

DESARROLLO DE UNA PROPUESTA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES PROVENIENTE DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PULPAS  
DE FRUTA DE LA EMPRESA ALIMENTOS SAS S.A.S

LAURA ALEJANDRA ALFONSO CORREA  
LIZETHE TATIANA VARGAS GUERRERO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C  
2018

DESARROLLO DE UNA PROPUESTA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES PROVENIENTE DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PULPAS  
DE FRUTA DE LA EMPRESA ALIMENTOS SAS S.A.S

LAURA ALEJANDRA ALFONSO CORREA  
LIZETHE TATIANA VARGAS GUERRERO

Proyecto integral de grado para optar por el título de  
INGENIERO QUÍMICO

Orientador  
SANDRA LILIANA MESA ESPITIA  
INGENIERA QUÍMICA

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTA D.C  
2018

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

---

Ing. Sandra Liliana Mesa Espitia  
Presidente del Jurado

---

Ing. Juan Camilo Cely Garzón  
Jurado 1

---

Ing. Elizabeth Torres Gámez  
Jurado 2

Bogotá D. C., agosto de 2018

## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

**Dr. JAIME POSADA DÍAZ**

Vice - Rector de Desarrollo y Recursos Humanos

**Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA- PEÑA**

Vice - Rectora Académica y de Posgrados

**Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS**

Decano Faculta de Ingeniería

**Dr. JULIO CÉSAR FUENTES ARISMENDI**

Director del Programa de Ingeniería Química

**Dr. LEONARDO DE JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ.**

Las directivas de la 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 el autor.

Dedico y agradezco a Dios por permitirme llegar tan lejos por iluminarme y llenarme de su infinita fe, a mis padres porque ellos me motivan a ser y soñar en grande sin olvidar el amor y la humildad de mi hogar, a mi abuela por su compañía, apoyo y motivación he podido salir adelante, a mi hermano que me motiva a ser ejemplo, a mi tío quien desde la distancia me brindó todo su apoyo y amor. A doña Nubia por su confianza y por la oportunidad de desarrollar este proyecto, a mi compañera y amiga Tatiana Vargas gracias por ser incondicional en todas las situaciones de mi vida, por tu confianza y por ayudarme a hacer esto posible. Gracias a todos aquellos que han acompañado mi camino y han hecho de esta parte de mi vida en especial la mejor de todas.

Laura Alejandra Alfonso Correa.

Agradezco inicialmente a mis padres por brindarme la oportunidad de realizar estos estudios superiores, por apoyarme en el transcurso de la carrera y por nunca dejarme desfallecer ante las adversidades, agradezco a mi hermana por siempre escucharme y verme con un ejemplo a seguir, a mi familia por darme fuerzas para continuar en el camino, a mi compañera Laura Alejandra Alfonso Correa, no sólo por el apoyo durante la realización de este proyecto sino también por ser una excelente amiga durante todo el transcurso de la carrera, finalmente agradezco a todas aquellas personas que hicieron parte de mi vida universitaria.

Lizethe Tatiana Vargas Guerrero

## **AGRADECIMIENTOS GENERALES**

Agradecemos a Alimentos SAS S.A.S en cabeza del Ingeniero Daniel Gaviria por incentivarnos a realizar el presente proyecto y al departamento de calidad, por permitirnos realizar su desarrollo, por medio de las herramientas y recursos que fueron necesarios en cada uno de los procedimientos realizados.

A nuestra orientadora, la Ingeniera Sandra Mesa por brindarnos sus conocimientos y paciencia a lo largo del proyecto en pro del cumplimiento total de éste, de igual manera, agradecemos al Ingeniero Juan Camilo Cely por el apoyo que nos brindó en la parte experimental prestando su tiempo, disposición y su buena actitud siempre motivándonos a sacar la propuesta adelante.

Al profesor Félix también queremos agradecerle por brindarnos su tiempo y conocimiento para estructurar la propuesta planteada y al Ingeniero Alexander López por solucionarnos las inquietudes que se nos presentó durante la realización de la propuesta.

Al profesor Oscar González quien aportó todos sus conocimientos para llevar a cabo nuestro objetivo financiero además de su amabilidad y tiempo.

