mismas⁴⁴.

La estabilidad de una dispersión coloidal se debe especialmente a las fuerzas de repulsión como lo son las fuerzas electroestáticas; pero existen también las fuerzas de atracción que cumplen con un papel opuesto y desestabilizan, entre ellas el movimiento Browniano y las fuerzas de Van der Waals⁴⁵. Esta última fuerza de atracción se caracteriza por actuar solo a distancias muy pequeñas, porque si dos partículas se acercan lo suficiente y sobrepasan la barrera electrostática las fuerzas de atracción predominarán y las partículas podrán unirse porque se ha desestabilizado el coloide⁴⁶.

Las partículas coloidales poseen una carga negativa en su superficie que atrae iones positivos de la molécula del agua, los cuales se adhieren fuertemente a las partículas formando la capa adherida o compacta. Los iones negativos se aproximan a la capa compacta y atraen iones positivos pero de manera débil

⁴² ANDIA, op.cit, p.9-10

⁴³ GOMEZ PUNTES, Néstor. Remoción de materia orgánica por coagulación - floculación; Universidad Nacional de Colombia, 2005. p. 1-113.

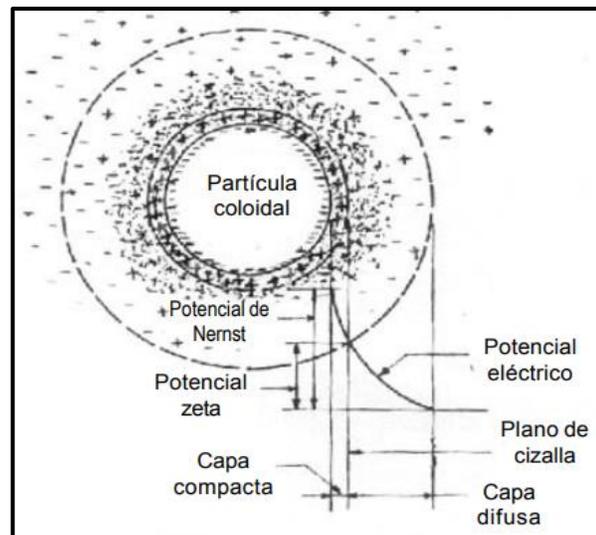
⁴⁴ VARGAS, Mariacruz and ROMERO, Luis. Desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en países en desarrollo instituto tecnológico de Costa Rica, 2010. p. 1-148.

⁴⁵ VARGAS, ROMERO, op.cit, p 19-20

⁴⁶ GOMEZ PUENTE, op.cit, p. 27-28

constituyendo así la capa difusa (ilustración 1)⁴⁷, por lo tanto, entre la superficie de la partícula y la solución existe un potencial electrostático denominado potencial zeta. Este potencial tiene un valor crítico, por encima del cual los coloides son estables y por debajo de él las repulsiones en las partículas se reducen para que estas puedan chocar y flocular.

Ilustración 1. Doble capa de una partícula coloidal



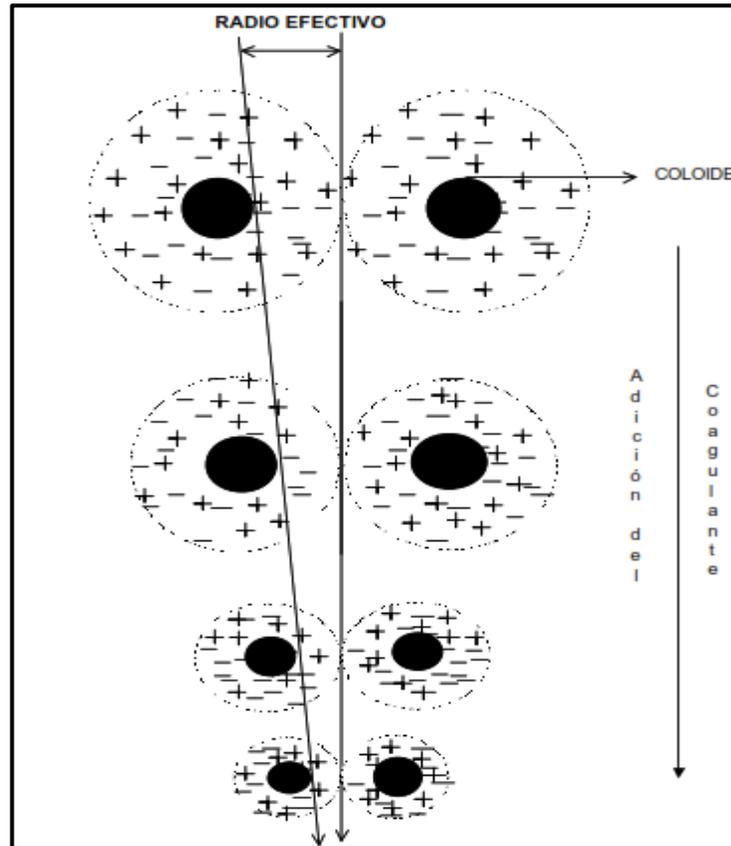
Fuente: VARGAS, Lidia. Coagulación. En: Martel Barrenechea ed. Tratamiento de agua para el consumo humano. Lima: 2004.

A partir de lo anterior el principal objetivo de la coagulación es reducir el potencial Z que mantiene el sistema coloidal estable y permitir que puedan acercarse lo suficiente para aglomerarse y formar flóculos de gran peso, que sedimentan rápidamente y de manera natural como se muestra en la ilustración 2⁴⁸.

⁴⁷ Ibíd., p.24

⁴⁸ RAVANAL, Julián Matías. Estudio del efecto de la arcilla caolinita en la velocidad de sedimentación y Yield stress empleando floculante aniónico y catiónico en pulpas de cuarzo; Universidad de Concepción, 2017. p. 1-72.

Ilustración 2. Proceso de coagulación



Fuente: RAVANAL, Julián Matías. Estudio del efecto de la arcilla caolinita en la velocidad de sedimentación y Yield stress empleando floculante aniónico y catiónico en pulpas de cuarzo; Universidad de Concepción, 2017. p. 1-72.

A continuación se presentan algunos mecanismos de coagulación

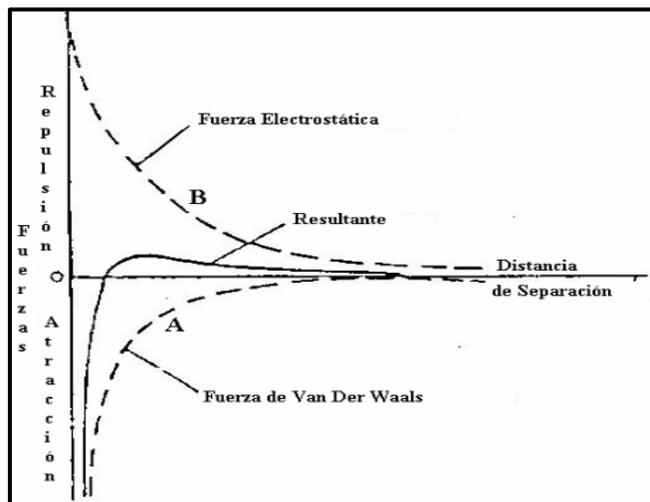
- **Compresión de la doble capa:** este fue el primer mecanismo que se estudió para explicar la desestabilización de un sistema coloidal por un coagulante, basado en las fuerzas electrostáticas y de repulsión⁴⁹. Este mecanismo explica que cuando se aproximan dos partículas las capas difusas interactúan y generan una fuerza de repulsión en función de la distancia que los separa, esta fuerza cae rápidamente con el incremento de aniones otorgados por los coagulantes como se ilustra en la ilustración 3⁵⁰. Por otro lado existen las fuerzas de atracción

⁴⁹ GOMEZ PUENTE, op.cit, p.34

⁵⁰ ANDIA, op.cit, p.11-12

llamadas fuerzas de Van der Waals (Ilustración 3) cuya curva es constante mientras que la repulsión eléctrica disminuye en función de incremento de iones de carga opuesta, como consecuencia a esto, las partículas pueden acercarse lo suficiente y ser desestabilizadas por la fuerza atractiva⁵¹.

Ilustración 3. Fuerzas de atracción y repulsión



Fuente: GÓMEZ PUNTES, Néstor. Remoción de materia orgánica por coagulación - floculación; Universidad Nacional de Colombia, 2005. p. 1-113

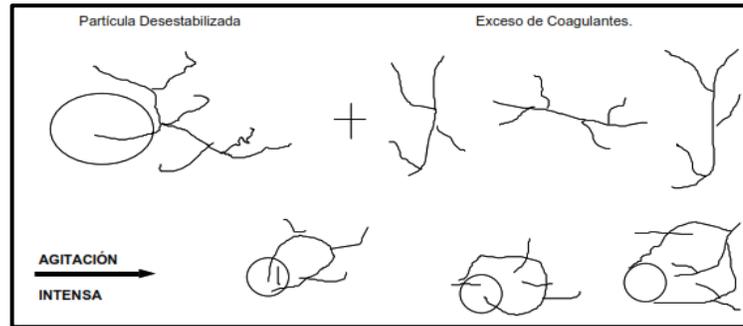
- **Adsorción y neutralización de cargas:** este modelo explica la desestabilización de los sistemas coloidales en términos de la solubilidad de las especies formadas, la doble capa de las partículas coloidales y el efecto de las sales de aluminio o de hierro sobre los coloides y otras partículas suspendidas. La carga de las partículas coloidales se debe a la ionización de los grupos hidroxilos, carboxilos, fosfatos o sulfatos presentes en las superficies de los coloides cuyos grupos reaccionan con los iones metálicos de los coagulantes produciendo la desestabilización del sistema y formación de flocs para su posterior precipitación⁵². Se debe tener en cuenta que el exceso de coagulante en el agua residual a tratar puede estabilizar la carga de la partícula esto se debe a que el coagulante es absorbido en la superficie de la partícula produciendo una carga invertida a la carga inicial⁵³.

⁵¹ VARGAS, Lidia. Coagulación. En: Martel Barrenechea ed. Tratamiento de agua para el consumo humano. Lima: 2004, p.151-220

⁵² GOMEZ PUENTE, op. cit, p.42

⁵³ ANDIA, op. cit, p.12

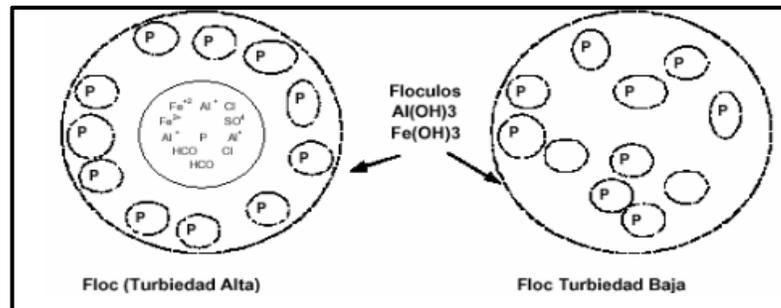
Ilustración 4. Reestabilización de partículas



Fuente: ANDIA CARDENAS, Yolanda. Tratamiento de agua coagulación y floculación. 2000. p. 1-44.

- Atrapamiento de partículas en un precipitado:** las partículas coloidales desestabilizadas, pueden ser retenidas dentro de un floc, cuando se adiciona la dosis adecuada de los coagulantes metálicos excediendo la solubilidad de sus hidróxidos metálicos produciendo una precipitación rápida, los cuales a medida que precipitan pueden atrapar partículas coloidales aplicándose así la remoción de la turbiedad. Este mecanismo es ampliamente utilizado en las plantas de tratamiento donde la coagulación y la sedimentación se anteceden a la filtración. Las aglomeraciones formadas después de este proceso químico son de mayor peso consiguiendo que la velocidad de sedimentación sea alta en comparación con los flocs formados por adsorción -neutralización⁵⁴.

Ilustración 5. Atrapamiento de partículas coloidales en un floc



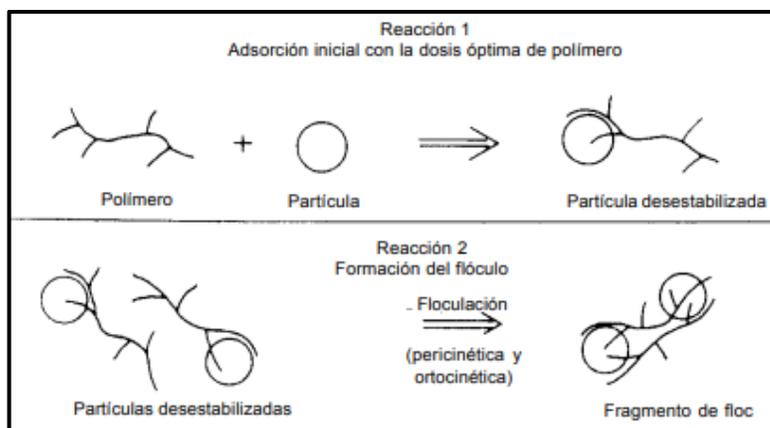
Fuente: ANDIA CARDENAS, Yolanda. Tratamiento de agua coagulación y floculación. 2000. p. 1-44.

- Adsorción y puente:** este mecanismo explica la formación de flocs a partir de compuestos orgánicos sintéticos y naturales de grandes cadenas moleculares.

⁵⁴ VARGAS., op.cit, p.191

La cadena polimérica contiene grupos químicos capaces de absorber las partículas coloidales en sus extremos, mientras que otros sitios son libres para absorber otras partículas, es decir el polímero sirve como puente entre partícula-polímero-partícula. La Ilustración 6 explica gráficamente el comportamiento de los polímeros en la formación de aglomeraciones⁵⁵⁵⁶

Ilustración 6. Desestabilización de coloides mediante polimeros



Fuente: VARGAS, Lidia. Coagulación. En: Martel Barrenechea ed. Tratamiento de agua para el consumo humano. Lima: 2004. p 151-220

Los coagulantes utilizados a nivel industrial estos agentes se dividen en dos grandes grupos; los coagulantes metálicos que pueden ser sales de hierro o aluminio y los coagulantes alternativos que se caracterizan por ser extraídos de materiales naturales (plantas, semillas, flores y frutos)⁵⁷, como se evidencia en el cuadro 3⁵⁸.

⁵⁵ *Ibíd.*, p.192

⁵⁶ ANDIA, *op.cit.*, p.13

⁵⁷ PÉREZ BELTRÁN, Jessica Paulin. Evaluación De La Sustitución Del Agente Coagulante - Sulfato De Aluminio- En El Proceso Actual De Coagulación-floculación De Agua Potable En La Empresa Eaf Sas Esp: Fundación Universidad De América, 2013.

⁵⁸ Rivas Romero, Sorangel; Menés Vuelta, Gerardo And Rodríguez, Aimet Rómulo. Tratamiento Por Coagulación-Floculación A Efluente De La Empresa Del Níquel Comandante Ernesto Che Guevara. En: Centro De Investigaciones Del Níquel (Cediniq). Mar,2017.P. 174-175

Cuadro 3. Tipos de coagulantes

CLASIFICACIÓN DE COAGULANTES			
COAGULANTES METÁLICOS		COAGULANTES ALTERNATIVOS	
SALES DE ALUMINIO	SALES DE HIERRO	POLIELECTROLITOS CATIONICOS	
Sulfato de aluminio	Sulfato férrico	Alginato de sodio	Se obtiene de algas marinas
Cloruro de aluminio	Sulfato ferroso	Nopal	Se obtiene de hojas de plantas
Aluminato de sodio	Cloruro férrico	Almidón	Se obtiene del maíz, yuca, trigo y papa
Clorhidrato de aluminio	Sulfato poliferrico	Gelatina común	Se obtiene de residuos de animales y huesos
Policloruro de aluminio		celulosa	Se obtiene de la corteza de los árboles
Sulfato de cloruro de polialuminio		Algarrobo	Se obtiene de la corteza de los árboles

Fuente: PEREZ, Jessica. Evaluación De La Sustitución Del Agente Coagulante - Sulfato De Aluminio- En El Proceso Actual De Coagulación-floculación De Agua Potable En La Empresa Eaf Sas Esp, Fundación Universidad De América, 2013. p. 48.

b) Floculación: es el proceso posterior a la coagulación en el cual las partículas desestabilizadas se unen para formar flóculos o grandes aglomeraciones caracterizadas por ser estables, de gran peso y que se pueden sedimentar fácilmente. La efectividad de este proceso se debe a la agitación lenta que permitirá agrupar estas partículas, de lo contrario se romperán los flóculos formados⁵⁹.

La floculación se origina como consecuencia del movimiento de las partículas desestabilizadas dentro del agua y tienen como objetivo: reunir las partículas coloidales en agrupaciones o flóculos con peso específico superior al agua,

⁵⁹ ANDIA, op.cit, p. 33

disminuyendo su grado de hidratación para mejorar los periodos de sedimentación y la firmeza de los flocs⁶⁰. Los floculantes se clasifican en⁶¹:

- **Floculantes minerales** en este grupo se encuentra la sílice activada, produce neutralización parcial de la alcalinidad de silicato de sodio en solución.
- **Floculantes orgánicos naturales** son polímeros extraídos de sustancias animales y vegetales, como el alginato de sodio utilizado como complemento de la coagulación con cloruro de hierro y sulfato de aluminio, otros como polisacáridos y derivados de celulosa usados en el tratamiento de aguas residuales.
- **Floculantes orgánicos de síntesis** son los más utilizados, se clasifican de acuerdo a la ionicidad de los polímeros en aniónicos (copolímero de acrilamida y ácido acrílico), neutros o no iónicos (poliacrilamidas) y catiónicos (copolímero de acrilamida y un monómero catiónico).

c) Sedimentación: proceso físico por el cual los componentes del agua residual se separan en dos fases, una líquida formada por agua y compuestos en disolución, y una sólida conocida como lodo glutinoso en el que se concentran los sólidos suspendidos más pesados del agua, los cuales debido a la fuerza de la gravedad se depositan en el fondo⁶². Esta operación física se caracteriza por ser una de las más empleadas y económicas durante el proceso de depuración de aguas residuales, ya que tiene la ventaja de poder ser aplicado en tanques de diferente forma permitiendo una gran adaptabilidad⁶³. La sedimentación se presenta de acuerdo a la temperatura, el tipo de partículas presentes, de la concentración de agua y el tipo de sedimentador como se puede apreciar en el cuadro 4.

⁶⁰ GOMEZ PUENTE, op.cit, p. 54

⁶¹ DÍAZ CLAROS, José Nahum. Coagulantes-floculantes orgánicos e inorgánicos elaborados de plantas y del reciclaje de la chatarra, para el tratamiento de aguas contaminadas 2014.

⁶² RAMALHO, Rubens Sette. Pretratamientos y Tratamientos Primarios. En: Tratamiento de aguas residuales. Barcelona: Editorial Reverté S.A., 1996. 92-93

⁶³MARTÍNEZ DELGADILLO, Sergio Alejandro and RODRÍGUEZ ROSALES, Miriam Guadalupe. Sedimentación De Lodos Biológicos, Silvia ed. Tratamiento de aguas residuales con MATLAB. Barcelona, España: Editorial Reverté S.A., 2005

Cuadro 4. Tipos de sedimentación

TIPO DE SEDIMENTACIÓN	CARACTERÍSTICAS DE LOS SÓLIDOS	CARACTERÍSTICAS DE LA SEDIMENTACIÓN	TIPOS DE UNIDADES DE TRATAMIENTO
I. Partículas discretas	Partículas discretas y aisladas en soluciones diluidas	Cada partícula sedimenta de forma independiente sin interacción entre ellas ni con el fluido que las contiene	Desarenadores, dársenas de sedimentación o pre sedimentadores
II. De partículas floculantes	Partículas (coloides) floculantes o aglomerados	Las partículas se van aglomerando formando coágulos o flóculos de mayor tamaño y peso	Sedimentadores de agua potables (con coagulación-floculación) y decantadores de agua residual
III. Zonal o interferida	Suspensiones de sólidos aglomerados concentración intermedia	La sedimentación es interferida dada la cercanía entre partículas y se comportan como un bloque	Sedimentación y decantadores de flujo ascendente y de manto de todos
IV. Por compresión	Suspensiones de alta concentración	Las partículas están en contacto íntimo entre ellas y su peso forma una masa compactada en el fondo de las unidades	Compactación de lodos sedimentadores y en unidades de espesamiento de agua residual

Fuente: ACOSTA, Diego and LAVERDE, Daniel. Diseño conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la empresa transportadora escolar Camargo hermanos S.A.-TECH S.A. Fundación Universidad de América, 2017. p. 30

d) Filtración: proceso físico mediante el cual la mezcla sólido-líquido atraviesa un medio poroso reteniendo las partículas sólidas en el medio y permitiendo el paso del fluido; en el tratamiento de aguas esta operación asegura la calidad del efluente pre-tratado porque elimina sólidos, material no sedimentable, turbiedad, DBO, DQO, metales pesados que no pudieron ser eliminados ⁶⁴.

1.2.2.3 Tratamientos secundarios. Son todos aquellos procesos biológicos anaerobios o aerobios empleados para eliminar la contaminación orgánica disuelta⁶⁵, en especial la demanda biológica de oxígeno y los sólidos en suspensión que no fueron posibles retirar, haciendo uso de microorganismos en especial de bacterias que degradan la materia orgánica presentes en los líquidos residuales⁶⁶. En los procesos biológicos aerobios, el material orgánico se transforma en biomasa bacteriana, dióxido de carbono y agua; mientras que en los procesos anaerobios esta materia orgánica se convierte en gas metano y dióxido de carbono obteniendo como producto final biogás y lodos de digestión. La eliminación de la carga orgánica se debe fundamentalmente a que los microorganismos son capaces de aprovechar la materia orgánica y los nutrientes (nitrógeno y fósforo) para su propio crecimiento.

a) Lodos activados: este método consiste en mezclar el lodo biológico (microorganismos) con el agua residual en un reactor, donde se hace burbujear aire u oxígeno, desde el fondo con el objetivo de favorecer el crecimiento microbiano teniendo en cuenta que la materia orgánica presente es útil como sustrato alimenticio. Los flóculos biológicos (lodo) generados en este proceso se sedimentan y se emplean como fertilizantes para cultivo o es transportado a un relleno sanitario. Los lodos activos pueden ser muy variables y dependen de⁶⁷:

- La naturaleza del suministro alimenticio
- Concentración de alimento
- Turbulencia temperatura
- Tiempo de aireación
- Concentración de lodos

⁶⁴ ROMERO, op. it, p.659

⁶⁵ UN PASEO POR EL RÍO GUADIANA- Innovación e Investigación Docente. Potabilización y depuración del agua. ETAP y EDAR. Mar 16, [Consultado el Apr 16,2018]. Disponible en: <http://lmsextrmadura.educarex.es/mod/page/view.php?id=10426>

⁶⁶ Gestión ambiental municipal. Tratamiento de depuración de aguas II: tratamientos convencionales. 201.

⁶⁷ ROMERO, op.cit, p.419

b) Filtros biológicos o filtro percolador: en este proceso la oxidación de la materia orgánica se produce al hacer circular el agua residual en un medio poroso o materia de soporte reduciendo la carga orgánica existente. En un biofiltro la muestra de agua residual industrial o doméstica se riega sobre el lecho filtrante la cual es altamente permeable donde se adhieren los microorganismos y a través del cual el residuo líquido se filtra⁶⁸. Este método se caracteriza porque no es necesario un pretratamiento para pasar por el filtro biológico y no es necesario el uso de ningún aditivo, coagulante o nutriente.

1.2.2.4 Tratamientos terciarios. Conocidos particularmente como tratamientos avanzados o complementarios. Son tratamientos físico químicos o biológicos que permiten obtener efluentes finales de mejor calidad cumpliendo con los estándares requeridos antes de que el agua sea descargada a los cuerpos hídricos⁶⁹, por lo general en esta etapa del tratamiento se elimina del efluente materia orgánica presente, nutrientes, sólidos en suspensión y patógenos que no fueron posibles eliminar en los tratamientos primarios y secundarios, cabe resaltar que este tipo de tratamiento es más costoso en comparación a los otros tratamientos.

1.3 NORMATIVIDAD

El ministerio de ambiente y desarrollo sostenible es el ente encargado de fomentar la protección y conservación de los recursos naturales del territorio colombiano, en busca de mejorar la calidad de los cuerpos hídricos se expidió una norma que controla los vertimientos industriales. La resolución 0631 del 17 de marzo de 2015 establece los límites máximos permitidos en los vertimientos tanto para las aguas residuales industriales como para las aguas residuales no domésticas dependiendo de la actividad realizada; ya sea industrial, comercial o de servicios. En el caso de la producción de saborizantes artificiales los valores límites se establecen de acuerdo al artículo 16, en este artículo se encuentran las actividades industriales de producción de productos alimenticios en general, entre estos se incluyen alimentos preparados para animales, maltas y cervezas, bebidas no alcohólicas, aguas minerales, aguas embotelladas, productos lácteos, aceites, café soluble, grasas de origen animal y vegetal⁷⁰

⁶⁸ ROMERO., op. cit, p. 559

⁶⁹ Alianza por el agua, op. cit, p. 37-39

⁷⁰ MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 631 de 2015.

1.3.1 Parámetros de evaluación. Los lineamientos para evaluar la carga contaminante de las aguas residuales industriales provenientes de la elaboración de productos alimenticios, más explícitamente de la producción de saborizantes artificiales; así como sus cantidades máximas permitidas según la resolución 631 de 2015 se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 5. Parámetros de evaluación según resolución 0631 de 2015

PARAMETRO	UNIDADES	RESOLUCIÓN 631 DE 2015 (ARTICULO 13)
pH	Unidades de pH	6.00-9.00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mgO ₂ /L	600
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)	mgO ₂ /L	300
Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	2
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	70
Grasas y Aceites	mg/L	10
Fenoles	mg/L	0,2
Formaldehido	mg/L	Análisis y Reporte
Sustancias Activadas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte
Hidrocarburos Aromáticos	mg/L	Análisis y Reporte
Cloruros	mg/L	500
Sulfatos	mg/L	500
Acidez total	mg CaCO ₃ /L	Análisis y Reporte
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	Análisis y Reporte
Dureza Cálcica	mg CaCO ₃ /L	Análisis y Reporte
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	Análisis y Reporte
Color Real	UPC	Análisis y Reporte
C. Absorción 436 nm	m ⁻¹	Análisis y Reporte
C. Absorción 525 nm	m ⁻¹	Análisis y Reporte
C. Absorción 620 nm	m ⁻¹	Análisis y Reporte

Fuente: MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 631 de 2015.

En este capítulo se comprenden los fundamentos teóricos y se describen los conceptos básicos relacionados para el desarrollo del presente proyecto, entre los que se incluye la contextualización de la industria de saborizantes, las características de los efluentes generados durante el proceso productivo, las operaciones físicas, químicas o biológicas usadas para el tratamiento del agua

residual industrial y se establece la normatividad colombiana encargada de controlar los vertimientos industriales al alcantarillado público.

2. DIAGNÓSTICO

Para determinar el estado actual de las aguas residuales industriales, se describe las características actuales del proceso productivo de la empresa y de los equipos involucrados durante el proceso, con el fin de cuantificar la cantidad de agua utilizada en las diferentes actividades de la empresa y determinar las áreas críticas dentro de la misma. Para determinar la carga contaminante del agua residual generada en la producción de saborizantes se realiza el análisis fisicoquímico inicial del efluente obteniendo los valores de la concentración según los parámetros decretados en el artículo 16 de la Resolución 631 del 2015 para empresas que se dediquen a la elaboración de productos alimenticios y bebidas.

Por medio del estudio del proceso productivo y de la caracterización fisicoquímica del efluente generado en la empresa de saborizantes artificiales, se plantean el sistema de tratamiento que permita la reducción de la carga contaminante del efluente y cuya evaluación se realiza a nivel laboratorio.

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE SABORIZANTES ARTIFICIALES

La compañía de estudio se encuentra ubicada en la ciudad de Bogotá D.C, se dedica al diseño, producción y comercialización de saborizantes artificiales con el fin de conferirles a los alimentos como refrescos, papas fritas, bebidas lácteas, bebidas carbonatadas, entre otros alimentos características sensoriales logrando que estos sean más atractivos y de mayor aceptación por el consumidor. A continuación, se hará una breve descripción de las etapas que se involucran en la producción de saborizantes artificiales:

- **Generación orden de producción:** para comenzar con la producción es necesario generar la orden de venta por parte del cliente vía electrónica. Para esto la empresa cuenta con un software especializado el cual permite establecer las características sensoriales (color, aroma, sabor), si es un saborizante salado o dulce, el estado para su aplicación (sólido líquido), la cantidad que se requiere del producto a fabricar y el tiempo de entrega.
- **Formulación:** en esta área de producción se realiza la cuantificación de las sustancias químicas que se integran dentro de la preparación de los saborizantes para conferir según la orden de producción el sabor y aroma de algún alimento dando cumplimiento a las características especificadas por el cliente, cuyo proceso se realiza a nivel laboratorio. Para la creación de los diferentes saborizantes la empresa cuenta con más de 1400 materias primas

como aceites esenciales, estabilizantes, colorantes, compuestos orgánicos como aldehídos, cetonas, ésteres, fenoles, ácidos, bases sulfuradas y compuestos aromáticos⁷¹ cuyas sustancias químicas aportan notas de sabor diferentes. De acuerdo a la naturaleza, las materias primas son altamente aromáticas y requieren ser diluidas para alcanzar concentraciones consumibles adecuadas utilizando etanol y propilenglicol como disolvente.

- **Mezclado:** luego de la formulación del lote que se va a producir, se pesan o se miden las materias primas seleccionadas las cuales se vierten de forma manual en vasos precipitados de 250ml y 500ml para finalmente ser mezcladas según la producción requerida y lograr la homogeneización del producto. Esta operación se realiza en una plancha de calentamiento con agitación magnética por un tiempo, con una velocidad y a una temperatura estandarizada por la empresa según la naturalidad de los saborizantes. El área de mezclado se compone de tres secciones importantes: el laboratorio de saborizantes dulces, el laboratorio de saborizantes salados y una tercera sección especial la cual cuenta con una cabina de extracción para aquellos compuestos muy olorosos.

Imagen 1. Area de saborizantes dulces



Fuente: elaboración propia.

- **Homogeneización:** las emulsiones generadas en el área de mezclado se llevan al homogeneizador de alta presión el cual opera a 4500 psi y 24°C, cuyo objetivo principal es romper las partículas oleosas en pequeñas partículas de tal forma que no se separen de la masa del líquido, generando una mezcla homogénea, consistente y más viscosa.

⁷¹ Anonymous. Flavour production. September 17. [Consultado el Oct 2, 2018]. Disponible en: <https://www.brewersjournal.info/flavour-production-in-a-nutshell/2/>

Imagen 2. Homogenizador



Fuente: elaboración propia.

- **Secado:** si entre los requerimientos del cliente es obtener un saborizante para sazonar algún alimento en específico su estado de aplicación es en polvo; para ello se debe obtener un polvo a partir del saborizante líquido generado en el mezclado. Este cambio de fase se realiza mediante un secado por pulverización que consiste en la producción de polvos finos mediante la evaporación del disolvente que se consigue mezclando un gas calentado con un líquido atomizado⁷². La presión de operación a la entrada 152 psi y la presión de salida de 85 psi.

Imagen 3. Secador



Fuente: elaboración propia.

⁷² SICCHA, Ana and UGLAZ DE LOCK, Olga. secado por atomización (spray driver). En: REVISTA DE QUÍMICA. Junio, vol. 10, p. 39

- **Aplicación y evaluación:** una vez se genera el saborizante es llevado al área de aplicación dulce o salada en donde se evalúa el comportamiento del saborizante en los productos de destino. Para hacer los ensayos respectivos se utiliza menos del 1% de la muestra y se analizan las curvas de concentración, las fases de mejor comportamiento y se realizan las recomendaciones oportunas para su aplicación.