Finalmente, agradecemos a la Universidad de América por facilitarnos sus instalaciones para llevar a cabo este proyecto, especialmente a la coordinadora de los laboratorios y a los laboratoristas quienes siempre estuvieron dispuestos para facilitar las herramientas y conocimientos para el progreso de nuestro proyecto.

## CONTENIDO

	pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	24
<b>OBJETIVOS</b>	25
<b>1. MARCO TEÓRICO</b>	26
<b>1.1 AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES</b>	26
1.2.1 Características y clasificación de las aguas residuales industriales	26
<b>1.3 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES</b>	27
1.3.1 Tratamientos preliminares o pretratamientos	27
1.3.2 Tratamientos primarios	28
1.3.3 Tratamientos secundarios o biológicos	29
1.3.4 Tratamientos terciarios	29
<b>1.4 MARCO LEGAL</b>	30
<b>2. DIAGNÓSTICO DEL AGUA RESIDUAL GENERADA EN ALIMENTOS SAS</b>	31
<b>2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA</b>	31
<b>2.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN</b>	33
2.1.2 Balance hídrico	36
2.1.2.1 Agua doméstica	39
2.1.2.2 Agua residual industrial	40
<b>2.2 VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES</b>	42
2.2.1 Situación actual del vertimiento	42
2.2.1.1 Comportamiento de la temperatura, caudal y pH promedio	43
<b>2.2.2 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL</b>	46
2.2.2.1 Procedimiento experimental de la caracterización	47
2.2.2.1.1 Medida de pH y conductividad	47
2.2.2.1.2 Medida de sólidos	48
2.2.2.1.3 Medida de la DQO	48
2.2.2.1.4 Medida de la DBO	49
2.2.2.2 Comparación de la muestra con la resolución de vertimientos	51
<b>3. PLANTEAMIENTO DE LA PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN</b>	52
<b>3.1 PRETRATAMIENTO</b>	53
3.1.1 Homogenización y desbaste	53
<b>3.2 TRATAMIENTO PRIMARIO</b>	55
3.2.1 Neutralización	55
3.2.2 Coagulación - floculación	56
3.2.3 Oxidación por medio del método Fenton	59

3.2.4 Filtración	61
<b>4. DESARROLLO DEL MÉTODO EXPERIMENTAL PARA LA SELECCIÓN DE CONDICIONES PARA LA PROPUESTA DE TRATAMIENTO</b>	<b>65</b>
4.1 <b>ENSAYOS DE HOMOGENEIZACIÓN, DESBASTE Y NEUTRALIZACIÓN</b>	65
4.1.1 Homogenización	65
4.1.2 Desbaste	66
4.1.3 Neutralización (NaOH)	67
4.2 <b>ENSAYOS PARA COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN Y NEUTRALIZACIÓN</b>	69
4.2.1 Evaluación experimental por test de jarras para coagulantes y floculantes	69
4.2.1.1 Descripción de coagulantes y floculantes	70
4.2.1.1.1 Coagulantes	71
4.2.1.1.2 Floculantes	71
4.2.1.2 Desarrollo experimental del test de jarras	71
4.2.1.2.1 Preparación de Coagulantes	71
4.2.1.2.2 Preparación de Floculantes	72
4.2.2 Análisis de resultados para operaciones de coagulación - floculación	74
4.2.3 Neutralización (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	74
4.3 <b>EVALUACIÓN DEL MÉTODO FENTON PARA OXIDACIÓN AVANZADA</b>	75
4.3.1 Reactivos necesarios para la oxidación química	75
4.3.2 Metodología experimental	76
4.3.2.1 Ensayo experimental	77
4.3.3 Análisis de resultados y condiciones para el método Fenton	78
4.3.4 Neutralización final (NaOH)	80
4.4 <b>FILTRACIÓN CON MEDIOS GRANULARES</b>	81
4.4.1 Materiales filtrantes	81
4.4.2 Procedimiento experimental	83
4.4.3 Resultados y análisis de resultados	84
4.5 <b>RESULTADOS DEL MÉTODO EXPERIMENTAL Y COMPARACIÓN DE PARÁMETROS</b>	85
4.6 <b>RÉPLICA DEL MÉTODO EXPERIMENTAL</b>	86
4.7 <b>ESPECIFICACIONES PARA LOS TIPOS DE AGUA RESIDUAL PROVENIENTE DE LOS DIFERENTES PROCESOS DE PRODUCCIÓN</b>	95
<b>5. DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS</b>	<b>97</b>
5.1 <b>HOMOGENEIZACIÓN</b>	97
5.2 <b>DESBASTE</b>	101
5.3 <b>TANQUE DE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN</b>	101
5.3.1 Dosificación de coagulantes y floculantes al tanque de sedimentación	104
5.3.1.1 NaOH	105
5.3.1.2 Ácido sulfúrico	105
5.3.1.3 Sulfato doble de aluminio y amonio	105
5.3.1.4 Polímero	105

<b>5.4 TANQUE DE OXIDACIÓN QUÍMICA</b>	106
5.4.1 Dosificación de los reactivos para la oxidación avanzada	108
<b>5.5 FILTRACIÓN CON MATERIALES GRANULARES</b>	108
5.5.1 Lecho de grava	109
5.5.2 Lecho de arena	109
5.5.3 Lecho de antracita	109
<b>6. ANÁLISIS DE COSTOS PARA LA PROPUESTA DE TRATAMIENTO</b>	113
6.1 Costos de la propuesta	113
6.1.1 Equipos	113
6.1.1.1 Bombas	113
6.1.1.2 Tanque de homogenización	113
6.1.1.3 Tanque clarificador	114
6.1.1.4 Tanque de oxidación química	114
6.1.1.5 Filtro	114
6.1.1.6 Mallas para filtración	114
<b>6.1.2 REACTIVOS Y MATERIALES</b>	114
6.1.2.1 Agentes neutralizantes	114
6.1.2.2 Coagulante y floculante	115
6.1.2.3 Reactivos de oxidación avanzada	116
6.1.2.4 Materiales granulares	117
<b>6.2 COSTOS DE OPERACIÓN</b>	117
<b>6.3 COSTOS DE INSTALACIÓN</b>	118
<b>6.4 SANCIÓN SEGÚN EL MARCO LEGAL</b>	119
<b>7. CONCLUSIONES</b>	123
<b>8. RECOMENDACIONES</b>	124
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	125
<b>ANEXOS</b>	132

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos, artículo 12 de la resolución 0631 de 2015	31
Tabla 2. Producción total anual de la empresa Alimentos SAS S.A.S	38
Tabla 3. Caudales de consumo y descarga del AR promedio para los años 2015, 2016 y 2017	42
Tabla 4. Caracterización del agua residual para cada tipo de producción	50
Tabla 5. Comparación de la caracterización del agua y la resolución de vertimientos	51
Tabla 6. Porcentajes de reducción de parámetros	57
Tabla 7. Características de materiales granulares usados en filtración de aguas	63
Tabla 8. Parámetros de partida de la muestra de AR de producción baja	66
Tabla 9. Comparación de parámetros del agua inicial y de la obtenida por cada procedimiento de desbaste	67
Tabla 10. Cantidades experimentales para oxidación química	78
Tabla 11. Resultados del método Fenton para cada una de las pruebas	80
Tabla 12. Resultados de filtración con materiales granulares	84
Tabla 13. Comparación de parámetros de la muestra cruda con la tratada	85
Tabla 14. Resultados de DQO para el desarrollo experimental con error	86
Tabla 15. Parámetros de partida para AR de producción alta	88
Tabla 16. Valores del proceso de desbaste para AR de producción alta y comparación con el AR cruda	89
Tabla 17. Valor de los parámetros después del proceso de coagulación - floculación	90
Tabla 18. Valor de parámetros después de la oxidación química	91
Tabla 19. Parámetros después del proceso de filtración	91
Tabla 20. Resultados finales del agua filtrada	92
Tabla 21. Parámetros de comparación para la muestra filtrada luego del proceso de coagulación - floculación	93
Tabla 22. Resultados de DQO para el AR de producción alta durante dos días en la empresa	96
Tabla 23. Relaciones para un agitador de hélice	99
Tabla 24. Cantidad de sustancias químicas utilizadas durante el tratamiento	106
Tabla 25. Cantidad de sustancias químicas utilizadas durante el tratamiento	108
Tabla 26. Profundidad teórica del filtro con materiales granulares	108
Tabla 27. Costos de las bombas	113
Tabla 28. Relación de costos para agentes neutralizantes	115
Tabla 29. Costos unitarios de las sustancias para clarificación	115