Imagen 4. Area de aplicacion de los saborizantes dulces

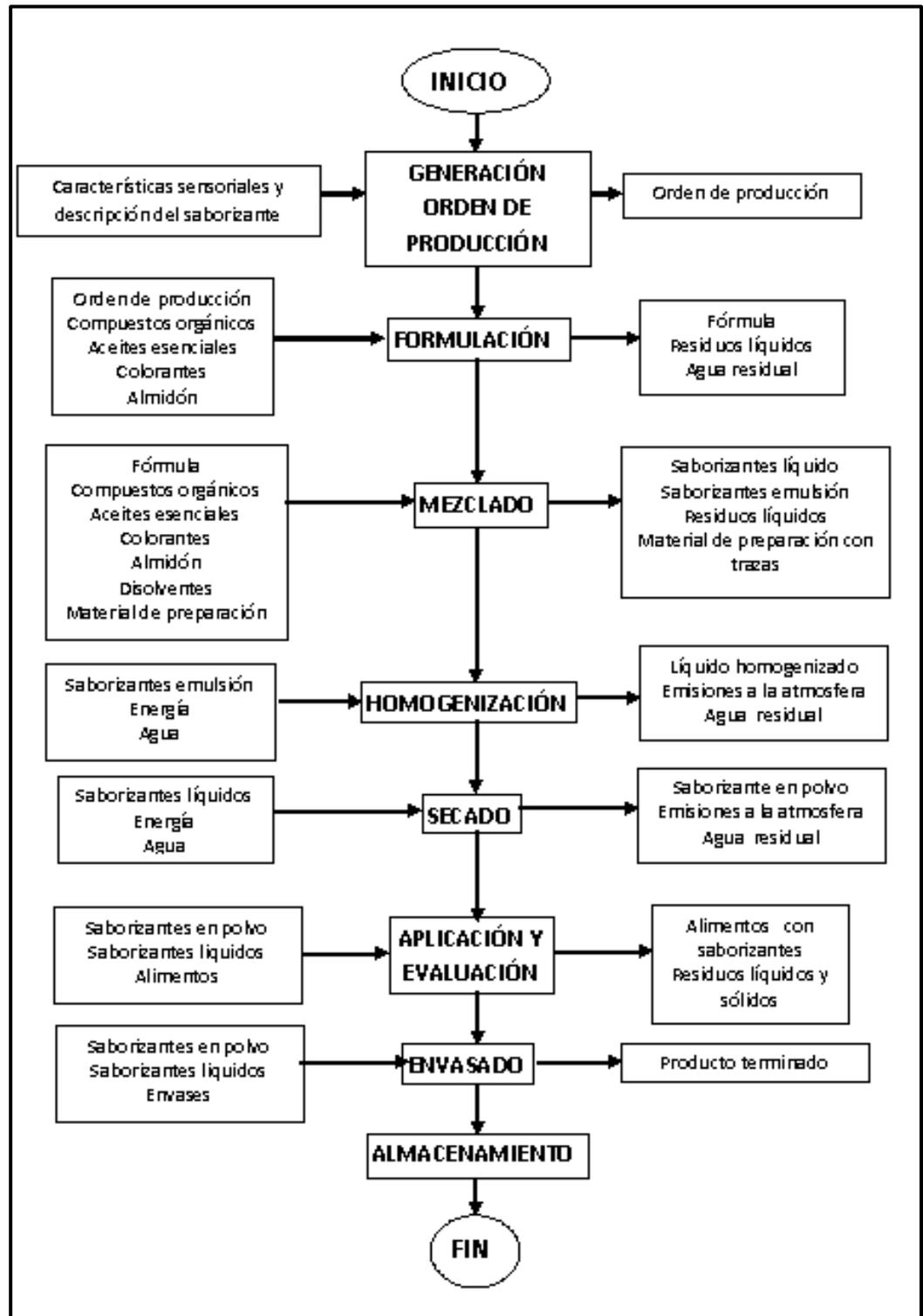


Fuente: elaboración propia.

- **Envasado:** antes de que producto final sea almacenado, los saborizantes líquidos o en emulsión son envasadas en botellas de color ámbar de vidrio, especiales para mantener la concentración de los saborizantes y proteger de la luz las muestras; los saborizantes en polvo por el contrario son enfrascados en recipientes plásticos y rotulados con el sabor del producto final.
- **Almacenamiento:** al finalizar el envasado, los productos finales se almacenan en cuarto que cuenta aproximadamente con cinco repisas de almacenamiento en el cual se separan los sabores dulces de los sabores salados y se ordenan alfabéticamente.

En cuanto a la generación de los residuos líquidos hay dos principales puntos de interés, el primero de ellos involucra el área de lavado, esta se conforma por un platero donde se realiza la limpieza del material de trabajo provenientes de las diferentes áreas de la planta, aquí las principales fuentes contaminantes son las trazas de los compuestos utilizados. El segundo punto de interés se encuentra en la sección de los equipos donde se genera mayor cantidad de residuos líquidos debido a que se utilizan grandes volúmenes de agua en el lavado el cual se realiza al finalizar la producción de cada lote.

Diagrama 2. Diagrama general del proceso productivo



Fuente: Elaboración propia

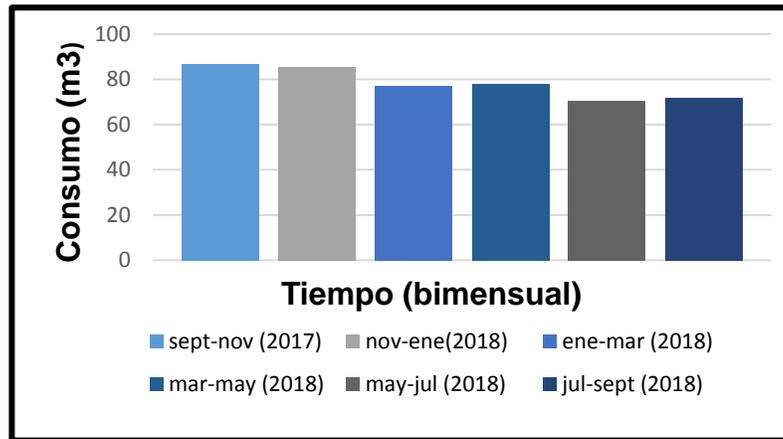
2.2 BALANCE HÍDRICO

Un balance hídrico es una herramienta que permite cuantificar los volúmenes de agua que entran en un proceso, la generación del agua residual que se produce como resultado de este proceso y el consumo hídrico doméstico global de la empresa. El balance hídrico de la empresa de saborizantes se realiza con el objetivo de establecer el consumo de agua en el área de producción y el uso doméstico, para determinar posteriormente la cantidad del agua residual industrial, este se desarrolla con base en el registro del consumo hídrico entre el año 2017 y 2018 con base a la facturación registrada del sistema de alcantarillado público de la ciudad de Bogotá D.C, puesto que la empresa no cuenta con un sistema de registro histórico del consumo hídrico.

2.2.1 Redes de aguas residuales. En las instalaciones de la empresa de saborizantes hay una red de drenaje y tuberías independientes para las aguas residuales domésticas y para las aguas residuales industriales respectivamente, de manera que se evita la unión de ambas corrientes para su disposición por separado. Por una parte, las aguas residuales industriales son aquellas directamente involucradas en la elaboración de saborizantes, ya sea como materia prima o usada para el lavado y la limpieza de los equipos y utensilios; dicho efluente es bombeado a través de una red hidráulica hasta la caja de inspección donde es almacenado hasta su disposición. Por otra parte, se encuentran las aguas residuales domésticas provenientes de todas aquellas actividades realizadas en la empresa que no intervienen directamente en la producción, tales como aseo del personal, mantenimiento de las instalaciones y para consumo en la cafetería; estos residuos son vertidos en el sistema de alcantarillado público de la ciudad de Bogotá.

2.2.2 Consumo de agua. Para desarrollar de manera adecuada el balance hídrico de la empresa productora de saborizantes artificiales, se toman los datos de facturación otorgados por la empresa Acueducto de Bogotá correspondientes al último año entre el mes de septiembre de 2017 y septiembre de 2018. En el gráfico 1 se puede evidenciar el comportamiento del consumo de agua por meses siendo los mayores consumos (m^3) entre los meses septiembre de 2017 y enero 2018; lo anterior se debe al aumento en la producción de saborizantes de acuerdo a el incremento de pedidos en la época navideña, época en la cual la empresa presenta un pico de producción.

Gráfica 1. Consumo de agua en m³/bimensual



Fuente: Empresa de acueducto de Bogotá

En la tabla 1. Se exponen los datos del consumo de agua bimensual.

Tabla 1. Registro del consumo hidrico bimensual

PERIODO	MES	CONSUMO (m ³)
1	Sept 2017- Nov 2017	86.65
2	Nov 2017- Ene 2018	85.5
3	Ene 2018- Mar 2018	77
4	Mar 2018- May 2018	78
5	May 2018- Jul 2018	70.5
6	Jul 2018- Sept 2018	72

Fuente: Empresa de Acueducto de Bogotá

Para la determinación del caudal de agua de consumo en un día se tomó como base el lapso de tiempo de mayor volumen requerido durante un periodo de un año, este corresponde a 86.65 metros cúbicos durante los meses de septiembre de 2017 y noviembre de 2017.

$$QT = \frac{86.65m^3}{2 \text{ meses}} = 43.33 \frac{m^3}{mes}$$

QT corresponde al consumo total de agua en metros cúbicos durante el transcurso de un mes, este valor es el máximo caudal de consumo registrado en el sistema de alcantarillado público.

2.2.3 Consumo de agua en producción. Para determinar el caudal necesario en la producción de los saborizantes se toma como base el flujo usado para los meses de mayor consumo del recurso correspondientes a los meses septiembre 2017 y noviembre 2017. En este transcurso de tiempo se registra un caudal de $5.8 \text{ m}^3/\text{mes}$ de acuerdo a información suministrada por la empresa en estudio.

$$QP = 5.8 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}}$$

QP corresponde al caudal usado directamente en la producción como materia prima, dicho caudal es el usado en el intervalo de tiempo con mayor consumo total de agua registrado en el acueducto.

2.2.4 Agua residual. En este campo se separan dos grandes corrientes; por una parte, están las aguas residuales domésticas que proceden de todas aquellas labores que no tienen relación alguna con la elaboración de saborizantes, y por otro lado se encuentran las aguas residuales industriales que son aquellas utilizadas en los procesos de producción.

2.2.4.1 Agua residual doméstica. En las aguas residuales domésticas está involucrado el consumo en usos administrativos, en este campo se tiene en cuenta el área de la cafetería y las actividades de aseo general de las instalaciones. También se tiene en cuenta el consumo de agua por parte de los empleados en las unidades sanitarias, en total los trabajadores permanentes en el área de saborizantes son 51 entre los cuales se encuentra el personal administrativo, comercial y el personal involucrado en los procesos productivos; los horarios laborales son de 8 horas diarias de entre semana, para un total de 26 días laborados al mes.

Para estimar el consumo de agua doméstica se realiza con base en la resolución 1391 de 2003 donde se determina un coeficiente de retorno correspondiente a 0.17 m^3 y se relaciona mediante la ecuación 3.

Ecuación 1. Calculo consumo de agua para uso domestico⁷³

$$QRD = R * \frac{\text{Total de trabajadores}}{\text{dias laborados}}$$

Donde

R = Coeficiente de retorno

QRD = Caudal total agua residual doméstica

$$QRD = 0.17 \text{ m}^3 * \frac{51}{26 \text{ dias trabajados}}$$
$$QRD = 0.33 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

El anterior es el caudal de agua residual domestica generado por día, por facilidad se calcula ese caudal en las unidades ya usadas (m^3/mes) mediante un factor de tiempo.

$$QRD = 0.33 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} * \frac{26 \text{ dias}}{1 \text{ mes}} = 8.58 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}}$$

QRD corresponde al volumen de agua residual generada en la cocina, los baños, y en general el caudal arrojado en todas las actividades externas a la planta de producción durante un mes.

2.2.4.2 Agua residual industrial. Las aguas residuales industriales comprenden todos aquellos efluentes generados en el proceso de producción de saborizantes, según la ley de la conservación de la materia se establece un balance general del recurso hídrico mediante la ecuación:

Ecuación 2. Balance hidrico general

$$\sum \text{Agua entrada} = \sum \text{Agua de salida}$$

⁷³ CRISTANCHO BELLO, Angie Juliet and NOY ORTIZ, Andrés Mauricio. Diseño conceptual de una planta de tratamiento de aguas residuales para Pelikan Colombia SAS. Fundación Universidad de América, 2016.

De acuerdo a lo anterior, se establece el caudal generado de agua residual con respecto al consumo total y las salidas de agua residual doméstica y consumo en producción mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 3. Balance hidrico general por caudales

$$QT = QRI + QRD + QP$$

Donde

QT = Caudal total del agua de consumo

QRI = Caudal total agua residual industrial

QRD = Caudal total del agua residual doméstica

QP = Caudal total usando en producción

Reemplazando en la ecuación 5 los datos obtenidos anteriormente se tienen:

$$43.33 \frac{m^3}{mes} = QRI + 8.58 \frac{m^3}{mes} + 5.8 \frac{m^3}{mes}$$

$$QRI = 43.33 \frac{m^3}{mes} - 8.58 \frac{m^3}{mes} - 5.8 \frac{m^3}{mes}$$

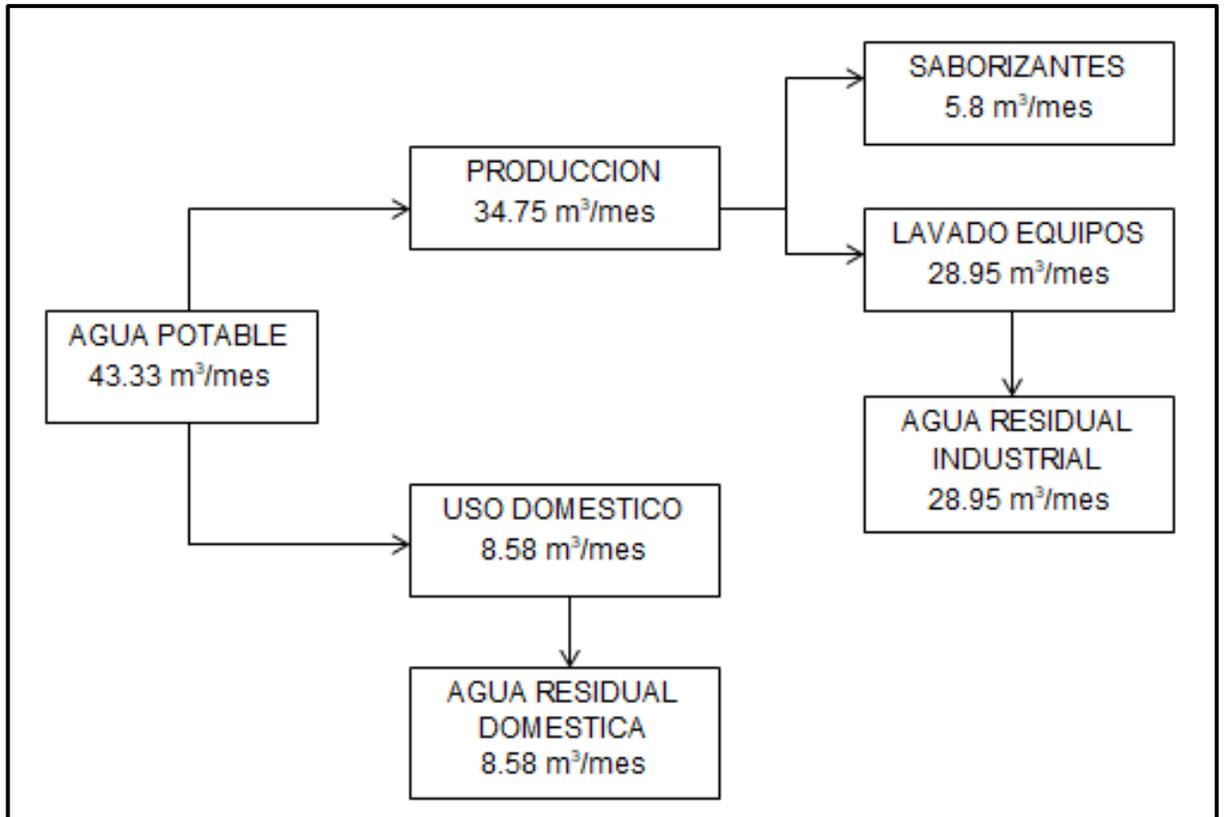
$$QRI = 28.95 \frac{m^3}{mes}$$

Mediante el cálculo anterior se puede determinar el caudal máximo generado durante el periodo de tiempo transcurrido entre el mes de septiembre del 2017 y el mes de septiembre del presente año correspondiente a 28.95 metros cúbicos por mes, con base en el resultado se podría decir que el mes que presenta mayor consumo y por tanto mayores vertimientos de aguas residuales es noviembre, mes en el cual se incrementa la demanda de los saborizantes.

De acuerdo al balance realizado se concluye que la mayor parte de agua residual es generada en las actividades en producción, es importante resaltar que la actividad en la que más se consume agua en el proceso es en el lavado de los equipos y utensilios; de acuerdo a esto se podría decir que la mayor parte del caudal de agua residual industrial generado se debe al proceso de limpieza, dicha se realiza en promedio 3 veces al día después de finalizar cada lote de producción.

A continuación, se evidencia el balance hídrico determinado mediante un diagrama general de los flujos de agua en el proceso correspondientes al último año de producción, mediante los datos máximos de consumo de agua, el caudal promedio doméstico, el flujo usado en la elaboración de producto en un mes crítico de producción y el agua residual industrial generada.

Diagrama 3. Balance hidrico general



Fuente: elaboración propia

2.3 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL

Para plantear el sistema de agua residual apropiado es necesario identificar el estado actual del efluente generado en la producción de saborizantes, para esto se realiza una caracterización de los parámetros fisicoquímicos a través de una muestra representativa; allí se conocen las concentraciones de los contaminantes presentes y se determinan los parámetros críticos como aquellos que sobrepasan la normatividad establecida.

2.3.1 Muestreo. Se realizó un muestreo mediante la integración de alícuotas proporcionales al caudal, en intervalos de 30 minutos durante 8 horas, el volumen mínimo de muestra compuesta proyectado para la realización del muestreo es de 4,0 litros. La temperatura y el pH se midieron cada 30 minutos con un potenciómetro digital calibrado con soluciones buffer de 4 a 7 unidades y los sólidos sedimentables con un cono Imhoff cada hora. La toma de la muestra se realizó en la caja de inspección del área de saborizantes el día 23 de abril del presente año en una jornada de trabajo normal por el laboratorio CONOSER LTDA. Las muestras fueron debidamente tomadas y preservadas de acuerdo al cuadro 6.

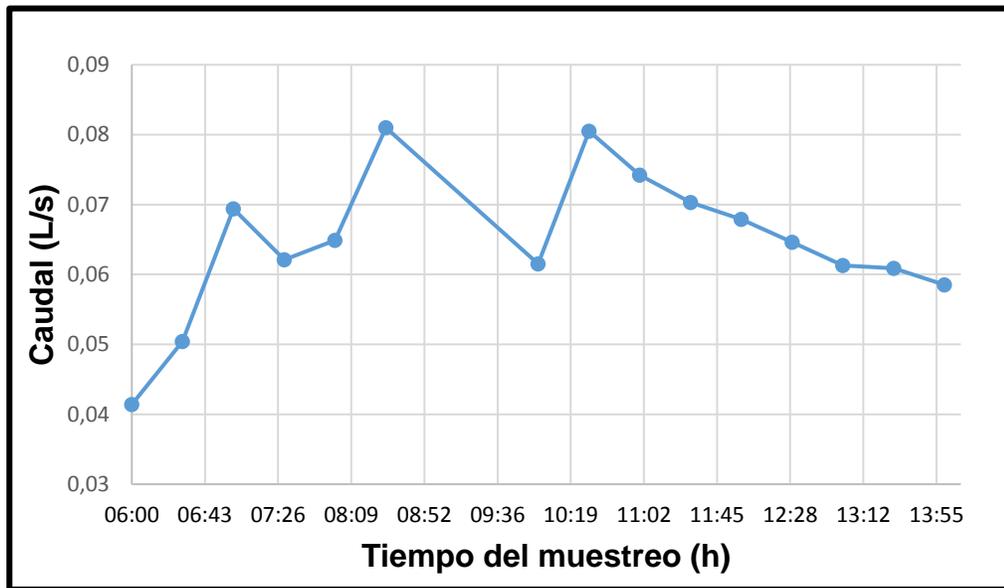
Cuadro 6. Descripción del muestreo del agua residual

PARÁMETRO	VOLUMEN DE MUESTRA	TIPO DE MUESTRA	ENVASE	MÉTODO PRESERVACIÓN
Aceites y grasas	1 litro	Puntual	Vidrio Boca Ancha	H ₂ SO ₄ , pH<2 unidades
Acidez y Alcalinidad	1 litro	Puntual	Vidrio Ámbar	Refrigeración
HAP's	1 litro	Puntual	Vidrio Ámbar	Refrigeración
DBO ₅ , SST, SAAM, Cloruros, Color, Sulfatos	2 litro	Compuesta	Vidrio Ámbar	Refrigeración
DQO, Fenoles	1 litro	Compuesta	Vidrio Ámbar	H ₂ SO ₄ , pH<2 unidades
Dureza cálcica, dureza total	1 litro	Compuesta	Vidrio Ámbar	HNO ₃ , pH< 2 unidades
pH, Temperatura	100 ml	Puntual, cada 30 minutos	N.A.	Medición campo
S. Sedimentables	1 litro	Puntual, cada hora	Cono imhoff	Medición campo

Fuente: laboratorio CONOSER LTDA.

Homólogo a la recolección de las muestras se realizaron las pruebas IN SITU correspondientes a la medición de caudal, pH y Temperatura del efluente en los intervalos establecidos. En la gráfica 2 se evidencia la variación del caudal en el tiempo, el valor mínimo medido en el muestreo es de 0.0414 L/s y el valor máximo de 0.0810 L/s.

Gráfica 2. Variación del caudal de agua residual respecto al tiempo

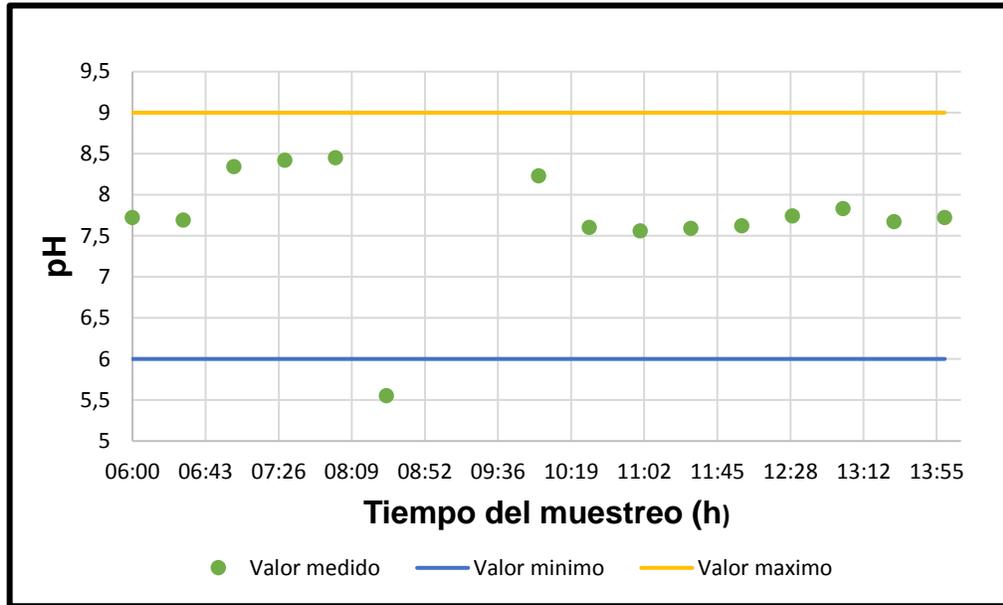


Fuente: elaboración propia

En la gráfica 2 se evidencian algunos cambios bruscos en el caudal, se presentan tres picos fuertes correspondientes a las horas en que se practica el lavado de los equipos y utensilios a finalizar los lotes producidos, se percibe que los dos picos mayores corresponden a un caudal aproximado de 0.08 L/s que equivale a 179.7 m³/mes de agua residual generada, al ser este el límite superior del volumen de agua residual generado en un día de alta producción, se considera dicho valor como el caudal máximo de diseño.

En la gráfica 3 se muestra la variación del pH con respecto al tiempo, el valor mínimo medido en el muestreo es de 5,55 y el valor máximo de 8,45 unidades

Gráfica 3. Variación de pH respecto al tiempo

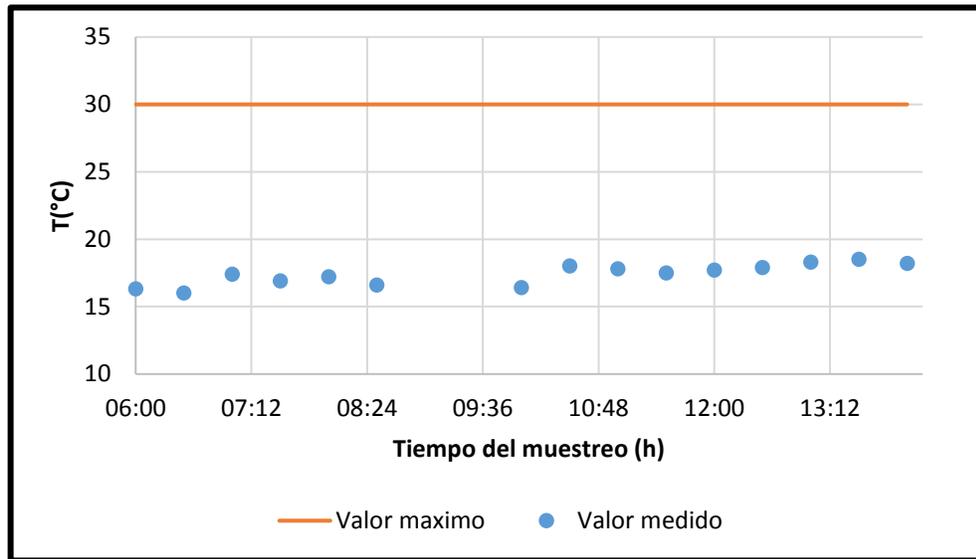


Fuente: elaboración propia

En la gráfica 3 se muestra el comportamiento del pH con respecto al tiempo medidos in situ, se puede observar que es en gran parte constante manteniendo su valor entre 7,8 y 8 unidades, solo se presenta un valor mínimo que se pasa del valor límite establecido por la resolución 0631 de 2015 correspondiente a 5,5 unidades.

En la gráfica 4 se muestra la variación de la temperatura con respecto al tiempo, el valor mínimo medido en el muestreo es de 16°C y el valor máximo de 18,5 °C.

Gráfica 4. Variación de la temperatura respecto al tiempo



Fuente: elaboración propia

En la gráfica 4 se muestra que el comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo se mantiene constante entre los 15°C y los 20°C, no hay gran variación en la muestra, se mantuvo cercana al ambiente (16°C en la ciudad de Bogotá) y cumple con la normatividad cuyo valor máximo de temperatura de los efluentes es de 30°C.

2.3.2 Comparación con la normatividad. Para el diagnóstico del agua residual industrial se realizó la caracterización fisicoquímica por el laboratorio CONOSER LTDA. En abril del presente año fecha en la que se presentó un pico de producción y permitió recolectar una muestra de agua representativa. A continuación, se muestra una comparación de los datos obtenidos en la caracterización y los límites máximos permisibles establecidos en la resolución 0631 de 2015.

Tabla 2. Comparacion con la resolucio n 0631 de 2015

PARÁMETRO	UNIDADES	FABRICACIÓN DE SABORES Y FRAGANCIAS (ARTÍCULO 13)	MUESTRA INICIAL	CUMPLE
pH	Unidades de pH	6.00-9.00	5.55-8.45	SI
DQO	mgO ₂ /L	600	3410	NO
DBO	mgO ₂ /L	300	1600	NO
SSED	mg/L	2	<0,5-2,0	SI
SST	mg/L	70	166	NO
Grasas y Aceites	mg/L	10	270	NO
Fenoles	mg/L	0,2	0,18	SI
Formaldehido	mg/L	Análisis y Reporte	-	-
SAAM	mg/L	Análisis y Reporte	1,53	-
Hidrocarburos	mg/L	Análisis y Reporte	<0,002	-
Cloruros	mg/L	500	23	SI
Sulfatos	mg/L	500	16	SI
Acidez total	mg CaCO ₃ /L	Análisis y Reporte	458	-
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	Análisis y Reporte	<7	-
Dureza Cálctica	mg CaCO ₃ /L	Análisis y Reporte	67	-
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	Análisis y Reporte	85	-
Color Real	UPC	Análisis y Reporte	34	-
C. Absorción 436 nm	m ⁻¹	Análisis y Reporte	3,7	-
C. Absorción 525 nm	m ⁻¹	Análisis y Reporte	1,4	-
C. Absorción 620 nm	m ⁻¹	Análisis y Reporte	1.2	-

Fuente: laboratorio CONOSER LTDA.

De acuerdo a los resultados presentados en la tabla 2 se determinó que los parámetros evaluados cuya concentración excede el límite permitido por la resolución 631 de 2015 son DQO, DBO₅, SST, Aceites y grasas; estos serán los parámetros críticos del agua residual a los que se evalúa su comportamiento mediante la aplicación de un sistema de tratamiento.

3. EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO A NIVEL LABORATORIO

A partir de la búsqueda bibliográfica sobre las técnicas de tratamiento de este tipo de agua residual industrial se establece el sistema de tratamiento teniendo en cuenta sus ventajas y desventajas en la remoción de contaminantes. En este capítulo se realiza la evaluación experimental del sistema de tratamiento a nivel laboratorio estableciendo las especificaciones y condiciones de operación, los reactivos necesarios y la dosificación para finalmente realizar una caracterización fisicoquímica del agua tratada determinando la efectividad en la remoción de contaminantes del agua residual.

3.1 MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

Con el objetivo de cumplir las normas estipuladas por las entidades ambientales que controlan el vertimiento y manejo de residuos líquidos provenientes de un proceso industrial se recurren a diferentes técnicas de tratamiento de agua que permiten la remoción materia orgánica y material coloidal antes de la descarga al medio ambiente cumpliendo las directrices ambientales. Para la industria de saborizantes artificiales los residuos líquidos generados durante el proceso de producción han sido tratados mediante las siguientes técnicas:

ELECTROCOAGULACIÓN: es un proceso electroquímico, cuyo principio se basa en utilización de un ánodo y un cátodo de una fuente eléctrica que genera reacciones de óxido-reducción que permite la formación de un coagulante mediante la oxidación electrolítica del ánodo de sacrificio⁷⁴. La unidad de electrocoagulación consiste en una celda electrolítica que contiene un ánodo y un cátodo conectados a una fuente alimentación y sumergidos en la solución a tratar.

Esta técnica aplicada por Ribordy, Pulgarin, Kiwi y Peringer* en el artículo “*Electrochemical versus photochemical pretreatment of industrial wastewaters*” en el cual evalúan en platino como ánodo. En el cuadro 7 se presentan las principales ventajas y desventajas de la electrocoagulación⁷⁵.

⁷⁴ MELO Anyi and SACRISTAN Juliana. Evaluación de la remoción de nitratos por electrocoagulación Fundación Universidad de América, 2018. p. 31.

⁷⁵ RIBORDY, P., et al. Electrochemical versus photochemical pretreatment of industrial wastewaters. En: WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY. vol. 35, no. 4, p. 293-302

Cuadro 7. Ventajas y desventajas de la electrocoagulación

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> ● Los coagulantes formados flotan en la solución permitiendo que la remoción sea rápida. ● Se opera fácilmente debido a la simplicidad de sus equipos. ● Produce menor cantidad de lodos en comparación con la coagulación y la floculación ● Este método permite la desestabilización de las coloides cuyo tamaño es mínimo, ya que la corriente eléctrica acelera la colisión y permite la formación de flóculos de mayor tamaño. ● Buena eliminación de colorantes⁷⁶ 	<ul style="list-style-type: none"> ● Es necesario el cambio regular del ánodo en la electrocoagulación incrementando los costos⁷⁷ ● Se puede producir una pasivación del cátodo disminuyendo la eficiencia del proceso ● El costo de operación de la electrocoagulación suele ser elevado por el consumo energético. ● Se debe realizar un mantenimiento continuo a la celda electrolítica. ● Los efluentes tratados presentan altas concentración de hierro y aluminio por lo que requiere, un tratamiento posterior para reducir la concentración de iones metálicos después del proceso electroquímico⁷⁸.