Tabla 30. Costo anual de las sustancias para la clarificación	116
Tabla 31. Costos comerciales de reactivos para la oxidación química	116
Tabla 32. Costos anuales del proceso de oxidación química	116
Tabla 33. Costos asociados a materiales granulares	117
Tabla 34. Costos de operación	118
Tabla 35. Costos de instalación	118
Tabla 36. Inversión total	119
Tabla 37. Costos de operación para el año 1	119
Tabla 38. Planteamiento de costos para el análisis del CAUE	121
Tabla 39. Consumo de agua total durante los años 2015,2016 y 2017	132
Tabla 40. Balance hídrico año 2015	132
Tabla 41. Balance hídrico año 2016	133
Tabla 42. Balance hídrico año 2017	133
Tabla 43. Datos tomados para una producción baja	134
Tabla 44. Datos tomados para una producción media	134
Tabla 45. Datos tomados para una producción alta	135
Tabla 46. Registros de pH,conductividad y estimación de STD en una semana de producción	137
Tabla 47. Datos experimentales para la determinación de SST	138
Tabla 48. Medida de OD para cada tipo de muestra	139
Tabla 49. Datos para la curva de neutralización con NaOH	140
Tabla 50. Datos para la curva de neutralización con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	140
Tabla 51. Datos para la curva de neutralización con NaOH	141
Tabla 52. Primer ensayo de jarras	142
Tabla 53. Coagulante PROAQ 1941	142
Tabla 54. Coagulante sulfato de aluminio tipo A	142
Tabla 55. Coagulante PAC	143
Tabla 56. Coagulante SDAA	143
Tabla 57. Características de las mallas	149
Tabla 58. Datos obtenidos de la muestra de agua sin filtrar	150
Tabla 59. Datos obtenidos de la muestra de agua sin filtrar	151
Tabla 60. Totalización de costos de la propuesta	154
Tabla 61. Análisis de costo anual uniforme equivalente	154

## LISTA DE IMÁGENES

	pág.
Imagen 1. Depósito de recolección de aguas residuales (exterior - interior).	43
Imagen 2. Tanques de almacenamiento actuales para AR de Alimentos SAS S.A.S	43
Imagen 3. Medida de parámetros pH, temperatura y caudal	44
Imagen 4. pH metro y conductímetro	47
Imagen 5. Muestra preparada para la obtención de DQO	49
Imagen 6. Muestra de AR homogenizada para producción baja	65
Imagen 7. De izquierda a derecha: montaje 1 (0,6 mm), montaje 2 (combinada: 0,5 mm + 0,6 mm), montaje 3 (0,5 mm).	66
Imagen 8. Agua residual sometida a desbaste.	67
Imagen 9. Equipo para realizar el Test de jarras	69
Imagen 10. Primer ensayo de jarras para la determinación del polímero floculante ( de izquierda a derecha: Polímero aniónico 45 ppm, polímero aniónico 25 ppm, polímero catiónico 45 ppm, polímero catiónico 25 ppm)	72
Imagen 11. Ensayo de jarras coagulante PROAQ 1941	73
Imagen 12. Ensayo de jarras coagulante sulfato de aluminio	73
Imagen 13. Ensayo de jarras coagulante PAC	73
Imagen 14. Ensayo de jarras coagulante SDAA	74
Imagen 15. Montaje de los lechos filtrantes	83
Imagen 16. Muestra de agua después de filtración con materiales granulares	84
Imagen 17. Prueba en la empresa para coagulación - floculación con 1.400 ppm de SDAA al 10 % y 75 ppm de polímero catiónico al 0,5%	85
Imagen 18. Pruebas de coagulación - floculación realizadas en la empresa	88
Imagen 19. AR Proveniente de producción alta	88
Imagen 20. Muestra de AR de producción alta desbastada	89
Imagen 21. Muestra de AR de producción alta coagulación - floculación	90
Imagen 22. Agua resultante de la oxidación avanzada	91
Imagen 23. Agua filtrada	92
Imagen 24. Muestra cruda - muestra filtrada	92
Imagen 25. Muestra filtrada después del proceso de coagulación - floculación	93
Imagen 26. Lodos obtenidos en los ensayos de clarificación	104
Imagen 27. Equipo HANNA DQO HI83099	138
Imagen 28. Medida de los SSED en el cono Imhoff	139

## LISTA DE CUADROS

	<b>pág.</b>
Cuadro 1. Ventajas y desventajas del proceso de homogeneización y desbaste	54
Cuadro 2. Ventajas y desventajas del proceso de neutralización	56
Cuadro 3. Ventajas y desventajas de coagulación - floculación	58
Cuadro 4. Ventajas y desventajas de la oxidación por método Fenton	60
Cuadro 5. Ventajas y desventajas de la filtración con materiales granulares	62
Cuadro 6. Descripción de coagulantes	70
Cuadro 7. Descripción de floculantes	71
Cuadro 8. Reactivos necesarios para la oxidación química	76
Cuadro 9. Pruebas experimentales del método de oxidación química	79
Cuadro 10. Descripción de los materiales filtrantes utilizados	82
Cuadro 11. Descripción de los lechos de filtración	83
Cuadro 12. Calificación de la importancia de la afección	120

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Ubicación en mapa de Alimentos SAS S.A.S	33
Figura 2. Diagrama de bloques del proceso de producción de pulpas de fruta	36
Figura 3. Consumo de agua potable y generación de AR	40
Figura 4. Metodología experimental para la medida de sólidos	48
Figura 5. Metodología experimental para la medida de la DQO	49
Figura 6. Metodología experimental para la medida de la DBO	50
Figura 7. Diagrama de bloques de la propuesta de tratamiento	64
Figura 8. Metodología experimental del test de jarras	69
Figura 9. Proceso experimental para la oxidación química con reactivo Fenton	76
Figura 10. Distribución de las capas para los filtros y la longitud de estos	83
Figura 11. Diagrama de flujo de proceso	97
Figura 12. Semejanzas geométricas para el dimensionamiento del agitador	99
Figura 13. Tanque homogeneizador	100
Figura 14. Sección cónica del tanque	102
Figura 15. Dimensiones del tanque de coagulación - floculación	104
Figura 16. Dimensiones del tanque de oxidación	107
Figura 17. Dimensiones del filtro	112
Figura 18. Certificado de análisis de BRIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S tomado como historial	133
Figura 19. MSDS del peróxido de hidrógeno	145
Figura 20. MSDS del sulfato ferroso	146
Figura 21. Ficha técnica del SDAA	147
Figura 22. Cotizaciones realizadas por equipo	156
Figura 23. Cotización de medios filtrantes	156
Figura 24. Informe de análisis por BIOTRENDS S.A.S para agua filtrada	157
Figura 25. Informe de análisis por BIOTRENDS S.A.S para agua cruda	157

## LISTA DE GRÁFICAS

	<b>pág.</b>
Gráfica 1. Consumo de agua a mes para el año 2015	37
Gráfica 2. Consumo de agua en el año 2016	37
Gráfica 3. Consumo de agua en el año 2017	38
Gráfica 4. Balances hídricos para los años 2015, 2016 y 2017	41
Gráfica 5. Comportamiento del caudal en producción baja, media y alta	44
Gráfica 6. Comportamiento de la temperatura en producción baja, media y alta	45
Gráfica 7. Comportamiento del pH en producción baja, media y alta	46
Gráfica 8. Curva de Neutralización con NaOH al 1%	68
Gráfica 9. Curva de Neutralización con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> al 96%	75
Gráfica 10. Curva de Neutralización con NaOH al 1%	81

## LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Cálculo del caudal de agua doméstica	39
Ecuación 2. Balance general de agua	41
Ecuación 3. Cálculo del agua residual	42
Ecuación 4. Cálculo del caudal promedio para AR en un año	42
Ecuación 5. Reacción general del método Fenton	61
Ecuación 6. Cálculo del porcentaje de remoción	66
Ecuación 7. Fórmula general de disoluciones	68
Ecuación 8. Cálculo del volumen por medio de la fórmula de gases ideales	77
Ecuación 9. Cálculo de los gramos de peróxido de hidrógeno	77
Ecuación 10. Cálculo del volumen de peróxido de hidrógeno	78
Ecuación 11. Conversión de concentración p/p a p/v	94
Ecuación 12. Cálculo de la cantidad de peróxido de hidrógeno a través de la DQO	94
Ecuación 13. Cálculo del volumen del tanque homogeneizador	98
Ecuación 14. Cálculo del diámetro del tanque homogeneizador	98
Ecuación 15. Cálculo de la altura del tanque mediante $h/D=1,5$	98
Ecuación 16. Cálculo de la eficiencia requerida	99
Ecuación 17. Cálculo de las dimensiones de la sección cónica	102
Ecuación 18. Cálculo del volumen de la sección cónica	102
Ecuación 19. Cálculo del volumen total del cilindro	103
Ecuación 20. Cálculo de la altura del cilindro	103
Ecuación 21. Cálculo de la altura del tanque clarificador	103
Ecuación 22. Cálculo del caudal de entrada al tanque de oxidación	106
Ecuación 23. Cálculo del volumen del tanque de oxidación avanzada	107
Ecuación 24. Cálculo del diámetro del tanque de oxidación avanzada	107
Ecuación 25. Cálculo de la altura del tanque mediante $h/D=1,5$	107
Ecuación 26. Cálculo del tamaño efectivo de la grava	109
Ecuación 27. Cálculo de la profundidad del lecho de grava	109
Ecuación 28. Cálculo del tamaño efectivo de la arena 20/40	109
Ecuación 29. Cálculo de la profundidad del lecho de arena 20/40	109
Ecuación 30. Cálculo de la profundidad del lecho de antracita	109
Ecuación 31. Cálculo del tamaño efectivo promedio	110
Ecuación 32. Cálculo del coeficiente de uniformidad promedio	110
Ecuación 33. Cálculo del área de filtración	110
Ecuación 34. Cálculo del volumen del filtro	110

Ecuación 35. Cálculo de la cantidad de materiales filtrantes para el filtro	111
Ecuación 36. Cálculo de la cantidad de gravilla necesaria para la construcción del filtro	111
Ecuación 37. Cálculo de la cantidad de arena necesaria para la construcción del filtro	111
Ecuación 38. Cálculo de la cantidad de antracita necesaria para la construcción del filtro	111
Ecuación 39. Cálculo de la importancia de la afección	120
Ecuación 40. Cálculo del valor de la multa por vertimiento	121
Ecuación 41. Cálculo de la tasa de oportunidad	121
Ecuación 42. Cálculo aproximado de los STD en aguas residuales	137
Ecuación 43. Cálculo de SST	138
Ecuación 44. Cálculo de la DBO a partir del OD	139
Ecuación 45. Cálculo de la distancia fondo a base del impulsor (E)	149
Ecuación 46. Cálculo del diámetro del impulsor (Da)	149
Ecuación 47. Cálculo del ancho de la paleta (W)	149
Ecuación 48. Cálculo de los ST	149
Ecuación 49. Cálculo del porcentaje de remoción de sólidos	151
Ecuación 50. Cálculo de la eficiencia requerida	151
Ecuación 51. Cálculo de la cantidad de agua tratada por hora en el tanque de coagulación – floculación.	153

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
Anexo A. Consumo de agua para los años 2015,2016 y 2017	132
Anexo B. Datos obtenidos de pH, caudal y temperatura en la producción baja, media y alta	134
Anexo C. Historiales de caracterización del agua residual de Alimentos SAS S.A.S	136
Anexo D. Procedimiento experimental para el cálculo de sólidos y DBO de la muestra de AR.	137
Anexo E. Neutralización	140
Anexo F. Método experimental de jarras para coagulación y floculación	142
Anexo G. Fichas de seguridad (MSDS) de las sustancias químicas necesarias para la propuesta de tratamiento	144
Anexo H. Cálculo de parámetros para el dimensionamiento de equipos	149
Anexo I. Consideraciones de los costos de la propuesta de tratamiento	154
Anexo J. Informes de análisis realizados por BRIOTRENDS S.A.	157

## GLOSARIO

**AGUA RESIDUAL:** flujo de agua proveniente de un proceso de producción el cual contiene diferentes tipos de contaminantes.