Fuente: MOUSSA, Dina T., et al. A comprehensive review of electrocoagulation for water treatment: Potentials and challenges. En: JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. Vol. 186, p. 24-41

CLARIFICACIÓN: este proceso químico involucra la coagulación, la floculación y la sedimentación. La coagulación se realiza mediante la adición de un agente químico que permite la desestabilización de los coloides en suspensión permitiendo la aglomeración de partículas; la floculación por su parte se realiza mezclando lentamente la suspensión desestabilizada para proporcionar contacto entre las partículas y generar aglomerados de mayor tamaño para finalmente lograr el

⁷⁶ VERMA, Akshaya Kumar; DASH, Rajesh Roshan and BHUNIA, Puspendu. A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. En: JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. vol. 93, no. 1, p. 154-168

⁷⁷ HAKIZIMANA, Jean Nepo, et al. Electrocoagulation process in water treatment: A review of electrocoagulation modeling approaches. En: DESALINATION. vol. 404, p. 1-21

⁷⁸ GARCIA-SEGURA, Sergi, et al. Electrocoagulation and advanced electrocoagulation processes: A general review about the fundamentals, emerging applications and its association with other technologies. En: JOURNAL OF ELECTROANALYTICAL CHEMISTRY. vol. 801, p. 267-299

asentamiento rápido y fácil de los mismos; En el cuadro 8 se establecen las ventajas y desventajas de la clarificación^{79 80 81}.

Cuadro 8. Ventajas y desventajas de la clarificación

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ● Las aguas residuales tratadas por coagulación-floculación proporcionan agua clara e inodora. ● En comparación con otros métodos la coagulación y floculación se opera fácilmente, el área requerida por los equipos es menor. ● Los costos de implementación son bajos y se opera de manera sencilla. ● Las plantas de tratamiento de agua son flexibles y pueden modificarse fácilmente sin necesidad de un cambio en la estructura básica. ● Buena remoción de colorantes ● Los coagulantes y floculantes se usan comúnmente debido a su bajo costo y facilidad de uso. ● Usado ampliamente para la eliminación de sólidos en suspensión, coloides y materia orgánica en diversos tipos de aguas residuales. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Alta producción de lodos. ● Producción de precipitados de sedimentación lenta o formación de flóculos inestables ● El esquema tecnológico no es suficiente para la reutilización del agua, solo para riego agrícola. ● Los lodos generados deben tener un tratamiento posterior.

Fuente: elaboración propia

⁷⁹SEMERJIAN, L. and AYOUB, G. M. High-pH–magnesium coagulation–flocculation in wastewater treatment. En: ADVANCES IN ENVIRONMENTAL RESEARCH. vol. 7, no. 2, p. 389-403

⁸⁰ LEE, Chai Siah; ROBINSON, John and CHONG, Mei Fong. A review on application of flocculants in wastewater treatment. En: PROCESS SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION. vol. 92, no. 6, p. 489-508

⁸¹ ACOSTA, Diego and LAVERDE, Daniel. Diseño conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la empresa transportadora escolar Camargo hermanos S.A.-TECH S.A. Fundación Universidad de América, 2017. p. 30

Pavón⁸² aplicó esta técnica en el tratamiento de aguas residuales de una industria alimentaria; para este proceso se evaluó el cloruro férrico, el sulfato de aluminio, el hidroxiclorigenato de aluminio y el sulfato de polialuminio como agentes coagulantes, los resultados mostraron que el hidroxiclorigenato de aluminio con una dosificación de 1 a 5 mg/L presenta mayor eficiencia en la remoción de contaminantes con referencia los otros agentes químicos; logró remover el 98% del DQO, 95% del DBO⁵, 99% de grasas y aceites y 99% de SST.

LODOS ACTIVADOS: es un tratamiento biológico que consiste en mezclar una suspensión de biomasa biológica compuesta por microorganismo con el agua residual a tratar permitiendo tener una superficie altamente activa para la adsorción de materiales coloidales y suspendidos, logrando la eliminación biológica de nitrógeno, fósforo y carbono orgánico⁸³.

Este tratamiento consta de un tanque de aireación, un tanque sedimentador, un tanque de almacenamiento y un sistema de recirculación de lodos. Aunque ha sido utilizada durante varios años por sus ventajas también presenta desventajas que se ilustran en el cuadro ^{84 85 86}.

⁸² PAVÓN-SILVA, Thelma, et al. Physicochemical and biological combined treatment applied to a food industry wastewater for reuse. En: JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCE AND HEALTH, PART A. vol. 44, no. 1, p. 108-115

⁸³ GERNAEY, Krist V., et al. Activated sludge wastewater treatment plant modelling and simulation: state of the art. En: ENVIRONMENTAL MODELLING & SOFTWARE. vol. 19, no. 9, p. 763-7

⁸⁴ TUMIRI, Janeth; FIDELIA Luque. ¿Qué son los lodos activados? [Consultado el Oct 15,2018]. Disponible en: <http://natzone.org/index.php/nosotros/presentacion/13-frontpage-blog/contaminacion-y-tratamiento/352-que-son-los-lodos-activados>

⁸⁵ LEITON SALAMANCA, Miguel Ángel and SEDANO CABRERA, Paula Andrea. Desarrollo de una propuesta de mejora para la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa de lácteos Inversiones Fasulac LTDA. Fundación Universidad de América, 2017. p. 72.

⁸⁶ Anonymous Activated Sludge Process, Design Criteria. May 5, [Consultado el Nov 15,2018]. Disponible en: <http://www.engineeringarticles.org/activated-sludge-process-design-criteria-advantages-disadvantages/>

Cuadro 9. Ventajas y desventajas de los lodos activados

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ● Los lodos residuales se reutilizan. ● Funcionamiento altamente sencillo ● Este tratamiento presenta altas eficiencias de remoción. ● Buena calidad del efluente. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Altos costo de instalación ● Presenta problemas con el almacenamiento de lodos residuales ● Presenta taponamiento durante el proceso disminuyendo la eficiencia en la remoción de contaminantes ● Altos costos operacionales ● Altos costos de mantenimiento ● La instalación de los dos tanques requeridos (aireación y sedimentación) demandan un espacio amplio. ● Método poco flexible puesto que si hay un aumento en el caudal presenta efectos adversos en el funcionamiento del proceso generando efluentes de baja calidad.

Fuente: elaboración propia

Esta técnica fue aplicada en aguas residuales industriales generadas en la producción de saborizantes con altos contenidos de DQO, DBO₅, aceites y grasas y SST, a nivel laboratorio por lotes el agua a tratar entra en contacto con los lodos activos; la aeración involucrada en el proceso se detuvo diariamente para permitir el asentamiento de los lodos y drenar el sobrenadante. Una vez terminado el tratamiento se estableció que este método logró remover el 96% del DQO, 92% del DBO₅, 74% de grasas y aceites y 94% de SST⁸⁷ como se muestra en tabla 3.

⁸⁷ NASR, Fayza A.; BADR, Nagwa M. and DOMA, Hala S. Flavour industry wastewater management case study. En: ENVIRONMENTALIST. Vol. 26, no. 1, p. 31-39

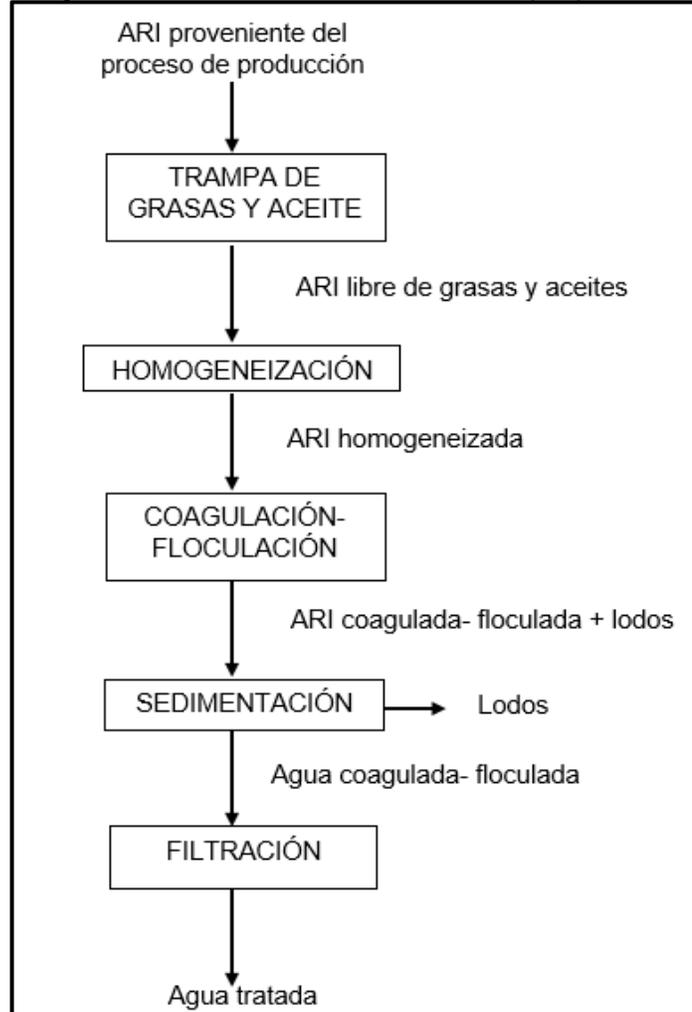
Tabla 3. Resultados tratamiento de agua residual por lodos activados

PARÁMETROS	UNIDADES	AGUA RESIDUAL	AGUA TRATADA		TRATAMIENTO LODOS ACTIVOS	
				%R		%R
pH		5,1	5,2		7,5	
DQO	mgO ₂ /L	4646	2645	43	109	96
DBO5	mgO ₂ /L	2299	1218	47	30	98
Nitrógeno Orgánico total	mgN ₂ /L	14,6	14,8	-	8,9	41
Fósforo total	mgP/L	4,6	4,3	-	0,6	86
Sólidos Suspendidos Totales	mgSS/L	1790	352	80	22	94
Grasas y Aceites	mg/L	626	161	74	42	74

Fuente: NASR, Fayza A.; BADR, Nagwa M. and DOMA, Hala S. Flavour industry wastewater management case study. En: ENVIRONMENTALIST. Vol. 26, no. 1, p. 31-39

A partir de la información bibliográfica obtenida sobre las técnicas aplicadas a los efluentes generados en la industria de saborizantes artificiales y teniendo en cuenta la disponibilidad, la eficiencia, el área requerida para la instalación, los costos operacionales y las ventajas y desventajas se propone el siguiente sistema de tratamiento de aguas residuales (ver diagrama 4) el cual se evaluará a nivel laboratorio.

Diagrama 4. Sistema de tratamiento propuesto



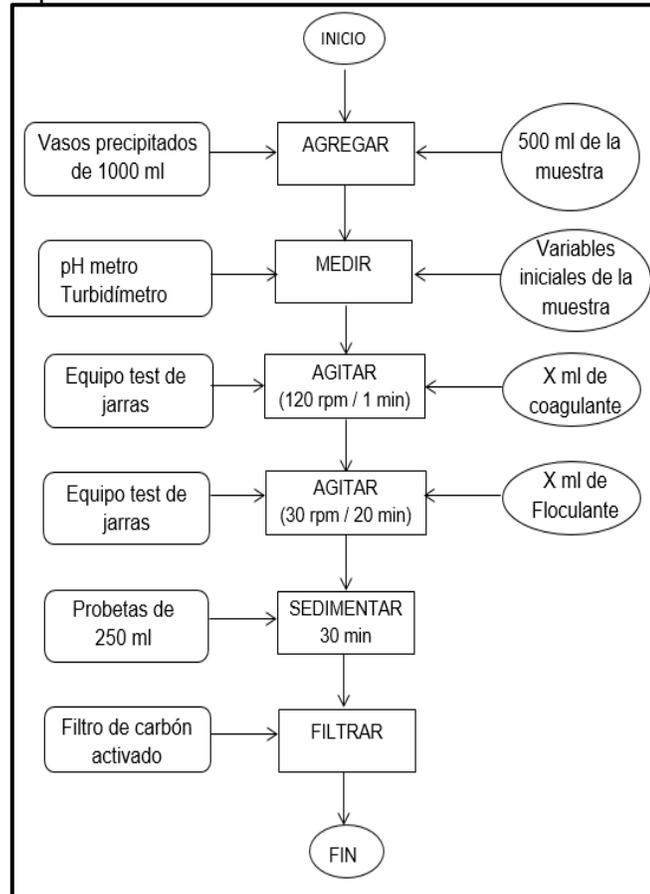
Fuente: elaboración propia

3.2 DESARROLLO EXPERIMENTAL

En este apartado se describe el proceso experimental desarrollado a nivel laboratorio como se presenta en el diagrama 5. Inicialmente se determinan los parámetros iniciales del efluente industrial de saborizantes, se establecen las variables necesarias a controlar, los equipos involucrados y los reactivos necesarios a lo largo de la experimentación. Una vez se determinan las condiciones iniciales se lleva a cabo el proceso de clarificación simulado mediante un test de jarras (proceso que permite establecer los reactivos, las concentraciones y dosificaciones) y posteriormente se realiza una etapa de filtración cuyo principio se basa en funcionar como una columna de lecho fijo, finalmente, se realiza la caracterización fisicoquímica del agua tratada por el sistema de tratamiento y se comparan los

parámetros críticos característicos con la muestra inicial determinando el porcentaje de remoción de contaminantes alcanzada por la alternativa propuesta.

Diagrama 5. Secuencia general del desarrollo experimental



Fuente: elaboración propia

3.2.1 Clarificación. Para evaluar el proceso de clarificación se recolectó una muestra de 22 L de agua residual tomada de manera puntual de la caja de inspección de la empresa productora de saborizantes, la cual se almacenó en un recipiente plástico. Como se evidencia en la tabla 4 se presentan los datos iniciales de los parámetros que se tendrán en cuenta durante la evaluación experimental. El pH es un factor de gran importancia para una apropiada coagulación debido a que cada coagulante opera efectivamente en un pH específico y presenta una máxima remoción de contaminantes a un pH adecuado, cabe resaltar que el pH es afectado por el coagulante utilizado y las características del agua residual⁸⁸, por otro lado la temperatura repercute directamente la densidad del agua afectando las partículas en suspensión, por lo tanto a temperaturas muy elevadas la coagulación se hace más lenta; mientras que a temperaturas muy bajas aumenta la viscosidad, esto explica las dificultades para la sedimentación de los flocs formados⁸⁹, finalmente la turbidez es un valor que representa la carga coloidal orgánica o inorgánica⁹⁰ presente en el cuerpo de agua y permite conocer la efectividad del proceso físico-químico.

Tabla 4. Parámetros iniciales del agua residual industrial

Agua Residual Cruda	
PARÁMETRO	VALOR
pH	5,1
Turbidez (NTU)	1100
Temperatura (°C)	16

Fuente: elaboración propia

Descripción de agentes químicos empleados en el proceso de clarificación: en el desarrollo del test de jarras es necesario el uso de reactivos químicos que promueven los procesos de coagulación y floculación, en el cuadro 10 se presenta

⁸⁸RODRÍGUEZ RAMÍREZ, Carol Luciana and ZAPATA JÁUREGUI, Cristina. Influencia del ph, concentración de coagulante a base de aluminio y floculante en la remoción de sulfuros, sólidos suspendidos, demanda química y biológica de oxígeno de efluentes de rivera en curtiembres. Universidad Nacional de Trujillo, 2015. p. 46.

⁸⁹ LORENZO ACOSTA, Yaniris. Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. En: ICIDCA.SOBRE LOS DERIVADOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR. vol. 40, no. 2, p. 10-17

⁹⁰ MARCÓ, Leandro, et al. La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina). En: REVISTA DE HIGIENE Y SANIDAD AMBIENTAL. vol. 4, p. 72-82

una gama de compuestos químicos utilizados en el proceso de desestabilización de partículas, enfocándose en las ventajas, desventajas y eficiencia en el proceso y se enuncia las propiedades físicas y químicas de estas sustancias. Las fichas técnicas se muestran en el ANEXO F,G y H.

- I. **Determinación de coagulantes:** los coagulantes son sustancias químicas que en solución aportan carga eléctrica contraria a la de las partículas suspendidas, generando una neutralización de las cargas para posteriormente generar la formación de flóculos. Los coagulantes convencionales más usados son: el sulfato de aluminio, aluminato de sodio, sulfato ferroso, sulfato férrico y cloruro férrico; pero adicionalmente existen coagulante alternativos como el Policloruro de aluminio, más conocido como PAC

Cuadro 10. Descripción de coagulantes

Coagulante	Propiedades Físicas Y Químicas	Ventajas	Desventajas
Sulfato de aluminio	<ul style="list-style-type: none"> ● Compuesto Orgánico ● Líquido ● Altamente soluble en agua ● pH: 5,5-8 	<ul style="list-style-type: none"> ● Gran disponibilidad y uso frecuente ● Fácil uso y aplicación ● Bajo costo ● Seguro de manejar y almacenar ● Alta remoción de coloides orgánicos y fósforo 	<ul style="list-style-type: none"> ● Requiere control de pH ● pH limitado ● Eficiencia limitada con agua de alta turbiedad ● Requiere ayudante de floculación (polímero) ● Alto contenido de Al
Aluminato de sodio	<ul style="list-style-type: none"> ● Compuesto Orgánico ● Líquido incoloro ● Olor característico ● pH:13,5-14 	<ul style="list-style-type: none"> ● Efectivo en la remoción del color a pH ácido ● Reduce el uso de correctores de pH ● Remoción a pH más altos que los del sulfato de aluminio ● Acondicionador de pH 	<ul style="list-style-type: none"> ● Poco empleado y estudiado en tratamientos de aguas ● Corrosivo y tóxico ● Reacciona violentamente con ácidos
Clorhidróxido de aluminio	<ul style="list-style-type: none"> ● Compuesto inorgánico ● Líquido incoloro ● Altamente soluble en agua 	<ul style="list-style-type: none"> ● Efectiva remoción en sólidos suspendidos totales ● Eficiente en desestabilización de microorganismos y partículas coloidales 	<ul style="list-style-type: none"> ● Poco usado en potabilización de agua ● Requiere control de pH ● Corrosivo

Cuadro 10. (Continuación)

Coagulante	Propiedades Físicas Y Químicas	Ventajas	Desventajas
Sulfato férrico	<ul style="list-style-type: none"> ● Compuesto inorgánico ● Líquido incoloro ● Soluble en agua ● pH máximo de 2,0 	<ul style="list-style-type: none"> ● Alta velocidad de reacción ● pH 3.5 – 7.0 favorece la remoción de sustancias orgánicas, metales pesados, bacterias y plantón ● pH 8.0 - 9.5 favorece la remoción de hierro y manganeso ● No hay producción de aluminio residual ● Fácil y seguro de manejar 	<ul style="list-style-type: none"> ● Producción de color ● Genera mayor dosificación de hierro debido a la diferencia de peso molecular ● Alta concentración de hierro residual ● En estado sólido es necesario una unidad de mezclado
Sulfato ferroso	<ul style="list-style-type: none"> ● Compuesto químico iónico ● Cristal verde-azul o blanco ● pH > 8,5 	<ul style="list-style-type: none"> ● Eficiente en el tratamiento de aguas alcalinas ● Alta remoción de turbidez ● Fácil absorción 	<ul style="list-style-type: none"> ● Se requiere añadir cal o cloro para asegurar la coagulación ● Es necesaria la oxidación del ion ferroso a férrico

Cuadro 10. (Continuación)

Coagulante	Propiedades Físicas Y Químicas	Ventajas	Desventajas
Cloruro Férrico	<ul style="list-style-type: none"> ● Haluro metálico ● Cristal marrón o amarillo ● Altamente soluble 	<ul style="list-style-type: none"> ● Bajo costo ● Alta velocidad de reacción ● pH 3.5 – 7.0 para la remoción de sustancias orgánicas y microorganismos ● pH 8.0-9.5 para la remoción de metales pesados ● Baja producción de aluminio residual ● No es esencial la adición de una sustancia floculante 	<ul style="list-style-type: none"> ● Generación de color ● Precipita en solución
Policloruro de aluminio (PAC's)	<ul style="list-style-type: none"> ● Compuesto inorgánico ● Líquido incoloro o ámbar 	<ul style="list-style-type: none"> ● No requiere un ajuste de pH ● Eficiente a pH básico ● Alta velocidad de reacción ● Amplio rango de pH ● No altera la conductividad ● Baja concentración de aluminio residual ● Alta remoción de sustancias orgánicas, turbidez y color ● Baja producción de lodo 	<ul style="list-style-type: none"> ● Alto costo

Fuente: elaboración propia

De acuerdo a la consulta bibliográfica presentada anteriormente en el cuadro 10 se selecciona el sulfato de aluminio, el cloruro férrico y el Policloruro de aluminio, para la evaluación del proceso de clarificación según su remoción de color y turbidez, disponibilidad y costo.

II. Determinación de floculantes

Los floculantes son compuestos químicos que permiten la aglomeración de las partículas desestabilizadas durante la coagulación, formando aglomeraciones de mayor peso y facilitando la sedimentación de las mismas, para posteriormente ser eliminadas mediante filtración.

Para la experimentación se seleccionaron dos floculantes, uno de carácter aniónico y otro catiónico, los cuales fueron adquiridos de la empresa LIPESA S.A., empresa dedicada a la comercialización de diversos productos químicos para el tratamiento de las aguas residuales.

Cuadro 11. Floculantes usados en la experimentación

Reactivo	Descripción
L-1538	Polímero sólido blanco e inodoro, que se caracteriza por su elevada carga aniónica, alto peso molecular y rango de pH [1-12] baja dosificación y alta eficiencia.
L-1569	Polímero sólido blanco e inodoro, que se caracteriza por su elevada carga catiónica, amplio uso en diferentes tipos de aguas industriales, alto peso molecular, rango de pH [1-13], baja dosificación y alta eficiencia.

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.1 Test de jarras. La dosis del coagulante, el pH, la temperatura y la condición de mezclado son factores que se deben considerar dentro del proceso debido al efecto que tiene sobre la remoción de partículas suspendidas. El desarrollo experimental se realizó bajo la Norma técnica Colombia 3903 “Método De Jarras En La Coagulación Y Floculación Del Agua” la cual establece las condiciones para la evaluación de tratamientos físico-químicos encaminados a la remoción del material coloidal suspendido y no sedimentable del agua residual, reportados en el cuadro 12. Durante este proceso se evaluó la dosis del coagulante y el pH, adicionalmente se estableció la temperatura y las condiciones de mezclado según la norma vigente.

Cuadro 12. Condiciones de operacion para el test de jarras

PARÁMETROS		VALOR
Mezcla rápida	Velocidad de agitación	120 rpm
	Tiempo de agitación	1 min
Mezcla lenta	Velocidad de agitación	30 rpm
	Tiempo de agitación	20 min
Sedimentación	Tiempo de sedimentación	30 min

Fuente: Norma técnica Colombia 3903 “Método De Jarras En La Coagulación Y Floculación Del Agua”

Un indicador para determinar la eficiencia del proceso de clarificación es el porcentaje de remoción de turbiedad, para esto se realizó una comparación directa entre la turbidez inicial del agua cruda y la turbidez final después del sistema de tratamiento. El porcentaje de remoción de turbidez se establece aplicando la ecuación 6.

Ecuación 4. Porcentaje de remocion de turbidez

$$\%Remoción\ de\ turbidez = \left(\frac{turbidez\ inicial - turbidez\ final}{turbidez\ inicial} \right) * 100$$

Adicionalmente se determinó el índice de Willcomb, técnica que permite otorgar un valor cualitativo la formación de flóculos luego del proceso de coagulación y floculación de acuerdo con el tamaño de los flocs y la velocidad de sedimentación de los mismos, a continuación se establece la metodología utilizada a lo largo de desarrollo experimental para atribuir el valor a cada muestra, en el cuadro 13 se muestra la ponderación otorgada según las características presentadas por los flóculos

Cuadro 13. Indice de Willcomb

NÚMERO DE ÍNDICE	DESCRIPCIÓN
0	Ningún signo de aglutinamiento
2	Floc muy pequeño, casi imperceptible
4	Floc que sedimenta muy lentamente o no sedimenta
6	Floc de tamaño relativamente grande, esponjoso, que sedimenta con lentitud
8	Floc de sedimentación fácil aunque deja algo de turbiedad en el agua

Cuadro 13. (Continuación)

NÚMERO DE ÍNDICE	DESCRIPCIÓN
10	Floc de muy buena sedimentación que deja agua cristalina

Fuente: GALVIS GONZALEZ, Nubia Janneth. Ensayos de tratabilidad del agua una herramienta concluyente para el diseño de plantas de potabilización; Universidad de Manizales, 2014. p. 56.

Los sólidos suspendidos totales o cocidos como el residuo no filtrable, se midieron mediante un método gravimétrico que consiste hacer pasar la muestra mediante un filtro de fibra de vidrio permitiendo que el residuo sea retenido y posteriormente ser secado a 103°C por 15 minutos en el horno. El incremento en el peso del filtro representa la cantidad de sólidos suspendidos totales.

Durante la etapa de coagulación-floculación se busca remover las partículas coloidales suspendidas en el agua a tratar empleando agentes coagulantes encargados de desestabilizar las partículas mediante el equilibrio de fuerzas que posteriormente permiten la formación de flóculos. El Sulfato De Aluminio, el Cloruro Férrico y el Policloruro De Aluminio se evaluaron durante el desarrollo experimental como agentes coagulantes a diferentes concentraciones: 2%,5% y 10% (equivalentes a 20000 mg/L, 50000 mg/L y 100000 mg/L respectivamente).

Preparación de coagulantes: se prepararon soluciones de sulfato de aluminio al 10, 5 y 2%. Las soluciones se realizaron a partir de una solución madre de 10%, la cual se preparó mediante la disolución de 10g de sulfato de aluminio en agua destilada aforando a 100 mL, a partir de esta y comprendiendo la ecuación 7 se tomó 50 mL y 20 mL de la solución madre y aforar a 100mL para finalmente obtener soluciones al 5 y 2% respectivamente.

Estas concentraciones se seleccionaron teniendo en cuenta que a concentraciones mayores del 10% aunque se emplea menor cantidad de coagulante, la muestra se sobresatura, logrando que el pH se baje rápidamente, impidiendo evidenciar el punto exacto para la formación del primer floc, en consecuencia se pueden solubilizar los coágulos formados nuevamente. A partir de este es importante realizar una escala de concentración con el objetivo de determinar la concentración más apropiada y su dosificación, cabe resaltar que concentraciones menores al 2% se requieren mayor cantidad de coagulante aumentando los costos operacionales.

Para el PAC y el cloruro férrico cuyo estado es líquido, se prepararon las soluciones considerando que la concentración inicial es de 50% (500000 mg/L) se toma 20 mL, 10 mL y 4 mL de la solución y aforo a 100 mL con agua destilada para obtener soluciones de 10%, 5% y 2% respectivamente

Ecuación 5. Dilución de soluciones

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial

V_1 = Volumen inicial

C_2 = Concentración final

V_2 = Volumen final

Preparación de floculantes: para los floculantes se establece una concentración de 0.08% (equivalente 800 mg/L), tanto para el floculante polimérico aniónico como para el catiónico los cuales se encuentran en un estado sólidos. Para la preparación de la solución, se pesaron 0.08g del polímero floculante catiónico y aniónico y se diluyeron en agua destilada aforando a 100 mL

Para el desarrollo experimental se realiza una dilución del agua cruda proveniente del proceso de saborizantes con agua destilada en una proporción 1:4 como técnica de reducción del consumo de reactivos presentes durante la práctica. En la tabla 5 se reportan las condiciones iniciales de la muestra de agua diluida y consideradas durante la evaluación del proceso de clarificación. Cabe resaltar que las réplicas realizadas del desarrollo experimental se evidencian en el anexo B

Tabla 5. Condiciones iniciales del agua diluida 1:4

Agua Diluida 1:4	
Parámetro	Valor
pH	5,1
Turbidez (NTU)	551,7
Sólidos disueltos (ppm)	63
Temperatura (°C)	16

Fuente: elaboración propia

- **Ensayo 1. Determinación de pH**

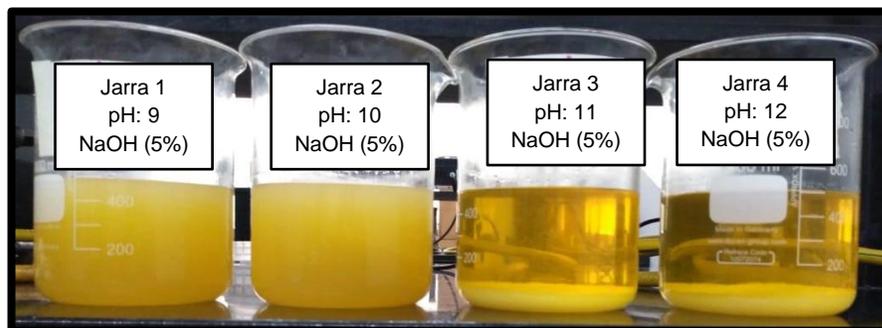
En este ensayo se evaluaron pH de 9, 10, 11 y 12 unidades con el fin de determinar el pH que favorece el proceso de coagulación. Para esto se preparan jarras con los diferentes valores de pH agregando Hidróxido de Sodio (NaOH) al 5% e hidróxido de Calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) al 5% como agentes reguladores de pH paulatinamente de a 0.5 mL midiendo el pH en cada adición hasta alcanzar el pH que se quiera analizar; se adicionó Sulfato de Aluminio al 10% como coagulante elegido al azar hasta obtener un pH 7 aproximadamente. Después de realizar la coagulación y sedimentación se realizó un proceso de filtración con el fin de remover la mayor parte de sólidos. En las tablas 6 y 7 se presentan los resultados obtenidos con los diferentes alcalinizantes a diferentes condiciones de pH:

Tabla 6. Resultados determinación pH con hidróxido de sodio 5%

Selección Del Ph De Trabajo Agua Residual Diluida Al 1: 4				
Parámetro	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4
Dosificación de NaOH (ppm)	110	150	200	300
Dosificación coagulante (ppm)	100	160	200	340
Turbidez (NTU)	259,6	112,05	85,05	43,16
% Remoción de turbidez	52,95%	79,69%	84,58%	92,18%
pH inicial	9	10	11	12
pH final	7	7,1	7,05	7
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	206,4	309,4	719,52	868,8

Fuente: elaboración propia

Imagen 5. Ensayo 1 con hidroxido de calcio 5%



Fuente: elaboración propia

Los resultados del primer ensayo de jarras mostraron que, a pH 9 y 10 usando

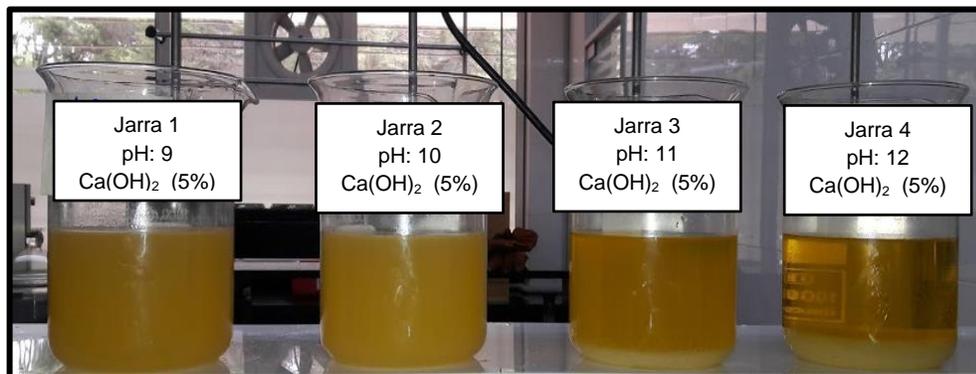
sulfato de aluminio las aguas tratadas siguen estando turbias y el porcentaje de remoción es bajo en comparación con las jarras 3 y 4 que corresponden a pH de 11 y 12 respectivamente; el tiempo de sedimentación en la jarra 4 es menor que las demás jarras.