**COAGULACIÓN:** es el proceso por el que los componentes de una suspensión o disolución estable son desestabilizados por suspensión de las fuerzas que mantienen su estabilidad.<sup>1</sup>

**DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO):** indicador del potencial contaminante de un efluente, en el que la contaminación se debe a la utilización del oxígeno disuelto por parte de los microorganismos que descomponen la materia orgánica presente en el efluente. Se mide como el peso (en mg) de oxígeno consumido en un litro de muestra del efluente almacenado a la oscuridad a 20°C.<sup>2</sup>

**DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO):** expresa el contenido de materias orgánicas oxidables y contaminantes en aguas. Se expresa en ppm de O<sub>2</sub>. Las aguas normalmente no contaminadas tienen valores de 1 a 5 ppm.<sup>3</sup>

**DESBASTE:** proceso mecánico que permite separar materiales sólidos de gran tamaño generalmente por medio de mallas o una placa perforada.<sup>3</sup>

**FLOCULACIÓN:** es el proceso por el que las partículas desestabilizadas se unen para formar grandes se unen para formar grandes partículas estables o aglomeradas.<sup>1</sup>

**HOMOGENEIZACIÓN:** operación unitaria usada para evitar las descargas violentas, minimizando las fluctuaciones en las características del agua tanto en calidad como en cantidad con el fin de proveer las condiciones óptimas para los tratamientos subsecuentes.<sup>4</sup>

---

<sup>1</sup> Aguilar, M.I, Sáez, J. Llórens, M. Soler, A. Ortuño, J.F. Coagulación y floculación. Tratamiento físico- químico de aguas residuales coagulación- floculación. [En línea] [Fecha de consulta: 27 de noviembre de 2017]. Disponible en: [https://books.google.com.co/books?id=8vIQBXPvhAUC&printsec=frontcover&dq=coagulacion+agua&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwi27L7n5vDXAhVGUd8KHTi\\_BaUQ6AEIJjAA#v=onepage&q=coagulacion%20agua&f=false](https://books.google.com.co/books?id=8vIQBXPvhAUC&printsec=frontcover&dq=coagulacion+agua&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwi27L7n5vDXAhVGUd8KHTi_BaUQ6AEIJjAA#v=onepage&q=coagulacion%20agua&f=false)

<sup>2</sup> Diccionarios Oxford-complutense Ciencias de la Tierra. 2000. Editorial complutense. Página 218. DQO Y DBO [Libro en línea] [Fecha de consulta: 04 de diciembre de 2017] disponible en: <https://books.google.com.co/books?id=1XKXQqUGDnoC&pg=PA218&dq=demanda+bioquimica+de+oxigeno&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiftoOnvuTMAhXB1h4KHT5-AfsQ6AEIITAC#v=onepage&q=demanda%20bioquimica%20de%20oxigeno&f=false>

<sup>3</sup> Verdugo, J. Cribado. [En línea] [Fecha de consulta: 27 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/aLeeMontijo/cribado>

<sup>4</sup> Aguamarket. Homogeneización. [En línea] [Fecha de consulta: 04 de diciembre de 2017] disponible en: <http://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=2785>

**OXIDACIÓN AVANZADA- MÉTODO FENTON:** la reacción de Fenton es un proceso de oxidación propuesto por H. J. H Fenton (1894) para la oxidación de ácido tartárico. El método se basa en la generación de radicales hidroxilo ( $\bullet\text{OH}$ ) por la adición de peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) a sales metálicas de hierro ( $\text{Fe}^{+2}$ ) en disolución, obteniendo mejores resultados a valores de  $\text{pH} = 3,0$ .<sup>5</sup>