Tabla 7. Resultados determinación pH con hidróxido de calcio 5%

Selección Del pH De Trabajo Agua Residual Diluida Al 1: 4				
Parámetro	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4
Dosificación De $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (Ppm)	100	110	350	500
Dosificación Coagulante (Ppm)	6	14	50	200
Turbidez (NTU)	146,9	80,92	55,12	25,89
% Remoción De Turbidez	73,37%	85,33%	90,01%	95,31%
Ph Inicial	9	10	11	12
Ph Final	7,3	7,2	7,3	7,3
Sólidos Suspendidos Totales (Mg/L)	546	654,8	1016,86	1312,84

Fuente: elaboración propia

Imagen 6. Ensayo de jarras 1 con Hidróxido de calcio al 5%

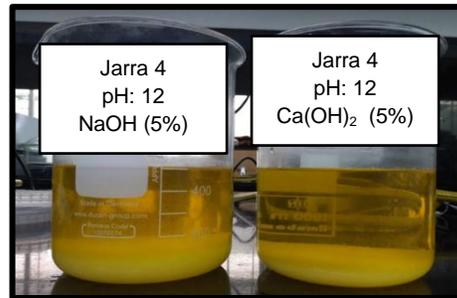


Fuente: elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 7 el porcentaje de remoción de turbidez para un pH de 9, 10, 11, 12 es de 73.37%, 85.33%, 90.01% y 95.31% respectivamente. El comportamiento de la jarra 4 como se puede observar en la imagen 6, arrojó el mejor porcentaje de remoción de turbidez con respecto a las demás jarras y los flocúlos formados sedimentan rápidamente debido al peso de sus aglomeraciones.

A partir de los ensayos realizados anteriormente se identifica que a pH 12 se favorece la desestabilización de las partículas coloidales produciendo aglomeraciones de mayor peso que permiten sedimentarse con mayor facilidad, por otra parte, el hidróxido de calcio presentó mayor eficiencia en la remoción de turbidez, mayores sólidos sedimentados con respecto al hidróxido de sodio, como se evidencia en la imagen 7.

Imagen 7. Comparación pH 12

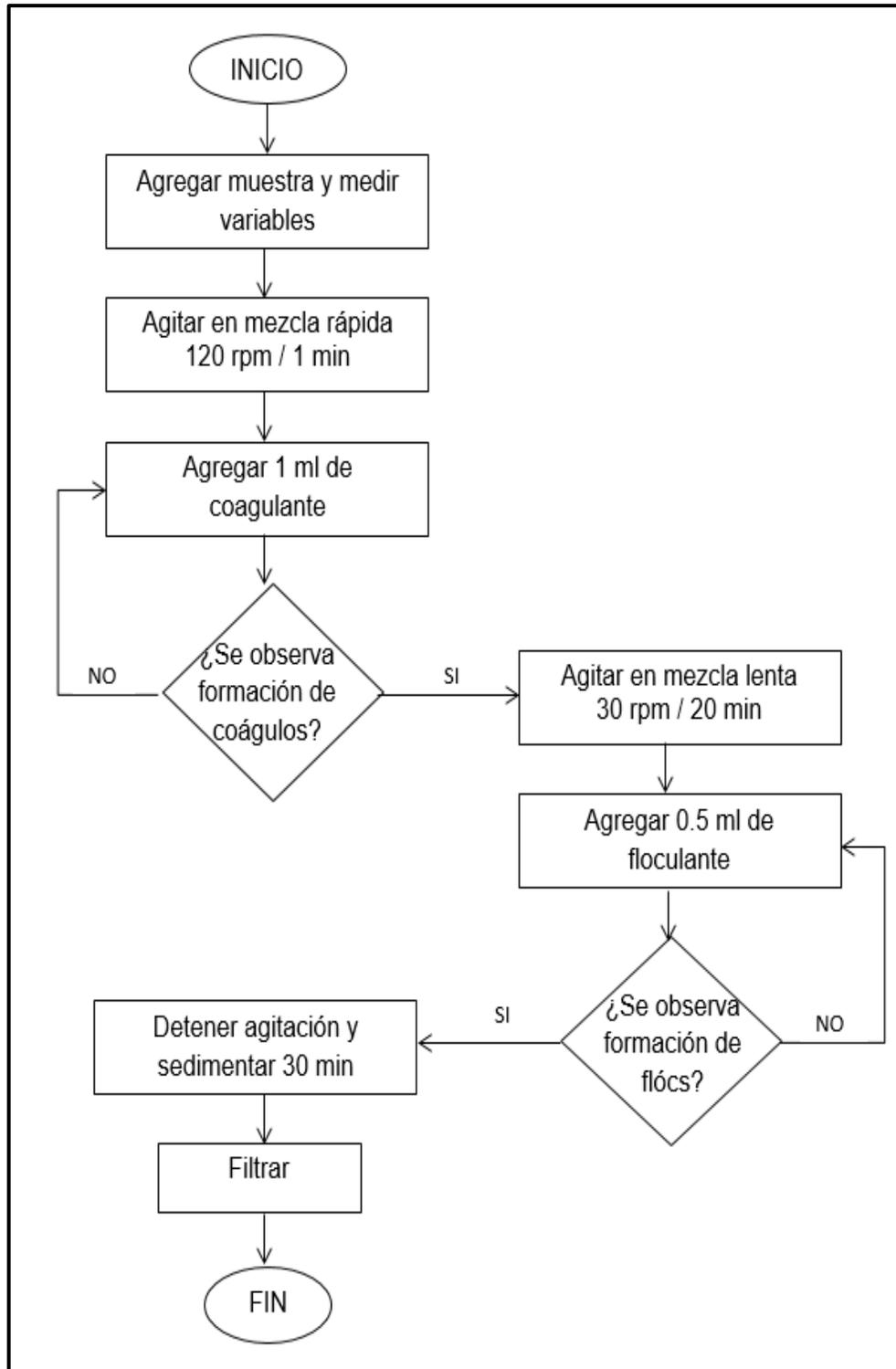


Fuente: elaboración propia

- **Ensayo 2. Determinación de polímero floculante**

Luego de realizar los ensayos pertinentes para la determinación del pH que favorece el proceso de coagulación, se procede a seleccionar el floculante polimérico que permita mejorar el proceso de clarificación aglomerando las partículas desestabilizadas con mayor peso, logrando menor tiempo de sedimentación. Para esto en cada vaso precipitado se añaden los floculantes L-1538 y L-1564 paulatinamente en volúmenes de 0.5 ml hasta observar la formación de flocs luego de agitación lenta (30 rpm) como se describe en el diagrama 6

Diagrama 6. Secuencia experimental para la determinación del polímero floculante



Fuente: Elaboración propia

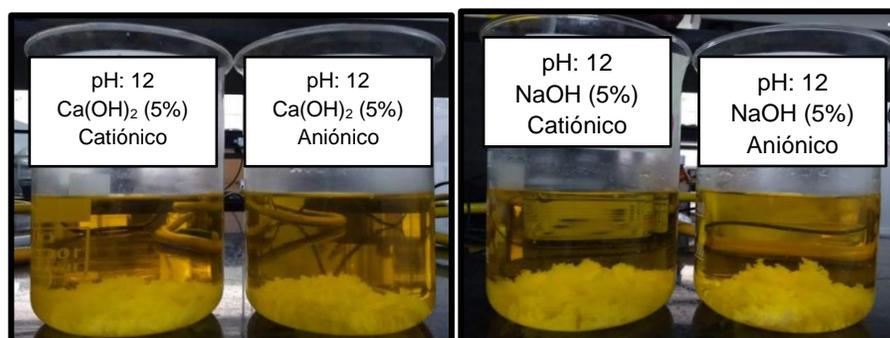
Tabla 8. Resultados ensayo 2 seleccion del floculante

Selección Floculante				
Parámetro	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4
Base	Ca(OH) ₂	Ca(OH) ₂	Na(OH)	Na(OH)
Dosificación Base (Ppm)	500	500	300	300
Dosificación Coagulante (Ppm)	340	340	340	340
Tipo De Floculante	Aniónico	Catiónico	Aniónico	Catiónico
Dosificación Floculante 0,08%	3,2	3,2	3,2	3,2
Turbidez (NTU)	19,7	6,14	35,9	20,8
% Remoción De Turbidez	96,43%	98,89%	93,49%	96,23%
Ph Inicial	12	12	12	12
Ph Final	7,3	7,3	7,4	7,4
Sólidos Suspendidos Totales (Mg/L)	891,2	1372,6	737,4	1046,8

Fuente: elaboración propia

El sistema de clarificación utilizando el polímero catiónico (L-1564) como floculante e Hidróxido de calcio al 5% como alcalinizante presenta mayor eficiencia. En el caso del porcentaje de remoción de la turbidez se presenta una variación entre los dos floculantes como se observa en la recopilación de resultados presentada en la tabla 8.

Imagen 8. Resultados ensayo 2 seleccion del floculante

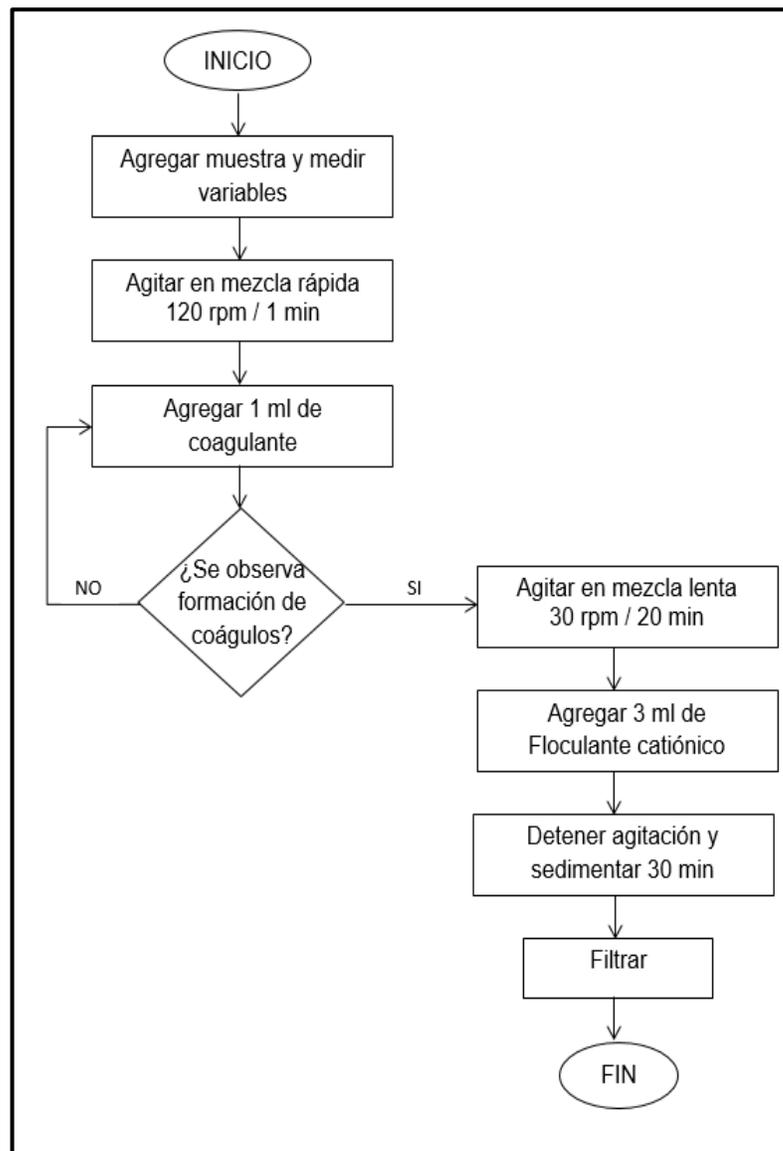


Fuente: elaboración propia

Al conocer el floculante más adecuado y su dosificación al igual que el agente alcalino y el pH de trabajo, se procede a evaluar de los coagulantes a nivel laboratorio siguiendo la NTC 3903(Norma Técnica Colombiana “Método De Jarras En La Coagulación Y Floculación Del Agua”) para esto se acondicionó el agua residual industrial diluida a pH 12 con la adición de Hidróxido de calcio al 5%, Esta

solución fue puesta bajo las condiciones de operación establecidas en el cuadro 12 según la normatividad vigente para el proceso de coagulación, floculación, y sedimentación al término de este tiempo se filtró la muestra sobre papel filtro con el fin de remover los lodos generados, este proceso se evidencia en el diagrama 7 Para el efluente se determinan la turbiedad y el índice de Willcomb, la determinación de estos parámetros permite establecer la eficiencia remoción del proceso de clarificación.

Diagrama 7. Secuencia experimental para la determinación del coagulante



Fuente: elaboración propia

- **Ensayo 3. Evaluación del sulfato de Aluminio ($\text{Al}(\text{SO}_4)_3$)**

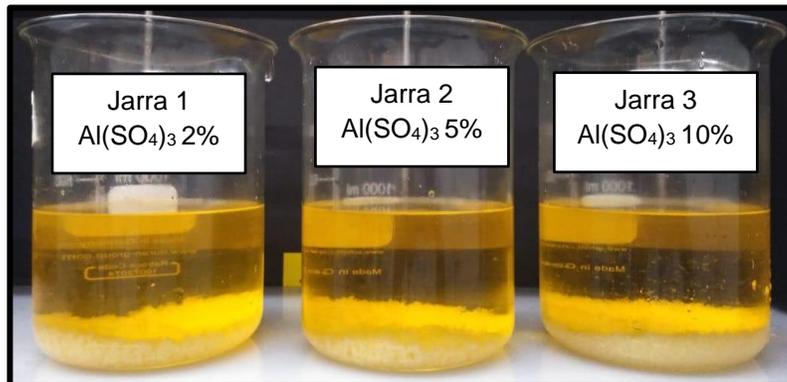
El sulfato de aluminio se evaluó a concentraciones de 2%, 5% y 10% equivalentes a (20000 mg/L, 50000 mg/L, 100000 mg/L). Para esta prueba de jarras se tomaron tres muestras diluidas de 500mL en las cuales se adicionó el volumen adecuado del coagulante simultáneamente hasta obtener un pH 7-8, posteriormente se añadió 24 ppm del floculante catiónico y se dejó sedimentar la muestra durante 30 minutos para finalmente pasar a un proceso de filtración. Los datos cuantitativos se observan en la tabla 9.

Tabla 9. Resultados ensayo 3 evaluacion de sulfato de alliminio

Evaluación Sulfato De Aluminio				
Parámetro	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	
Dosificación De $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (Ppm)	500	500	500	
Concentración Coagulante	2%	5%	10%	
Dosificación De Coagulante (Ppm)	220	240	340	
Dosificación Floculante (Ppm)	3,2	3,2	3,2	
Turbidez (NTU)	9,53	2,18	6,14	
% Remoción De Turbidez	98,27%	99,60%	98,89%	
Ph Final	7,55	7,7	7,4	
Sólidos Suspendidos Totales (Mg/L)	952,2	1592,8	1372,6	
Índice De Willcomb	6	8	6	

Fuente: elaboración propia

Imagen 9. Resultados evaluación de sulfato de aluminio



Fuente: elaboración propia

Como resultado de esta prueba de jarras se logró establecer que la jarra 2 presentó mayor desempeño cuya concentración de sulfato de aluminio es de 50000 ppm con una dosificación de 240 ppm e índice de willcomb de 8, logrando formar flóculos con mayor peso que al sedimentarse y pasará por un proceso de filtración removiendo el 99.6% de la turbiedad. La jarra 1 y 3 aunque tuvieron un porcentaje de remoción de turbiedad significativo de 98.2% y 98.89% respectivamente, los flóculos formados durante el proceso sedimentan con lentitud y se evidencia evidencian partículas en suspensión causante de la turbiedad.

● **Ensayo 4. Evaluación cloruro férrico (FeCl₃)**

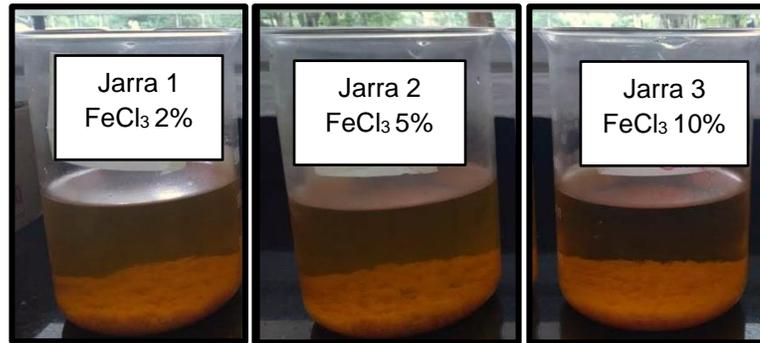
El cloruro férrico se evaluó a concentraciones de 2%, 5% y 10% equivalentes a (20000 mg/L, 50000 mg/L, 100000 mg/L). Adicionando simultáneamente los volúmenes adecuados hasta obtener un pH 6-7, posteriormente se añadió el floculante catiónico y se dejó sedimentar la muestra durante 30 minutos para finalmente pasar a un proceso de filtración. Los datos cuantitativos se observan en la tabla 10.

Tabla 10. Resultados ensayo 4 evaluación de cloruro ferrico

Evaluación Cloruro Férrico				
Parámetro	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	
Dosificación De Ca(OH) ₂ (Ppm)	500	500	500	
Concentración Coagulante	2%	5%	10%	
Dosificación De Coagulante (Ppm)	400	500	600	
Dosificación Floculante (Ppm)	3,2	3,2	3,2	
Turbidez (NTU)	5,27	6,4	3,38	
% Remoción De Turbidez	99,04%	98,84%	99,39%	
Ph Final	6,15	6,68	6,53	
Sólidos Suspendedos Totales (Mg/L)	1014.6	987	1018.02	
Índice De Willcomb	6	6	8	

Fuente: elaboración propia

Imagen 10. Resultados de la evaluación de cloruro ferrico



Fuente: elaboración propia

La evaluación de las tres jarras anteriores permite establecer que a una concentración de 10% de cloruro férrico y una dosificación de 600 ppm el porcentaje de remoción de turbidez es del 99.39%, en este caso el índice de Willcomb 8 nos indica que el floc coloidal formado presenta un buen signo de aglutinamiento que al sedimentar deja el agua cristalina como se observa en la imagen 10. Cabe resaltar que para este ensayo la jarra uno y dos el porcentaje de remoción de turbidez es de 99.04% y 98.84% respectivamente, el tamaño de la flocs es relativamente grande, y pasado el tiempo de sedimentación se refleja partículas suspendidas en el agua residual causantes de la turbiedad.

- **Ensayo 5. Evaluación Policloruro de Aluminio (PAC)**

El Policloruro de aluminio se evaluó a concentraciones de 2%, 5% y 10% equivalentes a (20000 mg/L, 50000 mg/L, 100000 mg/L) adicionando simultáneamente los volúmenes adecuados hasta obtener un pH aproximado 7, posteriormente se añadió 24 mg/L del floculante catiónico y se dejó sedimentar la muestra durante 30 minutos para finalmente pasar a un proceso de filtración. Los datos cuantitativos se observan en la tabla 11.

Tabla 11. Resultados ensayo 5 evaluación de policloruro de aluminio

Evaluación Policloruro De Aluminio				
Parámetro	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	
Dosificación De Ca(OH) ₂ (Ppm)	500	500	500	
Concentración Coagulante	2%	5%	10%	
Dosificación De Coagulante (Ppm)	80	150	200	
Dosificación Floculante (Ppm)	3,2	3,2	3,2	
Turbidez (NTU)	293,7	3,94	8,67	

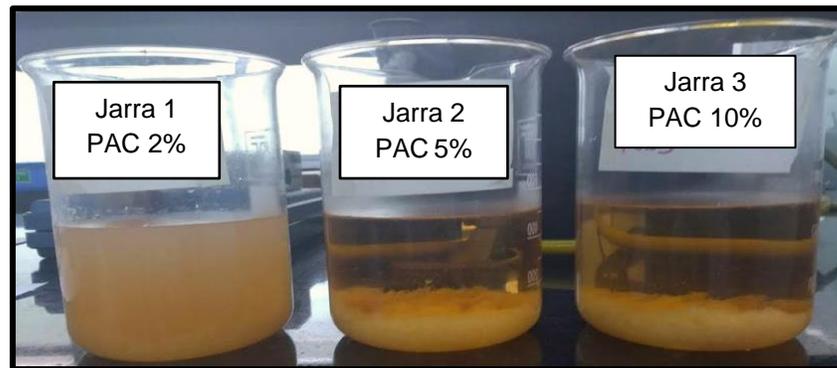
Tabla 11. (Continuación)

Evaluación Policloruro De Aluminio

% Remoción De Turbidez	46,76%	99,29%	98,43%
Ph Final	7,02	7,06	7,09
Sólidos Suspendidos Totales (Mg/L)	307.6	964.12	625.76
Índice De Willcomb	4	8	6

Fuente: elaboración propia

Imagen 11. Resultados evaluacion de policloruro de aluminio



Fuente: elaboración propia

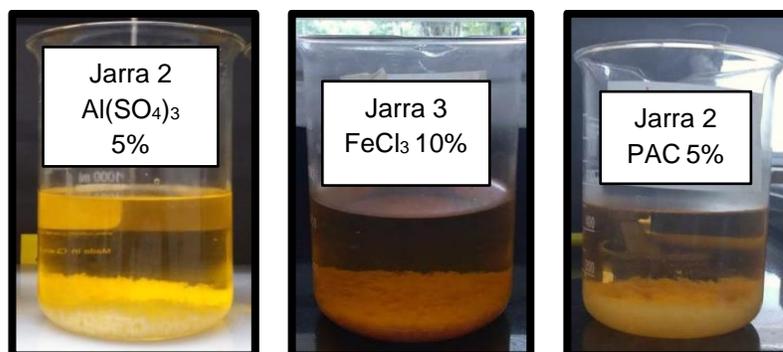
En este caso se evidencia que las jarras dos y tres presentan un comportamiento similar; el índice de Willcomb 8 en la jarra 2 determina que los flocs formados son de mayor tamaño y sedimentan fácil en comparación con los flocs de la jarra 3 que se precipitan lento y no completamente. El porcentaje de remoción coloidal para una concentración de 5% es de 99.29%, y a una concentración de 10% es de 98.43% seleccionando la jarra 2 como la de mayor eficiencia en el proceso de clarificación usando el Policloruro de aluminio. En la jarra 1 se observa un tamaño de flocs muy pequeño casi imperceptible difícil de sedimentar removiendo el 46.76% de los sólidos suspendidos coloidales presentes en el agua residual industrial.

Luego de realizar los análisis pertinentes en la tabla 12 se realiza una recopilación de las jarras que mejor desempeño mostraron después de ser tratadas por coagulación, floculación, sedimentación y filtración determinando las concentraciones y dosificaciones de los reactivos empleados durante el desarrollo experimental.

Tabla 12. Recopilación de resultados agua residual industria diluida 1:4

Parámetro	Al(SO ₄) ₃ 5%	FeCl ₃ 10%	PAC 5%
Dosificación de Ca(OH) ₂ (ppm)	500	500	500
Dosificación de coagulante (ppm)	240	600	150
Dosificación floculante (ppm)	3,2	3,2	3,2
Turbidez (NTU)	2,18	3,38	3,94
% Remoción de turbidez	99,60%	99,39%	99,29%
pH final	7,7	6,53	7,06
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	1592.8	1018.02	964.12
Índice de Willcomb	8	8	8

Imagen



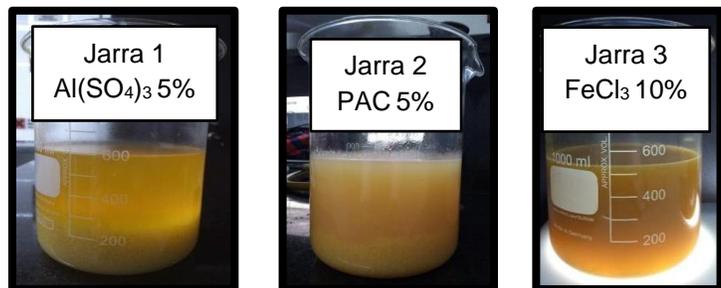
Fuente: elaboración propia

Para evaluar la eficiencia del proceso de clarificación y filtración, simulado en las pruebas de jarras bajo las condiciones obtenidas, se procedió a realizar una réplica de las jarras que mostraron mejor desempeño durante tratamiento, con agua residual industrial proveniente del proceso de producción de saborizantes sin diluir, en la tabla 4 se reportan los parámetros iniciales a considerar durante la evaluación del proceso de clarificación. Los resultados cuantitativos se demuestran en la tabla 13.

Tabla 13. Resultados agua residual industrial cruda

Parámetro	Al(SO ₄) ₃ 5%	PAC 5%	FeCl ₃ 10%
Dosificación de Ca(OH) ₂ (ppm)	2500	2500	2500
Dosificación de coagulante (ppm)	1200	1500	1500
Dosificación floculante (ppm)	16	16	16
Turbidez (NTU)	43,45	264.1	855,6
% Remoción de turbidez	96,05%	75.99%	22,22%
pH final	7,3	7.09	6,53
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	7964	4840	
Índice de Willcomb	8	6	2

Imagen



Fuente: elaboración propia

A partir del escalado realizado a partir de las mejores jarras con agua residual industrial diluida en una proporción de 1:4, se evidencio que el cloruro férrico no fue eficiente en la coagulación y floculación cuyos resultados se muestran en la anterior tabla; para su implementación como posible coagulante el agua a tratar debe ser diluida aumentando los costos operaciones del sistema de tratamiento de agua descartándolo como coagulante. Se continúa con la prueba de sedimentación y filtración con carbón activado para las jarras tratadas con PAC al 5% y Sulfato de Aluminio al 5%.

Para estas pruebas y según el índice de Wilcomb el floc formado con Sulfato de Aluminio al 5% sedimenta fácil, aunque deja algo de turbiedad en el agua, el porcentaje de remoción de sólido coloidales es del 96.05%, las aglomeraciones con el Policloruro de Aluminio sedimentan con lentitud, el porcentaje de remoción de

turbiedad es del 75.99%, mientras que para los flocs formados con cloruro férrico son muy pequeños y casi imperceptibles y la remoción de turbiedad es tan solo del 22.22%.

3.2.1.2 Velocidad de sedimentación. el proceso de coagulación y floculación permite la formación de flóculos los cuales son separados de la solución residual por la diferencia de densidad entre el floc formado y el agua residual tratada. La velocidad de sedimentación se determinó de manera experimental siguiendo el método de Cloe y Clevenger cuyo principio se basa en la diferencia de altura de los lodos con respecto a la solución en función del tiempo⁹¹. Para la determinación de la velocidad de sedimentación se deposita en una probeta de 250 ml, a la solución tratada se le toma la altura inicial (h_0) y se agita la suspensión de tal manera que la concentración sea uniforme. Finalmente, la probeta se deja en reposo y se determina la altura (h) de la suspensión cada dos minutos como se observa en la gráfica 5. Los datos que se presentan en la gráfica 5 se pueden ver en el anexo C

Ecuación 6. Velocidad de sedimentación

$$V_s = \frac{-(dh)}{(dt)}$$

Donde

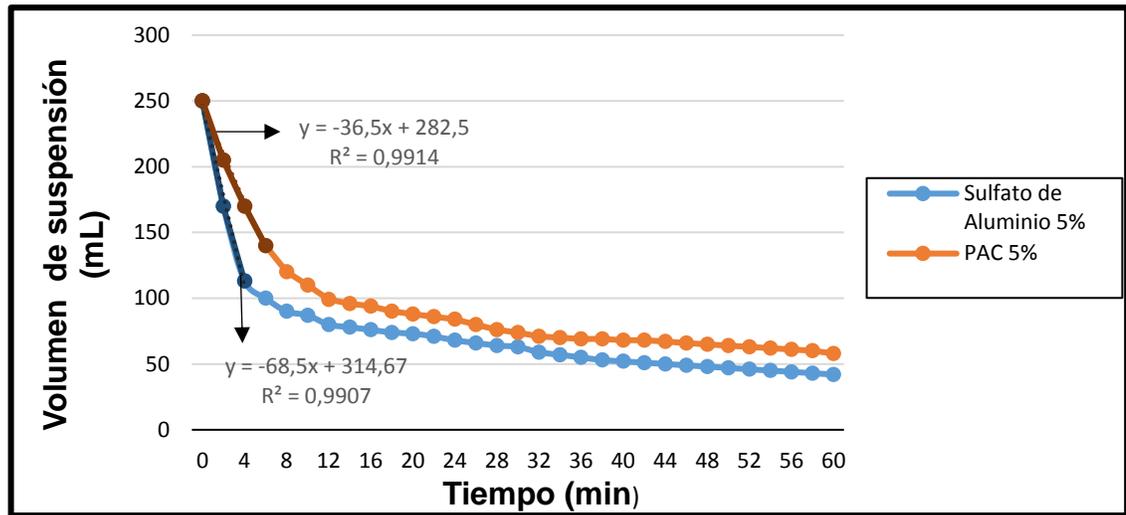
V_s = Velocidad de sedimentación (cm/min)

dh = Diferencial de altura (cm)

V_t = Diferencial de tiempo (min)

⁹¹ MELO and SACRISTÁN, op.cit, p.97

Gráfica 5. Determinación del volumen de suspensión en función del tiempo



Fuente: elaboración propia

Conociendo la altura de la suspensión en función del tiempo se aplica la ecuación 5 para conocer la velocidad de sedimentación. Los resultados se evidencian en la tabla 14 que se muestra a continuación.

Tabla 14. Velocidad de sedimentación agua tratada con sulfato de aluminio y PAC

Coagulante	Tiempo (Min)	Altura (Cm)	Velocidad De Sedimentación (Cm/Min)
Policloruro de Aluminio	0	26	1.83
	6	15	
Sulfato de Aluminio	0	26	3.25
	4	13	

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos en las muestras estudiadas reflejan que la velocidad de sedimentación con Sulfato de Aluminio es de 3.25 cm/min en comparación con el Policloruro de Aluminio es de 1.83 cm/min, esto indica que los flóculos formados durante el proceso de coagulación y floculación son más grandes con mayor peso, logrando que la sedimentación sea más rápida.

3.2.2 Filtración. Después de la clarificación del agua residual se procede a realizar una etapa complementaria del sistema de tratamiento, en este se busca remover la carga contaminante que haya quedado en el agua residual. La filtración se efectúa mediante el principio de la adsorción; consiste en el paso del agua residual después de haber sido tratada por coagulación, floculación y sedimentación (adsorbato) a través de un lecho fijo conformado por gránulos de material sólido con alta porosidad (adsorbente) que logra mayor atracción de las partículas, la adsorción se lleva a cabo por medio de la diferencia de concentración, composición y polaridad de las sustancias presentes en el agua, a medida que el agua fluye a través de la columna los contaminantes se fijan sobre la superficie porosa de los gránulos obteniendo un efluente libre de contaminantes⁹². En el cuadro 14 se muestran los principales adsorbentes usados en el tratamiento de las aguas residuales y algunas de sus características.

Cuadro 14. Principales adsorbentes en el tratamiento de aguas residuales

Adsorbente	Características
Carbón activado	<ul style="list-style-type: none"> • Es un material micro cristalino con alta capacidad de adsorción de materia orgánica • Áreas superficiales entre 300 y 1200 m²/g • Porosidad de 10 a 60 A° • Fuerte en la remoción de color y olor • Capaz de retener contaminantes poco polares, covalentes y de disminuir el DQO⁹³
Alúmina activada	<ul style="list-style-type: none"> • Oxido de aluminio en estado sólido (polvo blanco) • Adsorbente inorgánico poroso semicristalino • Altamente selectiva para flúor y arsénico⁹⁴ • Sensible al pH • Áreas superficiales entre 200 y 500 m²/g • Porosidad de 20 a 140 A°

⁹²CALDERÓN BENAVIDES, Alejandra María, et al. Estudio comparativo de la aplicación de Zeolita activada y Carbón activado en el tratamiento de aguas residuales de la fabricación de pinturas base agua. Universidad de El Salvador, 2016.

⁹³ Carbotecnia. el Carbón activado en el tratamiento de aguas residuales. Aug, 2007. [Consultado el Oct 5,2018]. Disponible en: <https://www.carbotecnia.info/PDF/boletines/AR-001.pdf>

⁹⁴SALAZAR PÉREZ, Cristina. Adsorción de fluoruro por alúmina activada. Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Tecnología, 2016. p. 1-134.

Cuadro 14. (Continuación)

Adsorbente	Características
Zeolita	<ul style="list-style-type: none"> • Aluminosilicatos cristalinos porosos con porosidad uniforme • Comúnmente usadas en la separación de hidrocarburos • Porosidad de 3 a 10 A° • Alta capacidad de adsorción de cationes como metales pesados y amoniaco
Resina	<ul style="list-style-type: none"> • Usados en la remoción de contaminantes iónicos del agua residual incluyendo a los nitratos, fluoruros, sulfatos y cloruros. • Fuertes en el ablandamiento del agua • Alta remoción de metales • Larga vida útil y fácil regeneración
Arena	<ul style="list-style-type: none"> • Usados principalmente para separar el material sólido suspendido en el agua • Alta capacidad de remoción de hierro y magnesio⁹⁵ • Puede ser regenerado fácilmente por limpieza en contracorriente

Fuente: elaboración propia

De acuerdo a la tabla anterior se determina el carbón activado como adsorbente para la filtración por su alta capacidad de remoción de compuestos poco polares y covalentes principalmente compuestos orgánicos, su mayor área superficial que permite una mayor adsorción de contaminantes y su efectiva remoción de color y olor del agua residual⁹⁶.

⁹⁵ CALDERÓN BENAVIDES, op.cit,

⁹⁶ Carbotecnia, op.cit, p.2

Imagen 12. Carbón activado usado en la filtración



Fuente: elaboración propia

El filtro elaborado para el sistema de tratamiento se realizó en base al trabajo de grado “*Desarrollo de una propuesta de mejora para la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa de lácteos Inversiones Fasulac LTDA*”, para la elaboración se necesitó un tubo PVC de 3 pulgadas de diámetro y 40 cm de largo como columna, en la parte inferior se realiza una abertura de media pulgada por donde saldría el agua filtrada, el lecho es sostenido al interior de la columna con una malla de diámetro de partícula menor que no afecta el flujo de agua, el caudal es regulado por una válvula de bola. La profundidad del lecho de carbón se tomó con relación 3 a 1 (26 cm) con respecto a la altura de la columna.⁹⁷

Imagen 13. Filtro de carbon activado



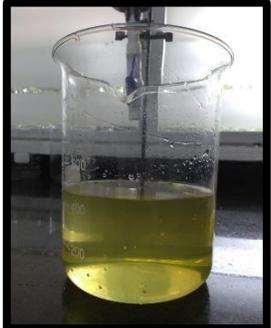
Fuente: elaboración propia

Una vez se realiza la filtración se determina un caudal promedio del agua a través del filtro es de 1.1 ml/s con la válvula de bola completamente abierta, se considera

⁹⁷ LEITON SALAMANCA and SEDANO CABRERA, op.cit, p.96

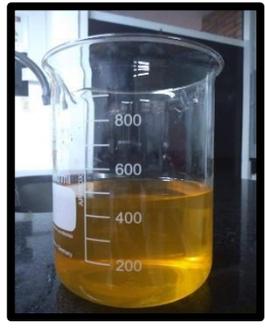
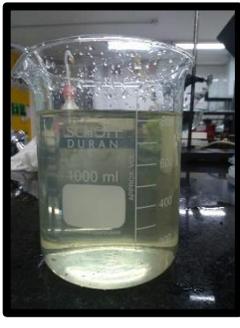
un caudal significativo puesto que se puede mantener un bien contacto del agua a lo largo del lecho. En la tabla 15 y 16 se comparan los resultados del agua residual clarificada y filtrada con carbón activado

Tabla 15. Comparacion de resultados del agua residual clarificada con PAC y filtrada con carbon activado

Parámetro	Agua Cruda	Agua Clarificada	Agua Filtrada
pH	4.3	7.6	7.6
Turbiedad	1100 NTU	264.1NTU	115.6 NTU
% Remoción	-	75.99%	89.5%
Imagen			

Fuente: elaboración propia

Tabla 16. Comparacion de resultados del agua residual clarificada con sulfato de aluminio y filtrada con carbon activado

Parámetro	Agua Cruda	Agua Clarificada	Agua Filtrada
pH	4.3	7.7	7.7
Turbiedad	1100 NTU	43.45 NTU	12.39 NTU
% Remoción	-	96.05%	98.87%
Imagen			

Fuente: elaboración propia

Las aguas tratadas obtenidas fueron llevadas al laboratorio BIOPOLAB para analizar los parámetros físico químicos que se encuentran fuera del límite máximo permisible establecido en la normatividad vigente para vertimientos; los parámetros cuantificados son aceites y grasas, DBO5, DQO, SST pH. Los resultados de la caracterización se observan en las tablas 17 y 18

Tabla 17. Resultados caracterización agua tratada con PAC

Parámetro	unidades	Resolución 631 de 2015 (artículo 13)	Muestra Inicial	Muestra tratada PAC	Cumple	%R
pH	Unidades de pH	6.00-9.00	5.55-8.45	7.6	SI	-
DQO	mgO ₂ /L	600	3410	67,58	SI	98%
DBO	mgO ₂ /L	300	1600	303	NO	81%
Grasas y Aceites	mg/L	10	270	42,3	NO	84%
SST	mg/L	70	166	67,5	SI	59%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18. Resultados caracterización agua tratada con sulfato de aluminio

Parámetro	Unidades	Resolución 631 De 2015 (Artículo 13)	Muestra Inicial	Muestra Tratada Al(SO₄)₃	Cumple	%R
pH	Unidades de pH	6.00-9.00	5.55-8.45	7.7	SI	-
DQO	mgO ₂ /L	600	3410	429	SI	87%
DBO	mgO ₂ /L	300	1600	276	SI	83%
Grasas y Aceites	mg/L	10	270	<9.97	SI	96%
SST	mg/L	70	166	32	SI	81%

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados obtenidos en las tablas 17 y 18 es posible determinar cómo coagulante el sulfato de Aluminio 5%, ya que permitió la remoción de la carga contaminante del agua residual necesaria para que los parámetros críticos logren el cumplimiento de la normativa actual. A diferencia del sulfato, el PAC 5% no logró remover los aceites y grasas y el DBO necesarios para el cumplimiento de la norma y por tanto se descarta ese coagulante en el tratamiento.

Con respecto a las concentraciones obtenidas es posible decir que el sistema de tratamiento establecido es efectivo para este tipo de aguas residuales pues logra la remoción de los contaminantes necesaria para el cumplimiento de la resolución 631 de 2015.

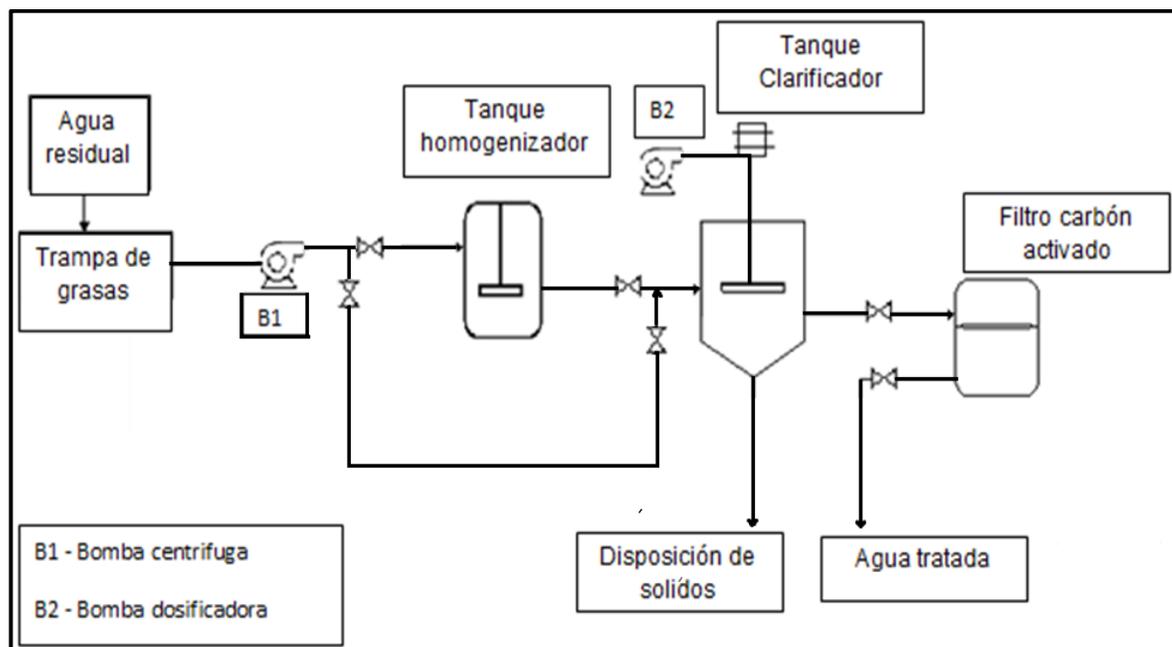
4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

De acuerdo a las condiciones de operación y a los resultados obtenidos en la evaluación experimental (tabla 18) se determinan las especificaciones técnicas del sistema planteado mediante el dimensionamiento de los equipos y la dosificación de los reactivos químicos necesarios, de manera que el agua residual tratada mediante este sistema, dé cumplimiento a la resolución 0631 de 2015 para los vertimientos de aguas puntuales.

4.1 DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS

Con base en la secuencia establecida las operaciones unitarias involucradas en el sistema de tratamiento son filtración inicial en trampa de grasas, floculación, coagulación, sedimentación y filtración con carbón activado. En el diagrama 8 se muestran los equipos en secuencia para la aplicación del sistema de tratamiento, los accesorios para el control y buen funcionamiento del sistema tales como válvulas de bola, bomba dosificadora y bomba centrífuga, así como la implementación de un bypass en la línea de flujo del tanque homogenizador de manera preventiva en caso de presentarse un aumento en el caudal del agua residual que rebose la superficie de este.

Diagrama 8. Diagrama de equipos para el sistema de tratamiento



Fuente: elaboración propia

4.1.1 Trampa de grasas. Se plantea como equipo inicial una trampa de grasas debido al alto contenido de aceites y grasas en las aguas residuales (270 mg/L), el diseño se realiza con base en el caudal del efluente a tratar teniendo en cuenta la capacidad de almacenamiento mínimo de grasa (kg), que debe ser de una cuarta parte del caudal generado (L/min).

Según la norma RAS 2000 en la sección II, Título E numeral E.3.3.2. En los parámetros de diseño se establece que el tanque debe tener 0.25m² de área por cada L/s y la relación ancho/longitud es de 1:4 hasta 1:18. A continuación se muestran los tiempos de retención estipulados según el caudal de entrada a la trampa de grasas⁹⁸.

Cuadro 15. Tiempos de retención hidráulicos

TIEMPO DE RETENCIÓN (min)	CAUDAL ENTRADA (L/s)
3	2-9
4	10-19
5	20 o más

Fuente: REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO RAS - 2000. Tratamiento de aguas residuales; (Nov, 2000).

De acuerdo a la caracterización fisicoquímica del agua residual cuyos resultados fueron plasmados en el capítulo 2, se determina como caudal de diseño el caudal máximo medido en el muestreo del agua residual correspondiente al valor de 0.08 L/s, este se considera un caudal representativo y se determina como el caudal de entrada a la trampa de grasas.

$$\text{Caudal de entrada} = 0.08 \frac{L}{S}$$

Área: en el cálculo del área se toma como referencia el parámetro de la norma RAS 2000 en el que especifica que el tanque debe tener 0.25m² de área por cada L/s.

Ecuación 7. Área de la trampa de grasas

⁹⁸REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO RAS - 2000. Tratamiento de aguas residuales; (Nov, 2000).

$$A = \text{Caudal de entrada} \left(\frac{L}{s} \right) * \left(\frac{0.25 m^2}{1 \frac{L}{s}} \right)$$

$$A = 0.08 \frac{L}{s} * \left(\frac{0.25 m^2}{1 \frac{L}{s}} \right) = 0.02 m^2$$

Relación ancho / longitud: de acuerdo a la relación mínima de ancho/longitud de 1:4 establecida se tiene que:

Ecuación 8. Calculo de area

$$\text{Área} = \text{Ancho} * \text{Longitud}$$

La relación ancha/longitud viene dado por la ecuación 11.

Ecuación 9. Relacion ancho/longitud del area de la trampa de grasas

$$\text{Longitud} = 4 * \text{Ancho}$$

De esta forma el cálculo del ancho

$$\text{Ancho} = \sqrt{\frac{\text{área}}{4}} = \sqrt{\frac{0.02 m^2}{4}} = 0.071 m$$

Con base en el ancho, la longitud es

$$\text{Longitud} = 4 * 0.071 m = 0.283 m$$

Volumen útil: indica la cantidad de agua máxima almacenable, se muestra mediante la ecuación 12.

Ecuación 10. Volumen útil⁹⁹

$$Vu = Q * t$$

Donde

Q = Caudal de entrada (L/s)

t= Tiempo de retención (s)

De acuerdo a la tabla 15, se estima el tiempo de retención mínimo con respecto a ese caudal (3 min=180 s)

$$Vu = 0.08 \frac{L}{s} * 180 s = 14.4 L \approx 0.014 m^3$$

Profundidad útil: se establece como la profundidad entre el fondo de la trampa de grasa y la superficie del volumen ocupado.

Ecuación 11. Profundidad útil¹⁰⁰

$$Pu = \frac{Vu}{A}$$

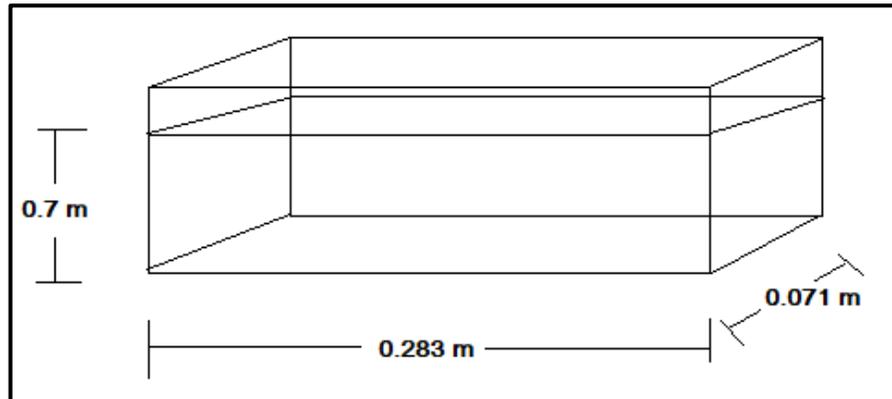
$$Pu = \frac{0.014 m^3}{0.02 m^2} = 0.7 m$$

De acuerdo a las dimensiones determinadas se muestra la trampa de grasas en la figura 1.

⁹⁹ LEE, C. C. and LIN, Shun Dar. Handbook of environmental engineering calculations. McGraw Hill, 2007.p.6

¹⁰⁰ Ibíd, p.6

Figura 1. Trampa de grasas



Fuente: elaboración propia

4.1.2 Tanque de homogenización. Su función es regular los efectos de la variación del flujo o de la concentración en las aguas residuales, este tanque debe tener la capacidad suficiente para retener el flujo de agua que se va a tratar. Para el cálculo del diámetro del tanque se toma el valor del volumen de agua residual producido en un día (0.44 m^3), según datos otorgados por la empresa en estudio; la relación altura/diámetro es 1.5 y un factor de seguridad de 15%; de acuerdo a esto, el volumen del tanque homogeneizador viene dado mediante la ecuación 13¹⁰¹.

Volumen: de acuerdo al volumen producido en un día y el factor de seguridad se calcula el volumen del tanque.

Ecuación 12. Volumen del tanque de homogenización

$$V_{\text{tanque}} = 0.44 \text{ m}^3 + (0.44 \text{ m}^3 * 0.15)$$

$$V_{\text{tanque}} = 0.506 \text{ m}^3$$

¹⁰¹ ROMEO ROJAS, Jairo Alberto. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. teoría y principios del diseño; Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008. p.1090.

Diámetro: teniendo en cuenta el volumen teórico de un tanque (ecuación 13) se puede determinar el diámetro del mismo (ecuación 16), reemplazando la relación establecida de altura/diámetro.

Ecuación 13. Volumen de un cilindro

$$V_{cilindro} = \frac{\pi}{4} * D^2 * h$$

Donde

D=diámetro cilindro

h= altura cilindro

Ecuación 14. Diametro del tanque de homogenizacion

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * V_{tanque}}{1.5 * \pi}} = \sqrt[3]{\frac{4 * 0.506 \text{ m}^3}{1.5 * \pi}} = 0.75 \text{ m}$$

Altura: a partir del diámetro del tanque se obtiene la altura mediante la relación establecida entre la altura y el diámetro de 1.5^{102} como se evidencia en la ecuación 15.

Ecuación 15. Altura del tanque de homogenizacion

$$h = D * 1.5$$

$$h = 0.75 \text{ m} * 1.5 = 1.125 \text{ m}$$

Área: el área del tanque de homogenización viene dada por la ecuación 16

¹⁰² *Ibíd*, p.1090

Ecuación 16. Area del tanque de homogenizacion

$$\text{Área} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Altura}}$$

$$\text{Área} = \frac{0.506 \text{ m}^3}{1.125 \text{ m}} = 0.45 \text{ m}^2$$

Agitador: de acuerdo al valor obtenido de diámetro del tanque y teniendo en cuenta que la relación entre el diámetro del tanque con el diámetro del agitador es de 3 unidades y la relación entre la altura del agitador con respecto al diámetro del mismo es de 1¹⁰³; es posible realizar los siguientes cálculos.

Determinación diámetro del agitador

$$\frac{D}{d} = 3$$

$$\frac{0.75 \text{ m}}{d} = 3$$

$$d = \frac{0.75 \text{ m}}{3} = 0.25 \text{ m}$$

Determinación altura agitador

$$\frac{h}{d} = 1$$

$$\frac{h}{0.25 \text{ m}} = 1$$

$$h = 0.25 \text{ m}$$

Donde

d= diámetro del agitador

D= diámetro del tanque

Teniendo d=0.25m y h=0.25 m se puede proceder a diseñar la paleta de agitación mediante la ecuación 19 y 20.

Longitud agitador: a partir del diámetro del agitador usando la ecuación 17¹⁰⁴:

¹⁰³ ROMEO ROJAS, Jairo Alberto. ACUAPURIFICACIÓN. Diseño de sistemas de purificación de agua. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 1995. p.52-56

¹⁰⁴ LEE and LIN, op. cit, p.23

Ecuación 17. Longitud de la paleta de agitacion del tanque homogenizador

$$r = \frac{d}{4}$$

$$r = \frac{0.25 \text{ m}}{4} = 0.0625 \text{ m}$$

Diámetro del disco central: a partir del diámetro del tanque de homogenización usando la ecuación 18¹⁰⁵.

Ecuación 18. Diagrama del disco del tanque homogenizador

$$S = \frac{D}{4}$$

$$S = \frac{0.75 \text{ m}}{4} = 0.1875 \text{ m}$$

Potencia: para establecer la potencia requerida se tiene en cuenta la ecuación 19.

Ecuación 19. Potencia requerida del tanque homogeneizador¹⁰⁶

$$P = k * \rho * N^3 * d^5$$

Donde

P=Potencia requerida

ρ = Densidad

k=Factor de geometría del impulsor

N= Velocidad de rotación

d= diámetro del agitador

¹⁰⁵ Ibíd, p.23

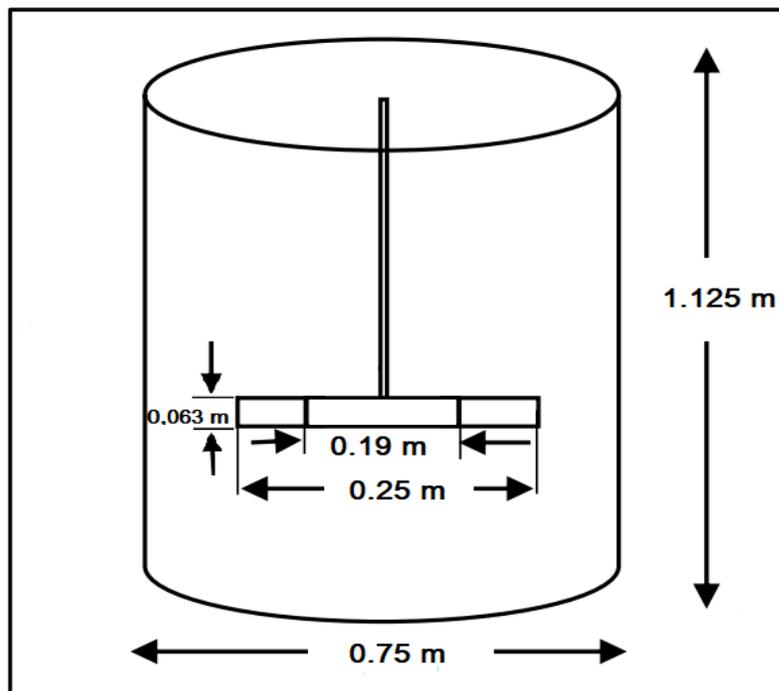
¹⁰⁶ ROMEO ROJAS, op. cit, p 53

El valor del factor de geometría es constante 6.30^{107} , la densidad del agua 1000 kg/m^3 y la velocidad de rotación se estima como $100 \text{ rpm} \approx 1.67 \text{ rps}^{108}$

$$P = 6.30 * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (1.67 \text{ rps})^3 * (0.25)^5 = 458.47 \text{ w}$$

De acuerdo a las dimensiones calculadas en la figura 2 se muestra el dimensionamiento del tanque homogeneizador:

Figura 2. Tanque homogeneizador



Fuente: elaboración propia

¹⁰⁷ LEE and LIN, op. cit, p. 34

¹⁰⁸ ROMEO ROJAS, op. cit, p 53

4.1.3 Tanque clarificador. El clarificador es un tanque de sedimentación utilizado para la remoción de sólidos, este tanque permite concentrar los contaminantes y eliminarlos por medio de los lodos residuales. Homólogo al tanque de homogenización se determina el volumen del tanque clarificador por medio del factor de seguridad del 15% y las dimensiones mediante la relación altura/diámetro de 1.5¹⁰⁹

Volumen Tanque clarificador: se calcula con el mismo procedimiento del tanque de homogenización puesto que se determina que el volumen de la corriente de entrada al tanque homogeneizador es el mismo volumen de la corriente de salida, este último es corresponde a la corriente de entrada del tanque clarificador.

Ecuación 20. Volumen del tanque clarificador

$$V \text{ tanque} = 0.44 \text{ m}^3 + (0.44\text{m}^3 * 0.15)$$

$$V \text{ tanque} = 0.506 \text{ m}^3$$

Sección cónica: la forma cónica del clarificador permite la sedimentación de los sólidos suspendidos totales, de acuerdo a la experimentación realizada en la prueba de sedimentación, por cada 250 ml de muestra de agua tratada mediante la clarificación, se produjeron 55 ml de lodo como se evidencia en la imagen 14. De acuerdo a esto la cantidad de sólidos generada es 1/5 parte del volumen total del agua.

¹⁰⁹ ROMEO ROJAS, op. cit, p. 1090

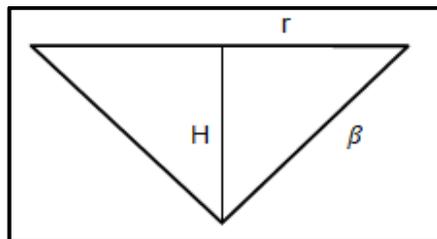
Imagen 14. Volumen de lodos generados durante la clarificación



Fuente: elaboración propia

Esta sección se asimila como un triángulo rectángulo para su dimensionamiento, de este modo hay un Ángulo de 45° sobre la horizontal¹¹⁰. Como se muestra en la ilustración 7. Para establecer el diámetro se toma el valor de la tangente obtenida mediante la ecuación 23¹¹¹

Ilustración 7. Sección conica del tanque clarificador



Ecuación 21. Calculo tangente seccion conica del tanque clarificador

$$\text{Tangente } (\beta) = \frac{\text{Cateto opuesto}}{\text{Cateto adyacente}}$$

¹¹⁰ HERNANDEZ ARIZALA, Diana and LEAL, Paula. Ingeniería básica de un sistema para el tratamiento de aguas residuales en Cárnicos Rico Jamón; Fundación Universidad de América, 2009.

¹¹¹ LEE and LIN, op. cit, p. 23

Ecuación 22. Calculo cateto opuesto seccion conica tanque clarificador

$$\text{Cateto opuesto} = H \text{ sección cónica} = \text{Tangente}(\beta) * r$$

Convirtiendo 45° en radianes se tiene:

$$45^\circ * \frac{\pi}{180^\circ} = \frac{45^\circ \pi}{180^\circ} = \frac{\pi}{4} = 0.785 \text{ radianes}$$

Atura sección cónica: a partir de los radianes obtenidos y el radio del tanque clarificador es posible determinar la altura de la sección cónica mediante la ecuación 22.

$$r = \frac{D}{2} = \frac{0.75 \text{ m}}{2} = 0.375 \text{ m}$$

Donde

r= radio sección cónica

D= diámetro sección cónica

$$\text{Cateto opuesto} = H \text{ sección cónica} = \text{Tangente}(0.785) * 0.375\text{m} = 0.375\text{m}$$

Volumen sección cónica: mediante la ecuación teórica del volumen de un cono y la altura previamente calculada se determina el volumen.

Ecuación 23. Volumen de un cono

$$\text{Volumen sección cónica} = \frac{\pi * r^2 * H_{\text{cono}}}{3}$$

$$\text{Volumen sección cónica} = \frac{\pi * (0.375\text{m})^2 * 0.375 \text{ m}}{3} = 0.055 \text{ m}^3$$

Sección cilíndrica: una vez se han determinado las dimensiones de la sección cónica del tanque clarificador es posible determinar las dimensiones de la sección

cilíndrica mediante la diferencia de volúmenes; además de esto, la altura total del tanque.

Volumen sección cilíndrica: se determina mediante la diferencia el volumen total del tanque de clarificación y el volumen de la sección cónica como se muestra en la ecuación 24.

Ecuación 24. Volumen sección cilíndrica del tanque clarificador

$$V \text{ sección cilíndrica} = V \text{ tanque clarificador} - \text{Sección cónica}$$

$$V \text{ sección cilíndrica} = 0.506 \text{ m}^3 - 0.055 \text{ m}^3 = 0.451 \text{ m}^3$$

Altura sección cilíndrica: una vez determinado el volumen del cilindro del clarificador se calcula la altura del mismo mediante la ecuación 25.

Ecuación 25. Área sección cilíndrica del tanque clarificador

$$H \text{ sección cilíndrica} = \frac{4 * \text{Sección cilíndrica}}{\pi * D^2}$$

$$H \text{ sección cilíndrica} = \frac{4 * 0.451 \text{ m}^3}{\pi * (0.75\text{m})^2} = 1.021 \text{ m}$$

Altura total del tanque: a partir de las alturas calculadas de las secciones cónica y cilíndrica, se calcula la altura total del tanque clarificador mediante la ecuación 26.

Ecuación 26. Altura total del tanque clarificador

$$H \text{ total} = H \text{ sección cónica} + H \text{ sección cilíndrica}$$

$$H_{total} = 0.375 \text{ m} + 1.021 \text{ m} = 1.396 \text{ m}$$

Agitador: del mismo modo que con el tanque homogeneizador se determinan las dimensiones del tanque clarificador, a partir de las siguientes consideraciones¹¹²:

$$\frac{D}{d} = \frac{0.75 \text{ m}}{d} = 3$$

$$\frac{h}{d} = 1$$

Teniendo $d=0.25 \text{ m}$ y $h=0.25 \text{ m}$ se puede proceder a diseñar la paleta de agitación mediante la ecuación 29 y 30.

Longitud agitador: a partir del diámetro del agitador usando la ecuación 27¹¹³

Ecuación 27. Longitud de la paleta de agitación del tanque clarificador

$$r = \frac{d}{4} = \frac{0.25 \text{ m}}{4} = 0.0625 \text{ m}$$

Diámetro del disco central: a partir del diámetro del tanque de clarificación usando la ecuación 28¹¹⁴

Ecuación 28. Diámetro del disco del clarificador

$$S = \frac{D}{4} = \frac{0.75 \text{ m}}{4} = 0.1875 \text{ m}$$

¹¹² ROMEO ROJAS, op. cit, p. 52-56

¹¹³ LEE and LIN, op. cit, p. 23

¹¹⁴ Ibíd., p. 23

Potencia: para establecer la potencia requerida se tiene en cuenta la ecuación 29.

Ecuación 29. Potencia requerida tanque clarificador¹¹⁵

$$P = k * \rho * N^3 * d^5$$

Donde

P=Potencia requerida

ρ = Densidad

k=Factor de geometría del impulsor

N= Velocidad de rotación

d= diámetro del agitador

El valor del factor de geometría es constante 6.30, una velocidad de rotación de 100 rpm¹¹⁶ y la densidad del agua 1000 kg/m³.

$$\frac{100 \text{ revoluciones}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} = 1.67 \text{ rps}$$

$$P = 6.30 * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (1.67 \text{ rps})^3 * (0.25\text{m})^5 = 458.47 \text{ w}$$

Área tanque clarificador: el área del tanque de clarificación viene dado por la ecuación 30¹¹⁷.

Ecuación 30. Área tanque de clarificación

$$\text{Área} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Altura}}$$

¹¹⁵ ROMEO ROJAS, op. cit, p. 53

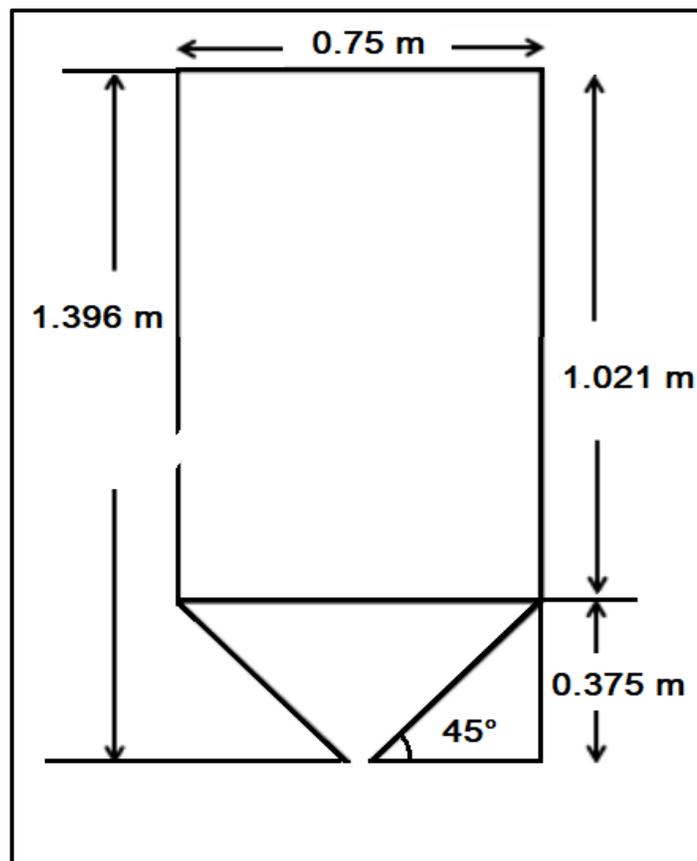
¹¹⁶ LEE and LIN, op. cit, p. 34

¹¹⁷ Ibíd., p.23

$$\text{Área} = \frac{0.506 \text{ m}^3}{1.396 \text{ m}} = 0.36 \text{ m}^2$$

A partir de las dimensiones establecidas del tanque clarificador es posible mostrar una figura de su diseño

Figura 3. Tanque clarificador



Fuente: elaboración propia

4.1.4 Filtro carbón activado. La filtración es la última operación en el sistema de tratamiento, permite depurar aguas residuales crudas previamente coaguladas, floculadas y sedimentadas, reteniendo sólidos suspendidos, material no sedimentable, turbiedad, DBO, DQO, entre otros contaminantes¹¹⁸.

¹¹⁸ ROMEO ROJAS, op. cit, p.659

En el tratamiento de aguas residuales los granos del medio filtrante deben ser más grandes asegurando que el filtro tenga una velocidad apropiada para la filtración y se pueda almacenar el volumen del floc formado mediante la clarificación¹¹⁹. El filtro convencional monomedio actúa bajo la acción de la gravedad y con tasa de filtración constante o variable; este tipo de filtro permite carreras de filtración más largas, velocidades más altas, y requiere de mayores profundidades en el lecho y un medio de tamaño uniforme¹²⁰. El carbón activado es el medio filtrante establecido ya que por su alta capacidad adsorbente permite la remoción de la materia orgánica, el olor y el color del agua residual.

Para el diseño del filtro se tiene en cuenta el tamaño del medio filtrante, la tasa de filtración, la profundidad del lecho de filtración y la pérdida de carga disponible. De acuerdo al requerimiento de mayor profundidad en el lecho se establece un filtro no estratificado. A continuación, se muestran las características típicas de diseño para filtros monomedio.

Cuadro 16. Características típicas de diseño para filtros monomedio¹²¹.

CARACTERÍSTICAS	VALOR	
	INTERVALO	TÍPICO
Profundidad (cm)	90 - 210	150
Tamaño efectivo (mm)	2 - 4	2.75
Coefficiente de uniformidad	1.3 - 1.8	1.6
Tasa de filtración (m/d)	120 - 600	300

Fuente: ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios del diseño; Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008. pag.671.

De acuerdo a las características típicas de los filtros monomedio con lechos profundos (no estratificado) se pueden establecer las variables para el diseño del filtro de carbón activado por medio del promedio de cada parámetro.

Profundidad: la profundidad del lecho se determina como el promedio de las profundidades en el intervalo del cuadro 16

¹¹⁹ *Ibíd.*, p.666

¹²⁰ *Ibíd.*, p.670

¹²¹ *Ibíd.*, p.671

Ecuación 31. Profundidad de lecho

$$\text{Profundidad lecho} = \frac{90 \text{ cm} + 210 \text{ cm}}{2} = 150 \text{ cm}$$

Tamaño efectivo: el tamaño efectivo para el carbón activado se determina por el promedio del intervalo establecido en el cuadro 16.

Ecuación 32. Tamaño efectivo del carbon activado

$$\text{Tamaño efectivo} = \frac{2 \text{ mm} + 4 \text{ mm}}{2} = 3 \text{ mm}$$

Coefficiente de uniformidad: se calcula por el promedio de los intervalos establecidos en el cuadro 16.

Ecuación 33. Coeficiente de uniformidad

$$\text{Coeficiente de uniformidad} = \frac{1.3 + 1.8}{2} = 1.55$$

Área de filtración: el área de filtración se calcula mediante la ecuación 36. Tomando como referencia la tasa de filtración menor en el intervalo del cuadro 16.

Ecuación 34. Area de filtracion

$$\text{Área de filtración} = \frac{\text{Caudal}}{\text{Tasa de filtración}}$$

$$\text{Área de filtración} = \frac{3.5 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{120 \frac{\text{m}}{\text{día}}} = 0.029 \text{ m}^2$$

Volumen del filtro: para determinar la altura del filtro se establece un espacio vacío de 15 cm

Ecuación 35. Volumen del filtro

$$\text{Volumen del filtro} = \text{Área transversal} * \text{Altura}$$

$$\text{Volumen del filtro} = 0.029 \text{ m}^2 * 1.65 \text{ m} = 0.048 \text{ m}^3$$

Se determina el diámetro del filtro usando la relación $h/D = 1.5$ ¹²²

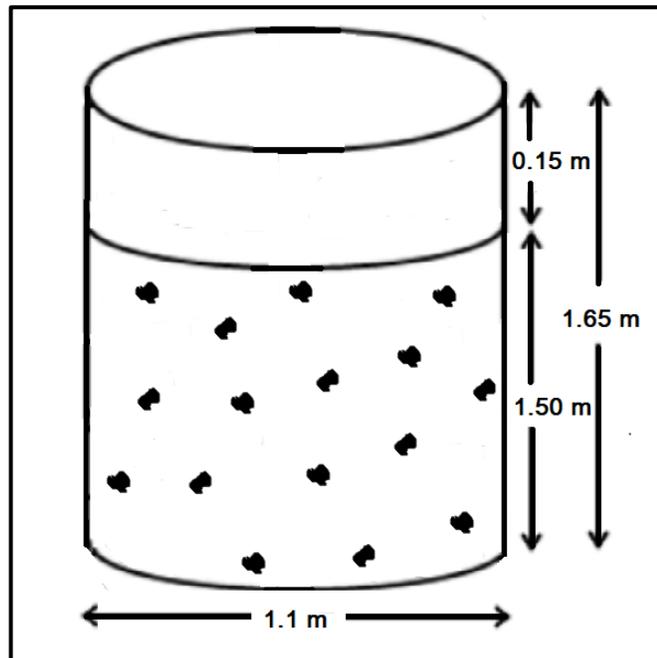
Ecuación 36. Diametro del filtro

$$\frac{h}{D} = 1.5$$

$$D = \frac{h}{1.5} = \frac{1.65 \text{ m}}{1.5} = 1.1 \text{ m}$$

Con todas las dimensiones establecidas se realiza un esquema general del filtro propuesto para la operación final del sistema de tratamiento de agua residual.

Figura 4. Filtro de carbon activado



Fuente: elaboración propia

¹²² ROMEO ROJAS, op. cit, p. 1090

4.2 DOSIFICACIÓN DE LOS REACTIVOS QUÍMICOS

Para la puesta en marcha del sistema de tratamiento de agua residual se determinan las dosificaciones necesarias del regulador de pH, el coagulante y el floculante establecidos, a partir de las dosificaciones óptimas obtenidas en la práctica de laboratorio.

En el cálculo de las cantidades de reactivos necesarios se toma como base los 0.44 m³ de capacidad usados en el diseño de los tanques homogeneizador y clarificador, es importante resaltar que este volumen corresponde a el agua residual generada en un día (jornada laboral de 8 horas) por lo tanto se estima la realización del tratamiento al finalizar cada jornada de trabajo.

4.2.1 Regulador de ph. El regulador de pH permite ajustar el pH obteniendo mejores resultados fue el Ca(OH)₂ en concentración de 5%, para llevar la muestra de agua de 500 ml de un pH de 5,1 a 12 se requiere 25 ml de Ca(OH)₂, en ese pH se consiguieron los mejores resultados de la coagulación y floculación. La dosificación es de 2500 ppm, a continuación, se presenta la relación de volumen de hidróxido de calcio al 5% usado en cierto volumen de agua residual a nivel laboratorio:

$$\text{Relación Ca(OH)}_2 (5\%) = \frac{25 \text{ ml Ca(OH)}_2}{500 \text{ ml Agua residual industrial}}$$

De acuerdo a la relación anterior es posible calcular el volumen requerido de Ca(OH)₂ al 5% necesario para ajustar el pH al volumen de agua para el tratamiento establecido.

$$\text{Volumen Ca(OH)}_2 = 0.44 \text{ m}^3 \text{ A. R. I.} * \frac{1 \text{ e}^6 \text{ ml A. R. I.}}{1 \text{ m}^3 \text{ A. R. I.}} * \frac{25 \text{ ml Ca(OH)}_2}{500 \text{ ml A. R. I.}} * \frac{1 \text{ L Ca(OH)}_2}{1000 \text{ ml Ca(OH)}_2}$$

$$\text{Volumen Ca(OH)}_2 (5\%) = 22 \text{ L Ca(OH)}_2$$

El volumen de hidróxido de calcio al 5% necesario para el tratamiento son 22 L por tratamiento, para establecer la cantidad de Ca(OH)₂ sólido necesario para realizar la dilución al 5% (50000 ppm) se plantea:

$$\begin{aligned}
 & \text{Cantidad } Ca(OH)_2 = \\
 & 22 \text{ L sln } Ca(OH)_2 (5\%) * \frac{50\,000 \text{ mg } Ca(OH)_2}{1 \text{ L sln } Ca(OH)_2 (5\%)} * \frac{1 \text{ kg } Ca(OH)_2}{1e^6 \text{ mg } Ca(OH)_2}
 \end{aligned}$$

$$\text{Cantidad } CaOH = 1.1 \text{ Kg } Ca(OH)_2 \text{ puro}$$

La cantidad de $Ca(OH)_2$ necesaria para realizar la disolución al 5% es 1.1 Kg por tratamiento, cuya dilución se realiza hasta completar los 22 L de solución.

4.2.2 Coagulante. De acuerdo al desarrollo del test de jarras el coagulante más eficiente fue sulfato de aluminio al 5%, fueron añadidos 1200 ppm de dosificación correspondiente a 12 ml de coagulante en 500 ml de muestra de agua residual, a esta concentración se evidencio el mejor resultado en la formación de coágulos. A continuación, se presenta la relación de volumen de sulfato de aluminio al 5% usado en cierto volumen de agua residual a nivel laboratorio:

$$\text{Relación } Al_2(SO_4)_3(5\%) = \frac{12 \text{ ml } Al_2(SO_4)_3}{500 \text{ ml Agua residual industrial}}$$

De acuerdo a la relación anterior es posible calcular el volumen requerido de sulfato de aluminio al 5% necesario para el mejor resultado en la coagulación del volumen de agua establecido por el tratamiento.

$$\begin{aligned}
 & \text{Volumen } Al_2(SO_4)_3(5\%) = \\
 & 440\,000 \text{ ml A. R. I.} * \frac{12 \text{ ml } Al_2(SO_4)_3(5\%)}{500 \text{ ml A. R. I.}} * \frac{1 \text{ L } Al_2(SO_4)_3 (5\%)}{1000 \text{ ml } Al_2(SO_4)_3(5\%)}
 \end{aligned}$$

$$\text{Volumen } Al_2(SO_4)_3(5\%) = 10.56 \text{ L } Al_2(SO_4)_3(5\%)$$

El volumen de sulfato de aluminio al 5% necesario para el tratamiento son 10.56 litros por tratamiento, para establecer la cantidad de sulfato sólido necesario para realizar la dilución al 5% (50000 ppm) se plantea:

$$10.56 \text{ L soln } Al_2(SO_4)_3(5\%) * \frac{50000 \text{ mg } Al_2(SO_4)_3 \text{ puro}}{1 \text{ L soln } Al_2(SO_4)_3(5\%)} * \frac{1 \text{ kg } Al_2(SO_4)_3 \text{ puro}}{1e^6 \text{ mg } Al_2(SO_4)_3 \text{ puro}}$$

$$\text{Cantidad } Al_2(SO_4)_3 = 0.53 \text{ Kg } Al_2(SO_4)_3 \text{ puro}$$

La cantidad de sulfato necesaria para realizar la disolución al 5% es 0.53 kg por tratamiento, cuya dilución se realiza hasta completar 10.56 litros de solución.

4.2.3 Floculante. En el desarrollo del test de jarras el floculante catiónico L- 1564 al 0.08% arrojó mejores resultados, fueron añadidos 16 ppm de dosificación correspondiente a 10 ml añadidos en 500 ml de muestra de agua residual. A continuación, se presenta la relación de volumen de floculante catiónico usado en cierto volumen de agua residual a nivel laboratorio:

$$\text{Relación floc. (0.08\%)} = \frac{10 \text{ ml floc. (0.08\%)}}{500 \text{ ml Agua residual industrial}}$$

De acuerdo a la relación anterior es posible calcular el volumen requerido de floculante catiónico necesario para el mejor resultado en la formación de flóculos del volumen de agua establecido para el tratamiento.

$$\begin{aligned} \text{Volumen floc. (0.08\%)} \\ = 440\,000 \text{ ml A. R. I.} * \frac{10 \text{ ml floc. (0.08\%)}}{500 \text{ ml A. R. I.}} * \frac{1 \text{ L floc. (0.08\%)}}{1e^3 \text{ ml floc. (0.08\%)}} \end{aligned}$$

$$\text{Volumen floc. (0.08\%)} = 8.8 \text{ L floc. (0.08\%)}$$

El volumen de floculante al 0.08% necesario para el tratamiento son 8.8 litros por tratamiento, para establecer la cantidad necesaria para realizar la dilución al 0.08% (800 ppm) se plantea:

$$Cantidad\ floc. = 8.8\ L\ sln\ floc.\ (0.08\%) * \frac{800\ mg\ floc.\ puro}{1\ L\ sln\ floc.\ (0.08\%)} * \frac{1\ kg\ floc.\ puro}{1e^6\ mg\ floc.\ puro}$$

$$Cantidad\ floc. = 0.007\ Kg\ floc.\ puro$$

La cantidad de floculante catiónico necesaria para realizar la disolución al 0.08% es 0.007 kg por tratamiento, cuya dilución se realiza hasta completar los 8.8 litros de solución.

En la tabla 19 se muestran las cantidades necesarias para desarrollar el sistema de tratamiento; la cantidad por tratamiento es la dosis requerida de cada sustancia en kilogramos necesaria para tratar el agua residual generada en una jornada laboral y la cantidad mensual equivale a la dosis requerida de cada sustancia en kilogramos necesaria para tratar el agua residual generada en el transcurso de 26 días correspondientes a los días promedio que se laboran al mes. El volumen por tratamiento corresponde a los litros necesarios de las disoluciones de cada sustancia con las correspondientes concentraciones.

Tabla 19. Cantidades de reactivos químicos

Sustancia	Cantidad Por Tratamiento (Kg)	Volumen Por Tratamiento (L)	Cantidad Mensual (Kg)
Hidróxido de calcio	1.1	22	28.6
Sulfato de aluminio	0.53	10.56	13.78
Floculante catiónico	0.007	8.8	0.182

Fuente: elaboración propia

A continuación, se presenta en síntesis las dimensiones determinadas para cada equipo:

Tabla 20. Dimensionamiento básico de los equipos

Equipo Dimensión	Trampa de grasas	Tanque homogeneizador	Tanque clarificador	Filtro carbón activado
Área (m ²)	0.02	0.45	0.36	0.029
Volumen (m ³)	0.014	0.506	0.506	0.048
Diámetro (m)		0.75	0,75	1.1
Altura (m)		1.125	1.396	1.65
Longitud (m)	0.283			
Ancho (m)	0.071			
Profundidad (m)	0.7			1.5

Fuente: elaboración propia

En la tabla 20 se muestra el dimensionamiento básico de los equipos necesarios para la implementación del sistema de tratamiento establecido, entre estos e incluyen la trampa de grasas que busca reducir el contenido de grasas y aceites, el tanque homogeneizador cuya alimentación es impulsada por una bomba centrífuga, que además de almacenar el agua y agitarla para evitar la sedimentación de los sólidos disueltos, permite regular los efectos de la variación del flujo y controlar así el caudal alimentado al tanque clarificador; en este último es donde se lleva a cabo el proceso de clarificación conformado por coagulación, floculación y posterior sedimentación, consta de bombas dosificadoras para la alimentación de los reactivos involucrados y una salida para la disposición de los lodos residuales. Por último, se plantea un tanque de filtración monomedio con carbón activado que elimina posibles residuos sólidos y contribuye a la remoción de materia orgánica resultante. Además del dimensionamiento se determinó la dosificación necesaria para la clarificación. Con este diseño básico de los equipos es posible realizar una determinación de los costos del sistema de tratamiento

5. ANÁLISIS DE COSTOS

En este capítulo se analiza los costos del sistema de tratamiento de aguas residuales planteado y evaluado a nivel laboratorio, teniendo en cuenta el dimensionamiento elaborado con anterioridad, los reactivos químicos involucrados.

5.1 COSTOS DE INVERSIÓN

Los costos de inversión comprenden todos aquellos que incurren en la adquisición de equipos necesarios para la puesta en marcha y el buen funcionamiento del sistema de tratamiento del agua residual industrial, teniendo en cuenta el dimensionamiento, mano de obra, transporte, herramientas y equipos para la instalación. La cotización de los equipos se realizó mediante la empresa Comercial de aguas y Servicios S.A.S, cuyo valor del sistema de tratamiento de aguas se puede ver en el anexo I

Tabla 21. Costo de los equipos

EQUIPO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (COP)	VALOR TOTAL (COP)
Canastilla de retención de gruesos	1	\$1.050.000	\$1.050.000
Trampa de grasas	1	\$2.236.100	\$2.236.100
Tanque Homogeneizador cilíndrico	1	\$2.895.600	\$2.895.600
Tanque, bomba dosificadora y conexión	3	\$1.372.000	\$4.116.000
Modulo coagulación, floculación y sedimentación	1	\$6.049.000	\$6.049.000
Filtro	1	\$1.026.375	\$1.026.375
Bomba autocebante	1	\$1.896.000	\$1.896.000
Bomba de trasiego	1	\$1.190.000	\$1.190.000
Tablero de control para bombas y flotadores	1	\$1.470.000	\$1.470.000
Carbón activado (Kg)	50	\$8.900	\$445.000
Gravas y arenas silicas (Kg)	300	\$1.050	\$315.000
Tuberías de interconexión hidráulica	1	\$980.000	\$980.000

Tabla 21. (Continuación)

EQUIPO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (COP)	VALOR TOTAL (COP)
Tuberías de interconexión eléctrica	1	\$980.000	\$980.000
Herramienta y equipo	-	\$1.235.954	\$1.235.954
Transporte	-	\$1.180.000	\$1.180.000
Mano de obra	-	\$1.002.000	\$1.002.000
COSTO DIRECTO	\$28.137.029		
Administración	10%	\$2.813.703	
Imprevisto	5%	\$1.406.851	
Utilidad	5%	\$1.406.851	
IVA	19%	\$267.301,77	
COSTO TOTAL SISTEMA DE TRATAMIENTO			\$34.031.736,27

Fuente: Comercial de aguas y servicios S.A.S

5.2 COSTOS DE OPERACIÓN

Los costos operacionales corresponden a los insumos y materias primas involucradas en el sistema de tratamiento de aguas residuales, el consumo energético y la mano de obra necesarios para mantener el buen funcionamiento del sistema.

5.2.1 Materias primas e insumos. Según el sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes del proceso productivo de saborizantes artificiales evaluado a nivel laboratorio, se establece la cantidad necesaria del alcalinizante, coagulante y floculantes para tratar 440L de agua residual industrial. El costo de las sustancias químicas se realiza anualmente teniendo en cuenta que el tratamiento se va realiza diariamente.

- **Costo alcalinizante:** para alcalinizar 440L agua residual industrial, se usarán 1.1 Kg de Hidróxido de Calcio puro el cual se diluirá en 22 litros de agua para obtener una concentración de 5%. El kilogramo de Hidróxido de Calcio tiene un costo de \$ 1011,48, con base a los precios otorgado por la empresa Quinsa (ver anexo J) el costo total anual es de 346.900 COP

$$1011,48 \frac{COP}{Kg} * 343 Kg = 346.900 COP$$

- **Costo coagulante:** para coagular 440L de agua residual industrial, se usarán 0,53 Kg de Sulfato de Aluminio puro el cual se diluirá en 10.6 litros de agua para obtener una concentración de 5%. El kilogramo de Sulfato de Aluminio tiene un costo de \$1487,12, con base a los precios otorgado por la empresa Quinsa (ver anexo J) el costo total es de 245.375 COP

$$1487,12 \frac{COP}{Kg} * 165 Kg = 245.375 COP$$

- **Costo floculante catiónico:** para coagular 440L de agua residual industrial, se usarán 0.007 Kg de Floculante catiónico el cual se diluirá en 9 litros de agua para obtener una concentración de 0,08%. El kilogramo de floculante catiónico tiene un costo de \$ 24.300, con base a los precios otorgado por la empresa Lipesa (ver anexo K) el costo total es de 534.600 COP

$$24.300 \frac{COP}{Kg} * 22Kg = 534.600 COP$$

Tabla 22. Costo de los insumos

Compuesto Químico	Presentación	Costos (COP/Kg)	Costo Total Anual (COP)
Hidróxido de Calcio	Solido	\$ 1011,48	\$ 346.900
Sulfato de Aluminio	Solido	\$1487,12,	\$ 245.375
Floculante catiónico	Solido	\$ 24.300	\$534.600
COSTO TOTAL ANUAL			\$1.126.875

Fuente: elaboración propia

5.2.2 Costo operativo. Se recomienda a la empresa contratar un operario que se encargue del funcionamiento y el mantenimiento del sistema de tratamiento establecido. En la tabla 23 se estipulan los gastos que puede incurrir un operario. El salario mínimo vigente para el año 2018 es de 781.242 COP.

Tabla 23. Costo operativo

Item	Valor Mensual	Valor Anual
Salario mínimo vigente	\$ 781.212,00	\$ 9.374.544
Auxilio de transporte	\$ 88.211,00	\$ 1.058.532
Vacaciones	\$ 32.576,50	\$ 390.918
Cesantías	\$ 65.074,90	\$ 780.898,80
Intereses de las cesantías	\$ 650,75	\$ 7.809
Prima de servicios	\$ 65.074,90	\$ 780.898,80
Salud	\$ 70.309,08	\$ 843.708,96
Pensión	\$ 156.242,40	\$ 1.874.908,80
Total	\$ 1.259.351,53	\$ 15.112.218,36

Fuente: elaboración propia

5.3 COSTOS DE CARACTERIZACIÓN

Para tener controlada la eficiencia de sistema de tratamiento se realizarán dos caracterizaciones anuales, verificando que los parámetros del agua residual tratada estén cumpliendo con la resolución 631 de 2015, artículo 13 “fabricación de sabores y fragancias”. El costo según los parámetros a evaluar se muestra en la tabla 24, realizado por el laboratorio BIOPOLAB (ver anexo L). La caracterización se hará mediante un muestreo compuesto a la salida del sistema de tratamiento de agua

Tabla 24. Costo caracterización de agua residual industrial

PARÁMETRO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
pH	34	\$ 4.000	\$ 136.000
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	2	\$ 42.000	\$ 84.000
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)	2	\$ 42.000	\$ 84.000
Sólidos Sedimentables (SSED)	16	\$ 5.500	\$ 88.000
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	2	\$ 15.000	\$ 30.000

Tabla 24. (Continuación)

PARÁMETRO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Grasas y Aceites	2	\$ 52.500	\$ 105.000
Fenoles	2	\$ 52.500	\$ 105.000
Formaldehido	2	\$ 840.000	\$ 1.680.000
Sustancias Activadas al Azul de Metileno (SAAM)	2	\$ 47.250	\$ 94.500
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos	2	\$ 308.000	\$ 616.000
Cloruros	2	\$ 15.000	\$ 30.000
Sulfatos	2	\$ 15.000	\$ 30.000
Acidez total	2	\$ 10.000	\$ 20.000
Alcalinidad Total	2	\$ 10.500	\$ 21.000
Dureza Cálcica	2	\$ 10.500	\$ 21.000
Dureza Total	2	\$ 10.500	\$ 21.000
Color Real	2	\$ 20.500	\$ 41.000
Temperatura	34	\$ 1.000	\$ 34.000
Caudal	34	\$ 3.500	\$ 119.000
Elaboración de informe técnico	2	\$ 180.000	\$ 360.000
Servicio Muestreo Compuesto por 8 horas	2	\$ 250.000	\$ 500.000
		Subtotal	\$ 4.219.500
		IVA 19%	\$ 801.705
		VALOR TOTAL	\$ 5.021.205

Fuente: Laboratorio Biopolab

5.4 COSTOS TOTALES

Los costos totales para el sistema de tratamiento incluyen la inversión inicial para la puesta en marcha teniendo presente que este costo solo se realiza una vez, ya que su estructura no va a cambiar; también se incluyen los costos operacionales anuales requeridos y los costos de la caracterización de agua residual. A partir de la información suministrada para el primer año de operación el valor es de \$55.292.034,63

Tabla 25. Costos totales

Parámetro	Valor (Cop)
Costos de inversión	\$34.031.736,27
Costo operacionales	\$16.239.093,36
Costos caracterización agua residual	\$5.021.205
COSTO TOTAL	\$55.292.034,63

Fuente: elaboración propia

6. CONCLUSIONES

- Los vertimientos generados en la producción de saborizantes artificiales no cumplen con los valores máximos permisibles estipulados en el artículo 16 de la resolución 0631 de 2015 en los parámetros DQO, DBO₅, sólidos suspendidos totales y aceites y grasas, los valores arrojados en el análisis fisicoquímico fueron 3410 mg/L, 1600 mg/L, 166 mg/L Y 270 mg/L respectivamente.
- De acuerdo a la comparación de las ventajas entre las alternativas de tratamiento planteadas para la remoción de los contaminantes y los resultados obtenidos en la caracterización, se propuso la clarificación seguida de una filtración como el sistema de tratamiento más viable para las aguas residuales.
- Mediante la experimentación realizada a nivel laboratorio en el test de jarras, se determinó que el coagulante más eficaz para la clarificación es el sulfato de aluminio (5% p/p) y el floculante catiónico.
- Se determinó que el sistema de tratamiento es efectivo en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales generadas en la producción de saborizantes artificiales, logrando una remoción de 96.3% en el contenido de aceites y grasas, 82.8% en el DBO₅, 87.4% en el DQO y de 81% en los sólidos suspendidos totales, permitiendo el cumplimiento de la resolución 0631 de 2015.
- De acuerdo al sistema de tratamiento propuesto y los resultados obtenidos en la experimentación se determinaron los parámetros mínimos de diseño de cada uno de los equipos requeridos y se estableció la dosificación necesaria para su implementación.
- De acuerdo al análisis de costos se determinaron los costos del proyecto teniendo en cuenta los costos de inversión de los equipos, los insumos requeridos anualmente, los costos de energía y costos de mano de obra. El cual arroja un costo total \$55.292.034,63

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la instalación de una planta piloto, con el fin de verificar que todos los parámetros cumplan con la resolución colombiana 631 de 2015 para el vertimiento de efluentes industriales.
- Realizar el balance energético del sistema de tratamiento de agua.
- Evaluar la electrocoagulación y el tratamiento por lodos activados como alternativas para la remoción de la carga contaminante presente en el agua residual industrial y determinar sus porcentajes de remoción.

BIBLIOGRAFIA

ACOSTA Diego and LAVERDE Daniel. Diseño conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la empresa transportadora escolar Camargo hermanos S.A.-TECH S.A.; Fundación Universidad de América, 2017. p. 30.

Activated Sludge Process, Design Criteria. May 5,. [Consultado el Nov15, 2018]. Disponible en: <http://www.engineeringarticles.org/activated-sludge-process-design-criteria-advantages-disadvantages/>

Aguas residuales industriales. Mar 13,. [Consultado el Sep 14,2018]. Disponible en: <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact-36-industrial-wastewater/>

AGUASISTEC. Planta de tratamiento de agua. Retrieved from <http://www.aguasistec.com/planta-de-tratamiento-de-agua.php>

ALIANZA POR EL AGUA. Manual de depuración de aguas residuales urbanas. España.

ANDIA CARDENAS, Yolanda. Tratamiento de agua coagulación y floculación. 2000. p. 1-44.

ARAQUE PINZÓN, M. (2012). Propuesta de diseño de un módulo de tratamiento de aguas residuales para pequeñas empresas de jugos cítricos en Bogotá

ARAQUE PINZÓN, Mariana. Propuesta de diseño de un módulo de tratamiento de aguas residuales para pequeñas empresas de jugos cítricos en Bogotá. Pontificia Universidad Javeriana, 2012. p. 10.

ARNÁIZ, C., LEBRATO, J., & ISAC, L. (2000). Tratamiento biológico de aguas residuales; Revista Tecnología Del Agua, 1-2. Retrieved from http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/Tratamiento_biologico_edar.pdf

BARCIELA, Fernando. Factorías de sabores y olores. En: EL PAÍS. Madrid. Oct 5.

BERKOWIT, Deborah. Industria Alimentaria. En: Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. Madrid: Chantal Dufresne, BA, 2001. 67.34 p.

CALDERÓN BENAVIDES, Alejandra María, et al. Estudio comparativo de la aplicación de Zeolita activada y Carbón activado en el tratamiento de aguas residuales de la fabricación de pinturas base agua. Universidad de El Salvador, 2016.

Carbotecnia. el Carbón activado en el tratamiento de aguas residuales. [Consultado el Oct 5,2018]. Disponible en: <https://www.carbotecnia.info/PDF/boletines/AR-001.pdf>

Clasificación de aguas residuales industriales. (2002). Ambientum, Retrieved from http://www.ambientum.com/revista/2002_22/CLS FCCNG1_imprimir.htm.

Dègremont. (2003). PRETRATAMIENTOS; Retrieved from http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/pretratamientos_degremont.pdf

Departamento de asuntos económicos y sociales de Naciones Unidas. Decenio Internacional para la Acción 'El agua, fuente de vida' 2005-2015. Áreas temáticas: Escasez de agua. [Consultado el Nov 20,2018]. Disponible en: <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml>

DÍAZ CLAROS, José Nahum. Coagulantes-floculantes orgánicos e inorgánicos elaborados de plantas y del reciclaje de la chatarra, para el tratamiento de aguas contaminadas 2014.

El problema de la contaminación hídrica - ECOLOGÍA. [Consultado el Nov 21,2018]. Disponible en: https://www.fundacionaquae.org/wikiexplora/35_contaminacion/index.html

Encuesta Industrial Ambiental (EAI), 2016. Bogotá D.C: 2018. 13

Flavour production. September 17, [Consultado el October 2, 2018]. Disponible en: <https://www.brewdeersjournal.info/flavour-production-in-a-nutshell/2/>

GALVIS GONZALEZ, Nubia Janeth. Ensayos de tratabilidad del agua una herramienta concluyente para el diseño de plantas de potabilización; Universidad de Manizales, 2014. p. 56.

GARCIA-SEGURA, Sergio, et al. Electrocoagulation and advanced electrocoagulation processes: A general review about the fundamentals, emerging applications and its association with other technologies. En: JOURNAL OF ELECTROANALYTICAL CHEMISTRY. vol. 801, p. 267-299

GERNAEY, Krist V., et al. Activated sludge wastewater treatment plant modelling and simulation: state of the art. En: ENVIRONMENTAL MODELLING & SOFTWARE. vol. 19, no. 9, p. 763-783

Gestión ambiental municipal. (2011, Nov 7,). Tratamiento de depuración de aguas II: Tratamientos convencionales. Retrieved from <http://tecnicoambientalenreciclaje.blogspot.com/2011/11/tratamiento-de-depuracion-de-aguas-ii.html>

GOMEZ PUNTES, Néstor. Remoción de materia orgánica por coagulación - floculación. Universidad Nacional de Colombia, 2005. p. 1-113.

HAKIZIMANA, Jean Nepo, et al. Electrocoagulation process in water treatment: A review of electrocoagulation modeling approaches. En: DESALINATION. vol. 404, p. 1-21

HERNANDEZ ARIZALA, Diana and LEAL, Paula. Ingeniería básica de un sistema para el tratamiento de aguas residuales en Cárnicos Rico Jamón; Fundación Universidad de América, 2009.

HERNANDEZ, Mario. Desarrollo; de sabores para; la industria alimentara en SYMRIRE, S de R.L. de C.V. Instituto Politécnico Nacional, 2013. p. 1-30.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogotá D.C.: El instituto, 2018. ISBN 9789588585673 153 p,

LEE, Chai Siah; ROBINSON, John and CHONG, Mei Fong. A review on application of flocculants in wastewater treatment. En: PROCESS SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION. vol. 92, no. 6, p. 489-508

LEE,C. C. and LIN, Shun Dar. Handbook of environmental engineering calculations. McGraw Hill, 2007.

LEITON SALAMANCA, Miguel Ángel and SEDANO CABRERA, Paula Andrea. Desarrollo de una propuesta de mejora para la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa de lácteos Inversiones Fasulac LTDA. Fundación Universidad de América, 2017. p. 72.

LORENZO-ACOSTA, Yaniris. Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. En: ICIDCA.SOBRE LOS DERIVADOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR. vol. 40, no. 2, p. 10-17

MARCÓ, Leandro, et al. La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina). En: REVISTA DE HIGIENE Y SANIDAD AMBIENTAL. vol. 4, p. 72-82

MARTÍNEZ Delgadillo, S. A., & Rodríguez Rosales, M. G. (2005). Sedimentación de lodos biológicos; In S. Guzmán Bofill (Ed.), Tratamiento de aguas residuales con MATLAB (pp. 100). Barcelona, España: Editorial Reverté S.A.

MARTÍNEZ Nodal, Pastora de la C, et al. Minimización del impacto ambiental de las aguas oleosas mediante columna rellena con bagazo de caña de azúcar. En: CENTRO AZÚCAR. Mar 1, vol. 43, no. 1, p. 61-69

MELO Anyi and Sacristán Juliana. Evaluación de la remoción de nitratos por electrocoagulación. Fundación Universidad de América, 2018. p. 31.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 631 de 2015.

MOUSSA, Dina T., et al. A comprehensive review of electrocoagulation for water treatment: Potentials and challenges. En: JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. vol. 186, p. 24-41

NASR, Fayza A.; BADR, Nagwa M. and DOMA, Hala S. Flavour industry wastewater management case study. En: ENVIRONMENTALIST. vol. 26, no. 1, p. 31-39

ONLINE, Cosmos. Información técnica de los Saborizantes en polvo. Jun 12, [Consultado el Sep 2, 2018]. Disponible en: <https://www.cosmos.com.mx/wiki/saborizantes-en-polvo-4ffd.html>

PAVÓN-SILVA, Thelma, et al. Physicochemical and biological combined treatment applied to a food industry wastewater for reuse. En: JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCE AND HEALTH, PART A. vol. 44, no. 1, p. 108-115

PEREZ, Jessica. Evaluación De La Sustitución Del Agente Coagulante - Sulfato De Aluminio- En El Proceso Actual De Coagulación-floculación De Agua Potable En La Empresa Eaf Sas Esp; Fundación Universidad De América, 2013. p. 48.

PERU, Marketing. Efectos de las aguas residuales en el medio ambiente. Sep 28, [Consultado el Oct 13,2018]. Disponible en: <http://www.quimtiamedioambiente.com/blog/efecto-aguas-residuales-medio-ambiente/>

RAMALHO, R. S. (1996). Pretratamiento y tratamientos primarios. Tratamiento de aguas residuales (pp. 92-93). Barcelona: Editorial Reverté S.A.

RAVANAL, Julián Matías. Estudio del efecto de la arcilla caolinita en la velocidad de sedimentación y Yield stress empleando floculante aniónico y catatónico en pulpas de cuarzo; Universidad de Concepción, 2017. p. 1-72.

Redacción Ambientum. (2003). Pretratamiento de la EDAR. Revista Ambientum, Retrieved from https://www.ambientum.com/revista/2003_05/EDAR.htm

Redacción Ingeoexpert. (2017, Jul 10,). Tratamientos físicos en las tecnologías de depuración de aguas residuales. Retrieved from <https://ingeoexpert.com/articulo/tratamientos-fisicos-las-tecnologias-depuracion-aguas-residuales/>

REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO RAS - 2000. Tratamiento de aguas residuales; (Nov, 2000)

REGLAMENTO TÉCNICO MERCOSUR DE ADITIVOS AROMATIZANTES/SABORIZANTES; [Consultado el Sep 1,2018]. Disponible en: <http://www.sice.oas.org/Trade/MRCSRS/Resolutions/AN4693.asp>.

RIBORDY,P., et al. Electrochemical versus photochemical pretreatment of industrial wastewaters. En: WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY. vol. 35, no. 4, p. 293-302

RODRÍGUEZ RAMÍREZ, Carol Luciana and ZAPATA JÁUREGUI, Cristina. Influencia del ph, concentración de coagulante a base de aluminio y floculante en la remoción de sulfuros, sólidos suspendidos, demanda química y biológica de oxígeno de efluentes de rivera en curtiembres. Universidad Nacional de Trujillo, 2015. p. 46.

ROMEO ROJAS, Jairo Alberto. ACUAPURIFICACIÓN. Diseño de sistemas de purificación de agua. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 1995. 52-56 p.

ROMEO ROJAS, Jairo Alberto. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. teoría y principios del diseño; Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008. 1090 p.

SALAZAR PÉREZ, Cristina. Adsorción de fluoruro por alúmina activada. Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Tecnología, 2016. p. 1-134.

SALGOT, Miguel; FOLCH, Montserrat and UNIT, Soil Science. Wastewater treatment and water reuse. En: CURRENT OPINION IN ENVIRONMENTAL SCIENCE & HEALTH.

SÁNCHEZ Martínez, H. (2014). Tratamiento químico de aguas residuales. Retrieved from <https://prezi.com/fbwg5wwtruft/tratamiento-quimico-de-aguas-residuales/>

SECTORES BASADOS EN RECURSOS BIOLÓGICOS. INDUSTRIA ALIMENTARIA.

SEMERJIAN, L. and AYOUB, G. M. High-pH–magnesium coagulation–flocculation in wastewater treatment. En: ADVANCES IN ENVIRONMENTAL RESEARCH. vol. 7, no. 2, p. 389-403

SICCHA, Ana and UGLAZ DE LOCK, Olga. secado por atomización (spray driver). En: REVISTA DE QUÍMICA. Junio,.Vol. 10, p. 39

TUMIRI, Janeth Fidelia Luque. ¿Qué son los lodos activados? [Consultado el Oct 15,2018]. Disponible en: <http://natzone.org/index.php/nosotros/presentacion/13-frontpage-blog/contaminacion-y-tratamiento/352-que-son-los-lodos-activados>

VARGAS, Lidia. Coagulación. En: Martel Barrenechea ed. Tratamiento de agua para el consumo humano. Lima: 2004. 151-220 p.

VARGAS, Mariacruz and ROMERO, Luis. Desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en países en desarrollo; instituto tecnológico de Costa Rica, 2010. p. 1-148.

VERMA, Akshaya Kumar; DASH, Rajesh Roshan and BHUNIA, Puspendu. A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. En: JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. vol. 93, no. 1, p. 154-168

VIDALES OLIVO, Amelia; LEOS MAGALLANES, Marina Yasabel and CAMPOS SANDOVAL, María Gabriela. Extracción de Grasas y Aceites en los Efluentes de una Industria Automotriz. En: CONCIENCIA TECNOLÓGICA. Vol. 40, p. 29-34

ANEXOS

**ANEXO A.
RESULTADOS MUESTREO**

No. muestra	Alícuotas (ml)	Hora de toma	pH (unidades)	Temperatura (°C)	Caudal (L/s)
1	170	6:00	7,72	16,3	0,0414
2	210	6:30	7,69	16	0,0504
3	290	7:00	8,34	17,4	0,0694
4	260	7:30	8,42	16,9	0,0621
5	270	8:00	8,45	17,2	0,0649
6	340	8:30	5,55	16,6	0,081
7	-	9:00	-	-	0
8	-	9:30	-	-	0
9	260	10:00	8,23	16,4	0,0615
10	340	10:30	7,6	18	0,0805
11	310	11:00	7,56	17,8	0,0742
12	300	11:30	7,59	17,5	0,0703
13	290	12:00	7,62	17,7	0,0679
14	370	12:30	7,74	17,9	0,0646
15	260	13:00	7,83	18,3	0,0613
16	260	13:30	7,67	18,5	0,0609
17	250	14:00	7,72	18,2	0,0585

**ANEXO B.
RESULTADOS REPLICA DESARROLLO EXPERIMENTAL**

Selección Del pH De Trabajo Agua Residual Diluida Al 1: 4

Parámetro	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4
Dosificación de NaOH (ppm)	110	150	200	300
Dosificación coagulante (ppm)	100	160	200	340
Turbidez (NTU)	278,4	115,65	86,01	42,8
% Remoción de turbidez	49,54%	79,04%	84,41%	92,24%
pH inicial	9	10	11	12
pH final	7	7,2	7,16	7,02
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	198,7	308,9	716,3	856,2

Fuente. Elaboración propia

Selección Del Ph De Trabajo Agua Residual Diluida Al 1: 4

Parámetro	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4
Dosificación De Ca(OH) ₂ (Ppm)	100	110	350	500
Dosificación Coagulante (Ppm)	6	14	50	200
Turbidez (NTU)	141,5	81,25	53,49	27,37
% Remoción De Turbidez	74,35%	85,27%	90,30%	95,04%
Ph Inicial	9	10	11	12
Ph Final	7,3	7	7,1	7,2
Sólidos Suspendidos Totales (Mg/L)	549,1	668,2	1022,4	1308,32

Fuente: elaboración propia

Selección Floculante

Parámetro	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4
Base	Ca(OH) ₂	Ca(OH) ₂	Naoh	Naoh
Dosificación Base (Ppm)	500	500	300	300
Dosificación Coagulante (Ppm)	340	340	340	340
Tipo De Floculante	Aniónico	Catiónico	Aniónico	Catiónico
Dosificación Floculante 0,8 Ppm	3,2	3,2	3,2	3,2
Turbidez (NTU)	20,4	7,02	31,25	21,2
% Remoción De Turbidez	96,30%	98,73%	94,34%	96,16%
Ph Inicial	12	12	12	12
Ph Final	7,1	7,3	7,2	7,6

Fuente: elaboración propia

Evaluación Policloruro De Aluminio

Parámetro	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3
Dosificación De Ca(OH) ₂ (Ppm)	500	500	500
Dosificación De Coagulante (Ppm)	80	150	200
Dosificación Floculante (Ppm)	3,2	3,2	3,2
Turbidez (NTU)	291,8	4,02	9,58
% Remoción De Turbidez	47,11%	99,27%	98,26%
Ph Final	7,02	7,06	7,09
Sólidos Suspendidos Totales (Mg/L)	298,7	948,62	613,29
Índice De Willcomb	2	8	6

Fuente: Elaboración propia

Evaluación Cloruro Férrico

Parámetro	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3
Dosificación De Ca(OH) ₂ (Ppm)	500	500	500
Dosificación De Coagulante (Ppm)	400	500	600
Dosificación Floculante (Ppm)	3,2	3,2	3,2
Turbidez (NTU)	7,1	6,84	3,58
% Remoción De Turbidez	98,71%	98,76%	99,35%
Ph Final	6,15	6,56	6,25
Sólidos Suspendidos Totales (Mg/L)	1035,89	945	1020,4
Índice De Willcomb	7	7	8

Fuente. Elaboración propia

Evaluación Sulfato De Aluminio

Parámetro	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3
Dosificación De Ca(OH) ₂ (Ppm)	500	500	500
Dosificación De Coagulante (Ppm)	220	240	340
Dosificación Floculante (Ppm)	3,2	3,2	3,2
Turbidez (NTU)	11,2	2,02	7,15
% Remoción De Turbidez	97,97%	99,63%	98,70%
Ph Final	7,3	7,7	7,02
Sólidos Suspendidos Totales (Mg/L)	874,5	1634,8	1105,5
Índice De Willcomb	6	8	7

Fuente: Elaboración propia

Resultados Agua Residual Industrial Cruda

Parámetro	Al(SO ₄) ₃ 5%	Pac 5%	FeCl ₃ 10%
Dosificación De Ca(OH) ₂ (Ppm)	2500	2500	2500
Dosificación De Coagulante (Ppm)	1200	1500	1500
Dosificación Floculante (Ppm)	16	16	16
Turbidez (NTU)	45,25	271,5	861,5
% Remoción De Turbidez	95,89%	75,32%	21,68%
Ph Final	7,3	6,53	7,09
Sólidos Suspendidos Totales (Mg/L)	7562	4735	-
Índice De Willcomb	8	8	8

Fuente: elaboración propia

**ANEXO C.
RESULTADOS PRUEBA DE SEDIMENTACIÓN**

	SULFATO DE ALUMINIO	PAC
tiempo (min)	V suspensión (ml)	V suspensión (ml)
0	250	250
2	170	200
4	120	170
6	100	140
8	90	120
10	87	110
12	80	99
14	78	96
16	76	94
18	74	90
20	73	88
22	71	86
24	68	84
26	66	80
28	64	76
30	63	74
32	59	71
34	57	70
36	55	69
38	53	69
40	52	68
42	51	68
44	50	67
46	49	66
48	48	65
50	47	64
52	46	63
54	45	62
56	44	61
58	43	60
60	42	58

ANEXO D. RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO AGUA RESIDUAL TRATADA CON SULFATO DE ALUMINIO



Código: F-ER-02
Versión: 2
Fecha: 26/01/2016

RESULTADOS DE ANÁLISIS AGUAS



INFORME DE RESULTADOS N°:				28835			
CLIENTE:	BERNAL ZAMORA RUTH PATRICIA			CANTIDAD:	2100 ml	RESPONSABLE MUESTREO:	CLIENTE
NIT:	39721359-4	COTIZACIÓN N°:	18R-734	FECHA DE MUESTREO:	10/19/2018	T (° C) MUESTREO:	N.E.
TELÉFONO:	3506667301	ODS:	18-4603	FECHA DE RECIBIDO:	10/19/2018	DESCRIPCIÓN:	ARnD
CONTACTO:	WINNY JIMENA PRIETO BERNAL			TIPO DE EMPAQUE:	P/V	TIPO DE MUESTREO:	Puntual.
CARGO:	Estudiante ing. Quím			PUNTO DE CAPTACIÓN/ Orden de servicio cliente:	2.-Muestra sulfato 3%		
DIRECCIÓN:	CALLE 24 B No 75-74			LUGAR DE RECOGIDA:	N.E		
CIUDAD:	Bogotá			ALMAC. CONTRAMUESTRA:	Análisis FQ: 15 días	Análisis MB: 24 horas	
ID. MUESTRA:	18-11307						

Físicoquímica

FECHA DE ANÁLISIS	PARÁMETRO	RESULTADO	LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN	UNIDADES	TÉCNICA ANALÍTICA	MÉTODO	NO SE COMPARA CONTRA NINGUNA NORMA	CONFORMIDAD
10/19/2018	pH(A)	7,7	0,5	Unidad de pH	Electrometric Method.	SM 4500-H+ B.	NO ESPECIFICA	NO APLICA
10/23/2018	DQO (A)	429	16,6	mg O2/L	Closed Reflux, Titrimetric Method	SM 5220 C.	NO ESPECIFICA	NO APLICA
10/19/2018	DBO5 (A)	276	20,6	mg O2/L	5-Day BOD Test.	SM 5210 B, ASTM D888-12 Método C	NO ESPECIFICA	NO APLICA
10/25/2018	Sólidos Suspendedos Totales (A)	32	11,6	mg/L	Secado a 104°C Gravimetrico	SM 2540 D.	NO ESPECIFICA	NO APLICA
10/31/2018	Grasas y Aceites(A)	<9,97	9,97	mg/L	Extracción líquido - líquido, partición gravimétrica.	S.M. 5520 B	NO ESPECIFICA	NO APLICA

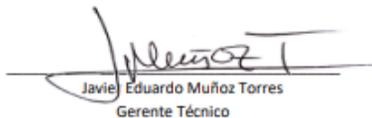
* Análisis subcontratados

Los valores de pH, Caudal, Temperatura, Oxígeno Disuelto y Sólidos sedimentables fueron medidos in situ.

(A) Análisis acreditado por BIOPOLAB ante el IDEAM

-Estos resultados son válidos únicamente para esta muestra recibida y analizada en el Laboratorio de Físicoquímica de Biopolab.
 - Este informe de resultados no se puede reproducir y solo aplica para los resultados de la muestra analizada.
 - Cualquier inquietud o reclamación puede ser presentada a nuestra compañía ya sea vía telefónico, o al correo e inmediatamente sera atendida
 - La muestra será almacenada 15 días para eventuales repeticiones o inquietudes con los análisis y resultados.

Documento aprobado por:


 Javier Eduardo Muñoz Torres
 Gerente Técnico

P. Químico de Alimentos. Matrícula Profesional PQA-495

ANEXO E. RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO AGUA RESIDUAL TRATADA CON POLICLORURO DE ALUMINIO



Código: F-EH-02
Versión: 2
Fecha: 26/01/2016

RESULTADOS DE ANÁLISIS AGUAS



Accreditación IDEAM
Resolución 1433
Junio 28 de 2014



ALCALDIA MAYOR
DE BOGOTÁ D. C.
SECRETARÍA DE
SALUD DE BOGOTÁ



INSTITUTO
NACIONAL DE
SALUD

INFORME DE RESULTADOS N°: 28836								
CLIENTE: BERNAL ZAMORA RUTH PATRICIA			CANTIDAD: 2100 ml			RESPONSABLE MUESTREO: CLIENTE		
NIT: 39721359-4		COTIZACIÓN N°: 18R-734		FECHA DE MUESTREO: 10/19/2018		T (° C) MUESTREO: N.E.		
TELÉFONO: 3506667301		ODS: 18-4603		FECHA DE RECIBIDO: 10/19/2018		DESCRIPCIÓN: ARnD		
CONTACTO: WINNY JIMENA PRIETO BERNAL			TIPO DE EMPAQUE: P/V			TIPO DE MUESTREO: Puntual.		
CARGO: Estudiante ing. Quím			PUNTO DE CAPTACIÓN/ Orden de servicio cliente:			1-Muestra PAC 5 %.		
DIRECCIÓN: CALLE 24 B No 75-74			LUGAR DE RECOGIDA: N.E					
CIUDAD: Bogotá			ALMAC. CONTRAMUESTRA: Análisis FQ: 15 días			Análisis MB: 24 horas		
ID. MUESTRA: 18-11306								
Fisicoquímica								
FECHA DE ANÁLISIS	PARÁMETRO	RESULTADO	LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN	UNIDADES	TÉCNICA ANALÍTICA	MÉTODO	NO SE COMPARA CONTRA NINGUNA NORMA	CONFORMIDAD
10/19/2018	pH(A)	7,6	0,5	Unidad de pH	Electrometric Method.	SM 4500-H+ B.	NO ESPECIFICA	NO APLICA
10/23/2018	DQO (A)	463	16,6	mg O2/L	Closed Reflux, Titrimetric Method	SM 5220 C.	NO ESPECIFICA	NO APLICA
10/19/2018	DBO5 (A)	303	20,6	mg O2/L	5-Day BOD Test.	SM 5210 B, ASTM D888-12 Método C	NO ESPECIFICA	NO APLICA
10/25/2018	Sólidos Suspendidos Totales (A)	67,5	11,6	mg/L	Secado a 104°C Gravimétrico	SM 2540 D.	NO ESPECIFICA	NO APLICA
10/31/2018	Grasas y Aceites(A)	42,3	9,97	mg/L	Extracción líquido-líquido, partición gravimétrica.	S.M. 5520 B.	NO ESPECIFICA	NO APLICA

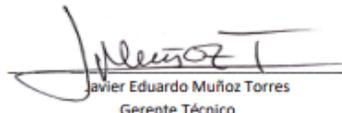
* Análisis subcontratados

Los valores de pH, Caudal, Temperatura, Oxígeno Disuelto y Sólidos sedimentables fueron medidos in situ.

(A) Análisis acreditado por BIOPOLAB ante el IDEAM

-Estos resultados son válidos únicamente para esta muestra recibida y analizada en el Laboratorio de Físicoquímica de Biopolab.
 - Este informe de resultados no se puede reproducir y solo aplica para los resultados de la muestra analizada.
 - Cualquier inquietud o reclamación puede ser presentada a nuestra compañía ya sea vía telefónico, o al correo e inmediatamente sera atendida
 - La muestra será almacenada 15 días para eventuales repeticiones o inquietudes con los análisis y resultados.

Documento aprobado por:


 Javier Eduardo Muñoz Torres
 Gerente Técnico

P. Químico de Alimentos. Matrícula Profesional PQA-495

ANEXO F. FICHAS TÉCNICAS FLOCULANTES



LIPESA 1569 A

POLIMERO CATIONICO

- Ideal para la deshidratación mecánica de lodos orgánicos
- Aplicable a una gran variedad de aguas y efluentes industriales
- Trabaja en un rango amplio de pH: 1,0 - 13,0
- Fácilmente soluble en agua
- Excelente relación costo-rendimiento: Trabaja a dosis muy bajas

Usos principales

LIPESA 1569 A ha sido especialmente formulado para ser utilizado en la deshidratación mecánica de lodos provenientes de procesos de clarificación y espesamiento de efluentes industriales, especialmente los orgánicos. LIPESA 1569 A tiene también aplicación en la clarificación y espesamiento de aguas industriales y procesos varios. LIPESA 1569 A cumple con los requisitos para su uso en agua potable según la normativa NSF/ANSI Standard 60.

Descripción General

LIPESA 1569 A es un polímero sólido de "alto peso molecular", ligeramente catiónico, con las siguientes características:

Color:	Blanco
Olor:	Inodoro
pH al 0,5%:	2,50 – 4,50
Densidad:	~ 0,800 g/m ³
Solubilidad:	0,5 % en agua
Viscosidad (cP):	~ 560 al 0,5 % ~ 260 al 0,25 % ~ 120 al 0,1 %

Dosis

La dosis de LIPESA 1569 A varía de acuerdo al tipo de proceso y efluente tratado. La dosis típica es:

- Espesamiento y clarificación: 0,1 a 300 g/m³

En todo caso, el representante Técnico LIPESA le asesorará en el establecimiento de la dosis adecuada a su situación particular.

Modo de Empleo y Alimentación

LIPESA 1569 A se debe alimentar de manera continua al proceso, en un punto de buena agitación y mezcla, a través de bombas dosificadoras de acero dulce o cualquier otro material. Para obtener el mejor rendimiento del producto, se debe preparar en soluciones hasta un 0,5% de concentración y alimentar luego al 0,1% de concentración como máximo.

El tiempo de preparación de las soluciones de LIPESA 1569 A es de 40 minutos. Se recomienda realizarlo de la siguiente manera:

- Agregarlo lentamente al agua mientras se agita. Esto evita la formación de grumos o apelmazamiento.
- Agitar suavemente durante 10 – 20 minutos.
- Dejar en reposo durante 5 – 10 minutos.
- Y finalmente, agitar por 10 – 25 minutos.

La inyección del producto deberá hacerse en un punto de buena mezcla y en todo caso dependerá de sistema de tratamiento usado. El Representante Técnico LIPESA le asesorará en el establecimiento del sitio adecuado para la inyección del producto, bien sea en estaciones de tratamiento o en aplicaciones especiales.



LIPESA 1538

POLIMERO ANIÓNICO

- Ideal para la deshidratación mecánica de lodos inorgánicos o minerales.
- Aplicable a una gran variedad de aguas y efluentes industriales.
- Trabaja en un rango amplio de pH: 1.0 – 12.0
- Fácilmente emulsionable en agua.
- Excelente relación costo-rendimiento: Trabaja a dosis muy bajas

Usos principales

LIPESA 1538 ha sido especialmente formulado para ser utilizado en la deshidratación mecánica de lodos, provenientes de procesos de clarificación y espesamiento de efluentes industriales, especialmente los minerales. **LIPESA 1538** tiene también aplicación en la clarificación y espesamiento de aguas industriales y muchos otros procesos como el papelerero y azucarero.

Descripción General

LIPESA 1538 es un polímero sólido de "muy alto peso molecular", fuertemente aniónico, con las siguientes características:

Forma:	Sólido
Color:	Blanco
Olor:	Inodoro
Densidad:	800 Kg/m³ aprox.
Solubilidad:	1.0% en agua.
Viscosidad:	2000 cPs aprox. a 5.0g/l
	1000 cPs aprox. a 2.5 g/l
	300 cPs aprox. a 1.0g/l

Dosis

Las dosis de **LIPESA 1538** varía de acuerdo al tipo de proceso y efluente tratado. Las dosis típicas son:

- Deshidratación mecánica: 10 - 150 g/m³
- Espesamiento y clarificación: 0.05 – 30 g/m³

En todo caso, el Representante Técnico LIPESA le asesorará en el establecimiento de la dosis adecuada a su situación particular.

Modo de empleo y alimentación

LIPESA 1538 se debe alimentar de manera continua al proceso, en un punto de buena agitación y mezcla, utilizando bombas de dosificación de acero dulce o cualquier otro material. Para obtener el mejor rendimiento del producto, se debe preparar en soluciones hasta un 0.5% de concentración y alimentar luego al 0.1% de concentración como máximo.

El tiempo de preparación de las soluciones de **LIPESA 1538** es de 40 minutos. Se recomienda realizarlo de la siguiente manera:

- Agregarlo lentamente al agua mientras se agita. Esto evita la formación de grumos o apelmazamiento.
- Agitar suavemente durante 10 – 15 minutos
- Dejar en reposo durante 5 -10 minutos.
- Y finalmente, agitar por 15 – 20 minutos

**Despacho y almacenamiento**

LIPESA 1538 se despacha en bolsas de 25 Kg y 750Kg. Se recomienda almacenarlo en un lugar seco y fresco. Mantener los envases cerrados para evitar la hidratación. No almacenar por más de doce meses en planta.

Manejo y Seguridad

LIPESA 1538 no presenta riesgos en su manejo. Como todo producto químico, evite el contacto con piel y ojos. No lo ingiera. En caso de contacto con los ojos, piel y ropa, lavarse con mucho agua. Si se presenta irritación en los ojos, acudir inmediatamente a un médico.

RM – 08/07

Rev. 0

ANEXO G. FICHAS DE SEGURIDAD COAGULANTES

- Policloruro de aluminio



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Nombre del Producto: POLICLORURO DE ALUMINIO LIQUIDO
Fecha de Revisión: Febrero 2016. Revisión N°2



SECCION 1: IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA

PRODUCTO

Nombre Químico: Policloruro de Aluminio (PAC)
Número CAS: 1327-41-9
Sinónimos: Polihidroxiclорuro de Aluminio, Clorhidrato de Aluminio, Cloruro Básico de Aluminio, Hidroxiclорuro de Aluminio.etc.

COMPAÑÍA: GTM

Teléfonos de Emergencia

México : +52 55 5831 7905-- SETIQ 01 800 00 214 00
Guatemala: +502 6628 5858
El Salvador: +503 2251 7700
Honduras: +504 2564 5454
Nicaragua: +505 2269 0361 – Toxicología MINSa: +505 22897395
Costa Rica: +506 2537 0010 – Emergencias 9-1-1. Centro Intoxicaciones +506 2223-1028
Panamá: +507 512 6182 – Emergencias 9-1-1
Colombia: +018000 916012 Cisproquim / (571) 2 88 60 12 (Bogotá)
Perú: +511 614 65 00
Ecuador: +593 2382 6250 – Emergencias (ECU) 9-1-1
Argentina +54 115 031 1774
Brasil: +55 21 3591-1868

SECCION 2: COMPOSICION / INFORMACION SOBRE LOS INGREDIENTES

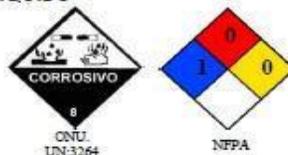
Óxido de Aluminio: 17 +/- 1% peso
Familia: Sales Inorgánicas
Número CAS: 1327-41-9

SECCION 3: IDENTIFICACION DE PELIGROS

Clasificación ONU: Clase 8 Corrosivo
Clasificación NFPA: Salud: 1 Inflamabilidad: 0 Reactividad: 0

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Nombre del Producto: POLICLORURO DE ALUMINIO LIQUIDO
Fecha de Revisión: Febrero 2016. Revisión N°2



SECCION 1: IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑIA

PRODUCTO

Nombre Químico: Policloruro de Aluminio (PAC)
Número CAS: 1327-41-9
Sinónimos: Polihidroxipolicloruro de Aluminio, Clorhidrato de Aluminio, Cloruro Básico de Aluminio, Hidroxipolicloruro de Aluminio.etc.

COMPAÑIA: GTM

Teléfonos de Emergencia

México : +52 55 5831 7905– SETIQ 01 800 00 214 00
Guatemala: +502 6628 5858
El Salvador: +503 2251 7700
Honduras: +504 2564 5454
Nicaragua: +505 2269 0361 – Toxicología MINSA: +505 22897395
Costa Rica: +506 2537 0010 – Emergencias 9-1-1. Centro Intoxicaciones +506 2223-1028
Panamá: +507 512 6182 – Emergencias 9-1-1
Colombia: +018000 916012 Cisproquim / (571) 2 88 60 12 (Bogotá)
Perú: +511 614 65 00
Ecuador: +593 2382 6250 – Emergencias (ECU) 9-1-1
Argentina +54 115 031 1774
Brasil: +55 21 3591-1868

SECCION 2: COMPOSICION / INFORMACION SOBRE LOS INGREDIENTES

Óxido de Aluminio: 17 +/- 1% peso
Familia: Sales Inorgánicas
Número CAS: 1327-41-9

SECCION 3: IDENTIFICACION DE PELIGROS

Clasificación ONU: Clase 8 Corrosivo
Clasificación NFPA: Salud: 1 Inflamabilidad: 0 Reactividad: 0

SECCION 5: MEDIDAS PARA EXTINCION DE INCENDIOS

Agente de Extinción:	Use agua para mantener el contenedor refrigerado, Químico seco, o Dióxido de carbono.
Peligros específicos:	No combustible. Puede desprender gases muy irritantes por descomposición térmica a temperaturas elevadas (> 200°C).
Equipo de protección para la Emergencia:	Botas impermeables, guantes y gafas de protección, considere combatir el fuego desde un lugar distante seguro.

SECCION 6: MEDIDAS PARA FUGAS ACCIDENTALES

Medidas de emergencia a tomar Hay derrame del material:	Restrinja el área hasta que personal entrenado limpie completamente el derrame. Ventile el área.
Equipos de protección:	Use ropa adecuada y el equipo de protección personal recomendado, guantes, botas, traje de caucho (no use algodón ni cuero), casco, máscara de gases. No toque el producto derramado.
Precauciones a tomar para evitar daño al medio ambiente:	Detenga la fuga si es posible, construya un dique de arena. Absorba el producto en arena o un material absorbente del producto (Ej. Vermiculita), recójalo en un recipiente plástico, almacénelo, luego lave el lugar afectado y todas las herramientas usadas
Método de control y limpieza:	Lave completamente.

SECCION 7: MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Condiciones de almacenaje:	El área de almacenamiento debe estar adecuadamente ventilada con dique de protección, no compartido. Los recipientes deben permanecer bien cerrados y sin goteo cuando no estén en uso. Los contenedores vacíos contienen residuos peligrosos. En esta área se debe contar con ducha y lavajos. El área de almacenamiento y el sistema de iluminación deben construirse de materiales resistentes a la corrosión. : Almacénelo en un lugar bien ventilado, fresco, seco y alejado de sustancias incompatibles.
-----------------------------------	--

- Sulfato de Aluminio



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Nombre del Producto: SULFATO DE ALUMINIO "POLVO"
 Fecha de Revisión: Mayo, 2014. Revisión N°4



NFPA

SECCION 1 : IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑIA

PRODUCTO

Nombre Químico: Sulfato de Aluminio
 Número CAS: 16828-11-84
 Sinónimos:

COMPAÑIA: GTM

Teléfonos de Emergencia

México : +55 5831 7905 – SETIQ 01 800 00 214 00
 Guatemala: +502 6628 5858
 El Salvador: +503 2251 7700
 Honduras: +504 2540 2520
 Nicaragua: +505 2269 0361 – Toxicología MINSA: +505 22897395
 Costa Rica: +506 2537 0010 – Emergencias 9-1-1. Centro Intoxicaciones +506 2223-1028
 Panamá: +507 512 6182 – Emergencias 9-1-1
 Colombia: +018000 916012 Cisproquim / (571) 2 88 60 12 (Bogotá)
 Perú: +511 614 65 00
 Ecuador: +593 2382 6250 – Emergencias (ECU) 9-1-1
 Argentina +54 115 031 1774

SECCION 2 : COMPOSICION / INFORMACION SOBRE LOS INGREDIENTES

SULFATO DE ALUMINIO

CAS: 16828-11-84

SECCION 3 : IDENTIFICACION DE PELIGROS

Clasificación ONU: No aplica
 Clasificación NFPA: Salud: 1 Inflamabilidad: 0 Reactividad: 0

EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:

Principales Riesgos: Puede causar irritación en la piel y mucosas.
 Contacto Ocular: Puede causar irritación.
 Contacto con la piel: Puede causar irritación y eczemas.
 Inhalación: Puede causar irritación
 Ingestión: Indisposición y vómitos



Riesgos Medioambientales:

Puede hidrolizarse y formar precipitados de hidróxido de metal, según el grado de dilución. La solubilidad del aluminio depende el pH.

SECCION 4 : MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Contacto Ocular:	Lave bien los ojos con abundante agua
Contacto Dérmico:	Lave la piel con abundante agua.
Inhalación:	Trasladar a la víctima al aire fresco y hacer que descanse.
Ingestión:	Beber agua y acudir al médico.

SECCION 5 : MEDIDAS PARA EXTINCION DE INCENDIOS

Peligros Específicos:	La descomposición térmica (>650°C) puede producir humos de SOx.
Medios de Extinción:	No inflamable, utilizar medios apropiados para el material en contacto.
Protección Específica:	Equipo de seguridad adecuado.

SECCION 6: MEDIDAS PARA FUGAS ACCIDENTALES

Precauciones personales:	Utilizar ropas protectoras apropiadas.
Precauciones Medioambientales:	No verter el producto en la red de alcantarillado.
Métodos de Limpieza:	En el suelo: Lavar con abundante agua. Neutralizar con hidróxido cálcico).
	En el agua: Informar a las autoridades de Protección Civil.

SECCION 7: MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Almacenamiento:	Almacenar en contenedores de acero inoxidable y plástico.
Manipulación:	Precauciones habituales de seguridad e higiene en la manipulación de productos químicos.
Estabilidad:	Ilimitada (en lugar seco).

SECCION 8: CONTROLES DE EXPOSICION Y PROTECCION PERSONAL

Medidas reductoras de la exposición:	Identificar el área y métodos de trabajo para prevenir el contacto directo con el producto.
---	---

**EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL**

Piel: Ropas protectoras
Ojos: Gafas de seguridad con protecciones laterales.
Inhalación: Ninguna

**SECCION 9: PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS**

Aspecto: Polvo de color blanco
Olor: Inapreciable
pH (Sol. 1% v/v): 3.5 +/- 0.5
Temperatura de Ebullición: 115 +/- 5°C
Temperatura de Descomposición: 650°C
Flash-Point: No disponible
Densidad Aparente 0.8 – 1.2 g/cm³ a 25°C
Solubilidad en Agua: Aprox. 45% a 20°C
Solubilidad en Disolventes Orgánicos: No

SECCION 10 : ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad química: Estable bajo condiciones ordinarias de uso y almacenamiento.
Condiciones a evitar: Condiciones húmedas en el almacenamiento.
Materiales a evitar: Acero al carbono
Productos Peligrosos de Descomposición: Puede liberar humos de SO_x

SECCION 11 : INFORMACION TOXICOLOGICA

Toxicidad Aguda DL50 (oral, rata): 6207 mg/kg
DL50 Intraperitoneal ratón: 1735 mg/kg
TLV: 2 mg Al/m³

SECCION 12 : INFORMACION ECOLOGICA

Toxicidad Acuática: LC50, pez mosquito, 96h: 235

SECCION 13 ; CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICION

Eliminación de Residuos: Diluir con agua y neutralizar con hidróxido de calcio
Eliminación de Envases: Envío a vertedero autorizado.

SECCION 14 : INFORMACION SOBRE TRANSPORTE

NOTA: Producto no sujeto a las siguientes reglamentaciones: RID, ADR, IMDG, IATA.

No. ONU: No aplica

- **Cloruro Férrico**



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Nombre del Producto: **CLORURO FERRICO 96%**
 Fecha de Revisión: Agosto 2014. Revisión N°3



SECCION 1 : IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA

PRODUCTO

Nombre Químico: CLORURO FERRICO 96% - FeCl₃
Número CAS: 7705-08-0
Sinónimos: Cloruro férrico anhidro, cloruro de hierro, tricloruro de hierro

COMPAÑÍA: GTM

Teléfonos de Emergencia

México : +55 5831 7905 – SETIQ 01 800 00 214 00
 Guatemala: +502 66285858
 El Salvador: +503 22517700
 Honduras: +504 2540 2520
 Nicaragua: +505 2269 0361 – Toxicología MINSA: +505 22897395
 Costa Rica: +506 25370010 – Emergencias 9-1-1. Centro Intoxicaciones +506 2223-1028
 Panamá: +507 5126182 – Emergencias 9-1-1
 Colombia: +018000 916012 Cisproquim / (571) 2 88 60 12 (Bogotá)
 Perú: +511614 65 00
 Ecuador: +593 2382 6250 – Emergencias (ECU) 9-1-1
 Argentina +54 115031 1774

SECCION 2 : COMPOSICION / INFORMACION SOBRE LOS INGREDIENTES

CLORURO FERRICO 96% CAS: 7705-08-0 96-100%

SECCION 3 : IDENTIFICACION DE PELIGROS

Clasificación ONU: Clase 8 Corrosivo
Clasificación NFPA: Salud: 3 Inflamabilidad: 0 Reactividad: 2

Descripción general de emergencia: ¡Peligro! Corrosivo. Causa quemaduras en cualquier zona de contacto. Nocivo por ingestión o inhalación. Afecta el hígado.

EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:

Inhalación:	Extremadamente destructivo para los tejidos de las membranas mucosas y tracto respiratorio superior. Los síntomas pueden incluir sensación de quemazón, tos, sibilancia, laringitis, respiración entrecortada, dolor de cabeza, náuseas y vómitos.
Ingestión:	Corrosivo. La ingestión puede causar quemaduras severas de la boca, la garganta y estómago. Puede causar dolor de garganta, vómitos, diarrea. Baja toxicidad en pequeñas cantidades, pero grandes dosis (30 mg / kg) puede causar náuseas, vómitos y diarrea. Pink decoloración de la orina es un fuerte indicador de la intoxicación por hierro. Daño al hígado, coma y la muerte pueden seguir, a veces se retrasa hasta tres días.
Contacto con la piel:	Corrosivo. Produce enrojecimiento, dolor, y quemaduras graves.
Contacto con los ojos:	Corrosivo. El contacto puede causar visión borrosa, enrojecimiento, dolor y quemaduras severas de tejidos.
La exposición crónica:	La ingestión repetida puede causar daño hepático. La exposición prolongada de los ojos puede causar decoloración.

SECCION 4: MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación:	Sacar a la víctima al aire fresco. Si no respira, dar respiración artificial. Si la respiración es difícil, dar oxígeno. Obtener atención médica inmediatamente.
Ingestión:	Si se ingiere, NO inducir el vómito. Dé grandes cantidades de agua. No dar nada por la boca a una persona inconsciente. Obtener atención médica inmediatamente.
Contacto con la piel:	Lavar la piel inmediatamente con abundante agua durante al menos 15 minutos mientras se quita la ropa y zapatos contaminados. Obtener atención médica inmediatamente. Lave la ropa antes de usarla nuevamente. Limpie completamente los zapatos antes de volver a usarlos.
Contacto con los ojos:	Lavar los ojos inmediatamente con abundante agua durante al menos 15 minutos, elevando los párpados superior e inferior ocasionalmente para asegurar la remoción del químico. Obtener

SECCION 5: MEDIDAS PARA EXTINCION DE INCENDIOS

Fuego: No se considera un riesgo de incendio. Vapores irritantes el cloruro de hidrógeno se pueden formar en el fuego.

Explosión: No se considera un riesgo de explosión.

Medios de extinción de incendios: Agua, polvo químico seco, espuma o bióxido de carbono. No permitir el escurrimiento de agua hacia las alcantarillas o cursos de agua.

Información Especial: En el caso de un fuego, use vestidos protectores completos y aprobados por NIOSH y equipo autónomo de respiración con mascarilla completa operando en la demanda de presión u otro modo de presión positiva.

SECCION 6: MEDIDAS PARA FUGAS ACCIDENTALES

Derrame pequeño: Utilice las herramientas adecuadas para poner el sólido derramado en un recipiente de eliminación de residuos. Si es necesario: Neutralizar el residuo con una solución diluida de carbonato de sodio.

Derrame grande: Corrosivo sólido. Detener la fuga si no hay riesgo. No introducir agua en los contenedores. No toque el material derramado. Utilice pulverización de agua para reducir los vapores. Evite la entrada en alcantarillas, sótanos o áreas cerradas; si es necesario. Neutralizar el residuo con una solución diluida de carbonato de sodio. Tenga cuidado de que el producto no este presente en una concentración por encima de TLV.

SECCION 7: MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Mantener en un recipiente cerrado herméticamente, almacene en un lugar fresco, seco y ventilado. Proteger contra daño físico. Aislar de sustancias incompatibles. Los contenedores de este material pueden ser peligrosos cuando están vacíos ya que retienen residuos del producto (polvo, sólidos); observar todas las advertencias y precauciones indicadas para el producto.

SECCION 8: CONTROLES DE EXPOSICION Y PROTECCION PERSONAL

Límites de Exposición:

ACGIH Threshold Limit Value (TLV): 1 mg/m³ (TWA) de sal de hierro soluble en Fe

Sistema de Ventilación: Un sistema de ventilación local y/o general es recomendado para las exposiciones de empleados por debajo de los Límites de Exposición Aérea. La extracción local es generalmente preferida porque se pueden controlar las emisiones del contaminante en su fuente, impidiendo la dispersión del mismo en el área de trabajo general.

Respiradores Personales (Aprobados por NIOSH): Si el límite de exposición es excedido y los controles de ingeniería no son factibles, un respirador de partículas de media máscara (NIOSH tipo

N95 o mejores filtros) deberá ser usado hasta por diez veces el límite de exposición o la concentración máxima de uso especificada por la agencia reguladora apropiada o el proveedor del respirador, lo que sea más bajo. Un respirador de máscara completa con filtro para polvo/niebla (filtros de NIOSH tipo N100) puede usarse hasta 50 veces el límite de exposición o la concentración máxima de uso especificada por la agencia reguladora apropiada o el proveedor del respirador, lo que sea más bajo. Si las partículas de aceite (por ejemplo, lubricantes, los fluidos de corte, glicerina, etc.) están presentes, use un NIOSH tipo R o un filtro P. Para emergencias o casos donde los niveles de exposición no son conocidos, use un respirador que cubra toda la cara, de presión positiva y abastecido por aire. **ADVERTENCIA:** Los respiradores purificadores de aire no protegen a los trabajadores en atmósferas deficientes de oxígeno.

Protección de la piel: Usar guantes de protección y ropa limpia que cubra el cuerpo.

Protección de los ojos: Mantenga una fuente de lavado de ojos y regaderas de emergencia en el área de trabajo. Utilice gafas protectoras contra productos químicos y/o careta completa donde el polvo o salpicaduras de soluciones es posible.

SECCION 9: PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Aspecto: Amarillo cristales delicuescentes de color marrón.

Olor: Ligero olor a ácido clorhídrico.

Solubilidad: Soluble en agua.

Densidad: 2,90 @ 25C/4C

pH: No se encontró información.

% De Volátiles por Volumen @ 21C (70F): 0

Punto de ebullición: No se encontró información.

Punto de fusión: 37 ° C (99F)

Densidad de vapor (Aire = 1): No se encontró información.

Presión de Vapor (mm Hg): 1.1 @ 194C (381F)

Tasa de evaporación (BuAc = 1): No se encontró información.

SECCION 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad: Estable bajo condiciones normales de uso y almacenamiento.

Productos de descomposición peligrosos: Emite gases tóxicos de cloruro cuando se calienta hasta la descomposición.

Polimerización peligrosa: Esta sustancia no polimeriza.

Incompatibilidades: Metales, cloruro de alilo, sodio, potasio. Va a reaccionar con el agua para producir humos tóxicos y corrosivos.

Condiciones a evitar: Incompatibles.

ANEXO H. FICHAS DE SEGURIDAD REGULADORES DE pH

- Hidróxido de Sodio



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Nombre del Producto: **SODA CAUSTICA (EN ESCAMAS O PERLAS)**
 Fecha de Revisión: Febrero 2016. Revisión N°5



ONU:
UN:1823



NFPA

SALUD	3
INFLAMABILIDAD	0
PELIGRO FÍSICO	1
PROTECCIÓN PERSONAL	X

HMIS

SECCION 1 : IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA

PRODUCTO

Nombre Químico: HIDROXIDO DE SODIO, PELLETS - NaOH
Número CAS: 1310-73-2
Sinónimos: Soda cáustica en escamas o perlas.

COMPAÑÍA: GTM

Teléfonos de Emergencia

México : +52 55 5831 7905– SETIQ 01 800 00 214 00
 Guatemala: +502 6628 5858
 El Salvador: +503 2251 7700
 Honduras: +504 2564 5454
 Nicaragua: +505 2269 0361 – Toxicología MINSA: +505 22897395
 Costa Rica: +506 2537 0010 – Emergencias 9-1-1. Centro Intoxicaciones +506 2223-1028
 Panamá: +507 512 6182 – Emergencias 9-1-1
 Colombia: +018000 916012 Cisproquim / (571) 2 88 60 12 (Bogotá)
 Perú: +511 614 65 00
 Ecuador: +593 2382 6250 – Emergencias (ECU) 9-1-1
 Argentina +54 115 031 1774
 Brasil: +55 21 3591-1868

SECCION 2 : COMPOSICION / INFORMACION SOBRE LOS INGREDIENTES

Ingrediente (s) Peligroso (s)	% (p/p)	TLV-TWA	CAS No.
Hidróxido de Sodio	> 98	2 mg/m ³ (1.2 ppm)	1310-73-2

SECCION 3 : IDENTIFICACION DE PELIGROS

Clasificación ONU: Clase 8 Corrosivo
Clasificación NFPA: Salud: 3 Inflamabilidad: 0 Reactividad: 1
Clasificación HMIS: Salud: 3 Inflamabilidad: 0 Físico: 1

EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:

Inhalación: Irritante severo. La inhalación de polvo fino causa irritación y quemadura de nariz, garganta y tracto respiratorio superior. Una severa exposición puede producir neumonía química.

Ingestión: Ocasiona quemaduras a la boca, garganta y estomago. Disminuye la presión sanguínea. Los efectos pueden aparecer luego de algunas horas de la exposición.

Contacto con los ojos: Causa irritación y severas quemaduras. El daño puede ser permanente.

Contacto con la piel: Causa irritación a la piel, manchas rojas y puede llegar a severas quemaduras dependiendo de la exposición.

Efectos Agudos: Fuertemente corrosivo a todos los tejidos del cuerpo con el que entre en contacto. El efecto local en la piel puede consistir en áreas múltiples de destrucción superficial hasta profundas ulceraciones de la piel, tejidos del sistema respiratorio y/o digestivo.

Efectos Crónicos: Los efectos crónicos en una exposición local pueden consistir en múltiples áreas de destrucción superficial de la piel o de algunas dermatitis primarias irritantes. Así mismo la exposición a polvo o niebla puede resultar en varios grados de irritación o daño al tracto respiratorio y un aumento en la susceptibilidad a enfermedades respiratorias. Estos efectos crónicos ocurren solo cuando se exceden los límites máximos permisibles.

Nota Adicional: Repetida exposición puede causar dermatitis.

SECCION 4 : MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Contacto Ocular: Lave bien los ojos inmediatamente al menos durante 15 minutos, manteniendo los párpados separados para asegurar un lavado completo de la superficie del ojo. El lavado de los ojos durante los primeros segundos es esencial para asegurar una efectividad máxima como primer auxilio, pero luego debe acudir al médico.

Contacto Dérmico: Lave la piel inmediatamente con abundante agua y jabón por lo menos durante 15 minutos. Retira la ropa y zapatos contaminados. Lave la ropa antes de usarla nuevamente. Busque atención médica inmediata.

Inhalación: Trasladar a la víctima al aire fresco. Si la respiración es difícil, suministrar oxígeno por medio de una persona entrenada. Si la respiración se ha detenido, dar respiración artificial. Buscar atención médica inmediatamente.

Ingestión: ¡No induzca el vomito! Nunca administre nada por la boca, si la víctima está inconsciente. Suministrar abundante agua (si es posible, administre varios vasos de leche). Si el vomito ocurre espontáneamente, mantenga libres las vías respiratorias. Mantenga a la persona en descanso y con temperatura corporal normal. Buscar atención médica inmediata.

Nota para el Médico: Realizar endoscopia en todos los casos en que se sospeche ingestión. En casos de severa corrosión de esófago, traquea, etc., considere el uso terapéutico de dosis de esteroides, monitoree constantemente el balance ácido-base, electrolitos. Se requiere administrar líquido.

SECCION 5 : MEDIDAS PARA EXTINCION DE INCENDIOS

Peligro de incendio y/o explosión: Por si solo no presenta riesgo de incendio o explosión; caliente o fundido puede reaccionar violentamente con agua. Puede reaccionar con ciertos metales como el aluminio para generar gas hidrógeno inflamable.

Medio para Extinguir el Fuego: Si el fuego involucra el envase (fundas dobles de papel) utilice extintores de polvo químico seco (PQS) o de Dióxido de Carbono (CO₂). Use cualquier método adecuado para extinguir el fuego de los alrededores. Si es posible retire los envases expuestos al calor del fuego, y refrigérelos con lluvia muy fina de agua, pero evite lanzar agua directamente al producto, ya que generaría grandes cantidades de calor lo cual puede favorecer la combustión de otros materiales.

Información Especial: Los bomberos deben utilizar el traje completo de protección, equipo de respiración autónomo y traje aislante impermeable.

SECCION 6: MANEJO PARA FUGAS ACCIDENTALES

Aísle la zona. El personal de la brigada de emergencia debe contar con el equipo de protección nivel B. Recoja el material derramado en tambores vacíos y limpios (recuerde etiquetarlos); luego neutralice el material remanente con cualquier ácido inorgánico diluido. El área afectada debe ser lavada con abundante cantidad de agua. Prevenga la entrada de las aguas de lavado hacia vías navegables, alcantarillas o áreas confinadas, utilizando materiales absorbentes (arena o tierra seca). La disposición final de los residuos debe realizarse cumpliendo con lo dispuesto por la ordenanza ambiental local. Todas las herramientas y equipos usados deben ser descontaminados y guardados limpios para uso posterior.

SECCION 7: MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Mantenga los recipientes herméticamente cerrados. Estibe las fundas o sacos, en arrumes de máximo tres metros de alto. No coloque los sacos o fundas directamente sobre pisos húmedos. Use ballets. Evite polvos contaminantes. Evite el daño físico a los empaques. Aísle las sustancias incompatibles. Almacene bajo techo, en lugar fresco, ventilado y con buen drenaje. No almacene este producto junto a materiales de rápida ignición. No mezcle con ácidos o materiales orgánicos. No almacene junto al aluminio o magnesio. Los sacos o fundas vacíos de este material pueden ser peligrosos por cuanto pueden tener residuos, además no deben ser limpiados para uso en otros propósitos temporales. Instale avisos de precaución donde informe los riesgos y la obligación de usar los equipos de protección personal. Se debe disponer de una ducha de emergencia y una estación lavaojos cerca al lugar de trabajo. Transporte en vehículos con plataforma cerrada. Siempre añada el hidróxido de sodio al agua, mientras agita, nunca lo contrario.

Nota Adicional: No comer, beber o fumar durante la manipulación de este producto.

Frases R: 35

Frases S: 1-2-26-37-39-45

SECCION 8: CONTROLES DE EXPOSICION Y PROTECCION PERSONAL

Ventilación: Se recomienda un sistema local para evacuar polvos que permita mantener el TLV bajo valores permisibles y a la vez controlar las emisiones contaminantes en la fuente misma, previniendo la dispersión general en el área de trabajo.

EQUIPOS DE PROTECCION PERSONAL

Respirador personal: Hasta 10 veces el TLV, usar pantalla facial y respirador con filtros para polvos (NIOSH Tipo N95). Para casos emergentes en que el nivel de exposición es desconocido, usar el equipo de respiración autónomo. **Advertencia:** Los respiradores de cartuchos no protegen a los trabajadores en atmósferas deficientes de oxígeno.

Protección de ojos: Utilice gafas plásticas de seguridad y en lugares con riesgo de salpicaduras de soluciones o presencia de niebla de polvo, usar mascarilla facial completa. Mantenga una ducha y una estación lavaojos en el sitio de trabajo.

Protección de la piel: Evite contacto con la piel. En condiciones normales de operación utilizar trajes completos de tela impermeable, incluyendo botas, chaqueta y casco protector. Para casos de emergencias utilice trajes de PVC, botas y guantes de caucho.

SECCION 9: PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Apariencia u Color:	Pellets o flakes blancos delicuescentes
Punto de Fusión:	1390°C
Solubilidad en agua:	111 g/100g de agua
Densidad Relativa:	2.13
Calor de Solución:	Exotérmico
Peso Molecular:	105.9
pH (solución acuosa 0.5%):	13-14

SECCION 10 : ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad química: Estable bajo condiciones normales de uso y almacenamiento (temperatura, ambiente, presión atmosférica, hermeticidad de empaque). Es muy higroscópico, con poca humedad del aire reacciona con el dióxido de carbono del aire para formar carbonato de sodio.

Incompatibilidad: En contacto con ácidos (por Ej. Clorhídrico, sulfúrico, nítrico, etc), peróxidos orgánicos y compuestos orgánicos nitrado y halógenos especialmente el tricloetileno, puede reaccionar violentamente. En contacto con materiales como el zinc, aluminio, magnesio o titanio forma gas hidrogeno inflamable. El hidróxido de sodio ataca al cuero y a la lana y en solución reacciona con azúcares formando monóxido de carbono.

Productos de descomposición peligrosos: Oxidos de sodio. La descomposición por reacción con ciertos metales puede formar gas hidrógeno inflamable.

Condiciones a evitar: Calor, humedad, factores contaminantes, fuentes de ignición y producto s incompatibles.

Polimerización Peligrosa: Con acroleína y acrilonitrilo.

- Hidróxido de calcio

		Hoja de Seguridad CAL HIDRATADA	
Versión: 001 - 2008-01-14		Página 1 de 3	
IDENTIFICACIÓN U.N : 3262		IDENTIFICACIÓN NFPA	
			
		Salud	Azul 3
		Inflamabilidad	Rojo 0
		Reactividad	Amarillo 0
		Riesgo especial	Blanco 0
1. Identificación del producto y de la empresa			
Producto	:	CAL HIDRATADA	
Sinónimos	:	Hidróxido de calcio	
Fabricante/distribuidor	:	Química Integrada S.A. QUINSA	
Dirección	:	KM. 34 Vía Neiva Bogotá	
Código postal y ciudad	:	Neiva - Huila	
País	:	Colombia	
Número de teléfono	:	098-8389038	
Telefax	:	098-8389224 / 8389327	
E-mail	:	quinsa01@hotmail.com	
CISTEMA	:	01 – 8000 - 941414	
2. Composición/información de los componentes			
Hidróxido de calcio 10%-50%			
3. Identificación de peligros			
En los ojos causa irritación El material fino puede ser inhalado y producir irritaciones e mucosas			

4. Primeros auxilios**En caso de contacto con la piel**

Quitarse la ropa y lavar bien con jabón

En caso de contacto con los ojos

Lávese a fondo con agua abundante durante 15 minutos por lo menos, manteniendo el ojo bien abierto mientras se lava.

En caso de ingestión

Consultar inmediatamente un médico.

En caso de inhalación

Inhalar profundamente aire fresco

5. Medidas de lucha contra incendios

El producto no es inflamable

El hidróxido de calcio se descompone a 580°C, dando óxido de calcio y agua.

El óxido de calcio no es inflamable, pero genera calor en contacto con el agua y los ácidos

6. Medidas a tomar en caso de vertido accidental

Evite que el producto llegue a fuentes de agua o alcantarillado.

No recoger el producto barriendo ni soplando.

Evitar la formación de polvo.

7. Manipulación y almacenamiento

Almacenar sobre estibas, en un lugar protegido de la humedad.

Use siempre protección personal así sea corta la exposición o la actividad que realice con el producto. Mantener estrictas normas de higiene, no fumar, ni comer en el sitio de trabajo. Use las menores cantidades posibles. Lea las instrucciones de la etiqueta antes de usar el producto. Rotule los recipientes adecuadamente.

8. Control de exposición y medidas de protección personal

Emplear gafas protectoras y mascarillas para evitar inhalar el material fino.

9. Propiedades físicas y químicas

FÓRMULA QUÍMICA:	Ca[OH] ₂
APARIENCIA:	Granular o polvo
COLOR:	Blanco
OLOR:	Inodoro
pH:	12-13
SOLUBILIDAD EN AGUA:	Insignificante

10. Estabilidad y reactividad

El producto es estable y no reactivo en condiciones normales de almacenamiento.
 Libera gases tóxicos en caso de incendio.
 La humedad puede provocar el fraguado y endurecimiento del producto.

11. Información toxicológica

El producto es tóxico por vía oral en cantidades superiores a 8000mg/kg (DL50, rata).
 El producto puede ser irritante en las mucosas, pero no letal.

12. Información ecológica

En caso de derrame accidental de producto en el agua se puede producir un débil aumento de pH.
 El producto fraguado es un material estable que fija sus compuestos y los hace solubles.

13. Eliminación de residuos

El producto no es un desecho peligroso.
 Su disposición en un relleno sanitario no es peligrosa.

14. Información relativa al transporte

Número UN 3262

15. Información Reglamentaria

La utilización de este producto no es sujeta de controles específicos.

16. Información Adicional

El producto se ha clasificado de baja reactividad, no inflamable e inofensivo para la salud. No tiene condiciones especiales de manejo, la dilución en agua no es peligrosa.

Responsabilidad

La información contenida en esta Hoja de seguridad ha sido preparada por el equipo técnico de Química Integrada S.A. con el objeto de proporcionar información para el manejo seguro del producto.

Es difícil anticiparse a la utilización de este producto y por lo tanto la información aquí contenida debe ser tomada como una orientación y aplicarla en el contexto apropiado.

**ANEXO J.
COTIZACIÓN COAGULANTE Y REGULADOR DE pH**



QUIMICA INTEGRADA S.A.
NIT. 800.078.640-1

Planta de Producción: Km. 34 vía Neiva - Btá • Aipe - Huila
Telefax: +57 (8) 838 9038 / 838 9327 / 838 9935 Móvil: 313 893 2959
Correspondencia: Calle 8 No. 10-69 • Neiva - Huila
Sede Bogotá: Calle 17 No. 132-14 Fontibón
Teléfono: +57 (1) 415 7087 Móvil: 313 893 2981
www.quinsa.com.co • quinsa01@hotmail.com

COTIZACIÓN

CIUDAD Y FECHA: BOGOTA, NOVIEMBRE: 26 DE 2018
ENTIDAD QUE SOLICITA LA COTIZACION: N/a
PERSONA QUE SOLICITA LA COTIZACION: WINNY PRIETO

COQ N°: 618-18

PRODUCTO	TIPO DE EMPAQUE	VALOR X SACO CON IVA INCLUIDO	LUGAR DE ENTREGA	PRESENTACION
SULFATO DE ALUMINIO GRANO TIPO A	SACOS X 25 KG	\$ 37.178	BODEGA QUINSA BOGOTA	
CAL HIDRATADA	SACOS X 25 KG	\$ 25.287	BODEGA QUINSA BOGOTA	

POR FAVOR TENER EN CUENTA LAS SIGUIENTES CONDICIONES ACORDADAS EN ESTA COTIZACION LAS CUALES SE HARAN VALIDAS EN CUALQUIER COMPRA

FORMA DE PAGO: CONTADO- TRANFERENCIA A CUALQUIERA DE NUESTRAS CUENTAS:

BANCO	TIPO DE CUENTA	N° DE CUENTA
BANCOLOMBIA	CORRIENTE	456-001253-83
DAVIVIENDA	CORRIENTE	0761 6999 8846
OCCIDENTE	AHORROS	380 87828-0

TIEMPO DE ENTREGA: 3 DIAS HABILDES DESPUES DE OC Y PAGO ENVIADO AL CORREO DE investigacion@quinsa.com.co.

VALIDEZ DE LA OFERTA: 31 DE DICIEMBRE DE 2018.

Atentamente,

TESPIS PEREZ MENDOZA
 CEL: 3138932981
 investigacion@quinsa.com
 QUIMICA INTEGRADA S.A.
 SEDE BOGOTA

ANEXO K. COTIZACIÓN FLOCULANTE



Bogotá., junio 1 de 2018

Universidad de América
Ciudad

ASUNTO: Cotización Polímero Lipesa

De acuerdo con su solicitud, me permito presentar cotización del siguiente producto químico:

REFERENCIA	PRODUCTO	PRESENTACION	PRECIO (COP/ Kg)	PRECIO TOTAL (\$COP)
L-1569A	Polímero Catiónico	Saco x 25 kg	\$24.300	\$607.500

CONDICIONES COMERCIALES

- A los anteriores valores se debe adicionar el IVA vigente
- Crédito : Contado
- Tiempo de entrega : Ocho días hábiles después de recibida la OC y realizado el pago
- Disponibilidad : De acuerdo con disponibilidad al momento de recibir el pedido
- Sitio de Entrega : Bogotá
- Vigencia Cotización : 30 Días

CARRETERA CENTRAL Km 30 BOGOTA-TUNJA FRENTE A BAVARIA, TOCANCIPÁ - COLOMBIA
TEL: 8786600

ANEXO L. COTIZACIÓN CARACTERIZACIÓN AGUA TRATADA



Nit: 900.246.497-8

Laboratorio de Análisis Químicos

Cliente:	BERNAL ZAMORA RUTH PATRICIA	NIT:	39721359-4
Contacto:	WINNY JIMENA PRIETO BERNAL	Fecha	11/27/2018
Cargo:	Asesora Ambiental	Lugar de muestreo	Bogotá
Correo electrónico:	winny.prietobernal@hotmail.com	Teléfono:	3506667301
Dirección:	CALLE 24 B No 75-74	N° Cotización:	18R-888

REF: Cotización Análisis Aguas Residuales No Domésticas

Respetados Señores:

Muy atentamente queremos poner a su servicio nuestro laboratorio especializados en análisis fisicoquímico y microbiológico de aguas y alimentos. Para cumplir con nuestro propósito nos encontramos avalados por la Secretaría de Salud de Bogotá y hacemos parte de la Red de Laboratorios de esta entidad. Por otro lado, participamos en las pruebas interlaboratorios PICCAP y nos encontramos acreditados ante el IDEAM bajo la resolución 0858 del 12 de abril de 2018 con la norma NTC/ISO 17025 para análisis de agua superficial y agua residual, por lo cual nos ceñimos estrictamente con los métodos de esta norma.

Queremos poner a su consideración nuestra oferta económica para los análisis de agua residuales de acuerdo con los parámetros indicados en la Resolución 631 para su actividad económica:

Actividad / Característica: Toma de muestras durante 8 horas de tipo compuesto. Agua residual No Doméstica según Resolución 631 Art 13 "Actividad Económica Aromas y Fragancias":

Actividad / Característica 2: Muestreo compuesto se monitorearán cada 30 min pH, Temperatura y caudal. Cada hora se monitorearán sólidos sedimentables.

PARÁMETRO	TÉCNICA	MÉTODO	LCM	CANT	PRECIO	TOTAL
ARnD ers. 631 art. 13 PROCESO CIA AROMAS						
DBO5 (A)	5-Day BOD Test.	SM 5210 B, ASTM D888-12 Método C	20,6	1	42000	\$42.000
DQO (A)	Closed Reflux, Titrimetric Method	SM 5220 C.	16,6	1	42000	\$42.000
Grasas y Aceites(A)	Extracción líquido - líquido, partición	S.M. 5520 B	9,97	1	52500	\$52.500
Acidez Total (A)	Titration Method	SM 2310 B	9,10	1	10000	\$10.000
Alcalinidad Total (A)	Titration Method	SM 2320 B	34,6	1	10500	\$10.500
Cloruros (A)	Argentometric Method.	SM 4500-Cl- B.	19,9	1	15000	\$15.000
Color Real (A)	Spectrophotomet ric (436 nm, 525 nm, 620 nm)	ISO 7887-2001	NA	1	20500	\$20.500
Dureza Calcica (A)	EDTA titrimetric Method	SM 3500-Ca B.	8,0	1	10500	\$10.500

Cra. 18 # 63 A50sexto piso, Bogotá, Colombia
Tels (1)-5405700 - 5406606; cel.: 3102217580 – 3138919406 - 3103438363
Página web: www.biopolab.com



Nit: 900.246.497-8

Laboratorio de Análisis Químicos

Dureza Total (A)	EDTA Titrimeric Method.	SM 2340C.	7,40	1	10500	\$10.500
Fenoles Totales (A)	Direct Photometric Method	SM 5530 B, D.	0,086	1	52500	\$52.500
Formaldehido (*)	Spectrophotometry	ASTM D6303-98	2 mg/L	1	840000	\$840.000
Hidrocarburos Aromaticos Policiclicos (1)	Extraction liquido-liquido, CG-FID	EPA 3510 B, SM 8100	0,0020	1	308000	\$308.000
pH(A)	Electrometric Method.	SM 4500-H+ B.	0,5	17	4000	\$68.000
Tensoactivos (A)	Anionic Surfactants as MBAS.	SM 5540C.	0,242	1	47250	\$47.250
Sólidos Sedimentables (A)	Cono Imhoff	SM 2540 F.	0,10	8	5500	\$44.000
Sólidos Suspendedos Totales (A)	Secado a 104°C Gravimetrico	SM 2540 D.	11,6	1	15000	\$15.000
Sulfatos (A)	Turbidimetric Method	SM 4500 SO4 2- E	8,9	1	15000	\$15.000
Temperatura (A)	Laboratory and Field Methods.	SM 2550B.	0,10	17	1000	\$17.000
Caudal (A)	Volumétrico	Volumétrico	0,01	17	3500	\$59.500
Elaboración informe técnico				1	180000	\$180.000
Servicio Muestreo comp. 8 horas				1	250000	\$250.000

Subtotal	\$2.109.750
IVA 19%	\$400.853
VALOR TOTAL	\$2.510.603

Léase:

LCM: Límite de Cuantificación del método.

A.A.: Absorción Atómica

Todos los metales son totales

(A): Parámetros acreditados por el IDEAM.

(1): Análisis subcontratado con laboratorio acreditado