**PERFIL DE SÓLIDOS:** los sólidos contenidos en medio de los líquidos constituyen diversos mecanismos y fenómenos asociados al comportamiento dinámico de las soluciones, en donde pasan a ser diluidas a grandes concentraciones del disolvente. Con el objeto de evaluar la calidad analítica del agua en cuanto a los sólidos contenidos se conocen los siguientes tipos de sólidos: Sólidos sedimentables (SSED) y Sólidos suspendidos totales (SST) principalmente.<sup>6</sup>

**pH:** expresa condiciones ácidas, básicas o neutras de una solución, calculado por el número de iones hidrógeno presentes y este influye en los procesos de tratamiento. Es medido en la escala desde 0 a 14, en donde 7 indica que la sustancia es neutra, valores por debajo de 7 indican que la sustancia es ácida y por encima de 7 indican que la sustancia es básica.<sup>7</sup>

**PULPA DE FRUTA:** es la parte comestible de la fruta; lo que significa que es el producto obtenido por la separación de la cáscara, semillas y el bagazo a través de un proceso tecnológico, del resto de la fruta.<sup>8</sup>

**TRATAMIENTOS PRIMARIOS:** son aquellos que eliminan los sólidos en suspensión presentes en el agua residual. Los principales procesos físico- químicos que pueden ser incluidos en el tratamiento primario son: sedimentación, flotación, coagulación floculación y filtración.<sup>9</sup>

---

<sup>5</sup> SALAS, Gilberto y NEPTALI, Ale. Tratamiento de las aguas residuales de una refinera de petróleo por oxidación avanzada (AOX) usando el reactivo Fenton ( $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{+2}$ ). Revista Peruana de química e ingeniería química. [en línea] 2008. Vol.11, No 2.[Fecha de consulta: 04 de diciembre de 2017], pp 12 a 18.Diponible en: <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/4551>. ISSN: 1609-7599.

<sup>6</sup> Moreno, N. Guerra, J. Calidad del agua. Perfil de sólidos. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. [En línea] [Fecha de consulta: 04 de diciembre de 2017] disponible en: <http://calidaddelagua.webs.com/solidos-y-volumetrias>

<sup>7</sup> WHITTEN, Kenneth W., et al. Química General. pH. México: Cengage Learning, 2008. 978970686

<sup>8</sup> Nuestras pulpas de fruta. Alimentos SAS S.A.S. [En línea] [Fecha de consulta: 09 de julio de 2018] disponible en: <https://www.alimentossas.com/nuestras-pulpas-de-fruta>

<sup>9</sup> Cyclus Empresa. Tratamiento primario. [En línea] [Fecha de consulta: 04 de diciembre de 2017] disponible en: <http://www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales/tratamiento-aguas/tratamiento-primario/>

## ABREVIATURAS

**AR:** Agua Residual Industrial

**AD:** Agua Doméstica

**OD:** Oxígeno disuelto

**DBO:** Demanda biológica de oxígeno

**DQO:** Demanda química de oxígeno

**PAC:** Policloruro de aluminio

**PTAR:** Planta de tratamiento de aguas residuales

**SSED:** Sólidos sedimentables

**SST:** Sólidos suspendidos totales

**SDDA:** Sulfato doble de aluminio y amonio (Alumbre)

**STD:** Sólidos totales disueltos.

**H:** altura del tanque.

**Dt:** diámetro del tanque.

**Da:** diámetro del impulsor.

**E:** distancia del impulsor al fondo del tanque.

**p/p:** Relación o proporción peso a peso.

**p/v:** Relación o proporción peso a volumen.

## RESUMEN

Para lograr el desarrollo de una propuesta para el tratamiento de aguas residuales proveniente del proceso de producción de pulpas de fruta de la empresa Alimentos SAS S.A.S se realizaron diferentes análisis experimentales, encabezados por la homogeneización del agua residual y la caracterización de esta, por medio de un perfil de sólidos, DQO, DBO, y caracteres físicos como olor, color, pH y conductividad.

Después de obtener una caracterización general del agua residual proveniente del proceso, se realizan pruebas para pretratamiento, es decir desbaste y homogeneización y como tratamiento primario coagulación- floculación. Para esto, se prueban diferentes tipos de filtros por medio de soportes con tubos de PVC con diferentes materiales filtrantes y se escoge la que tenga una mayor reducción de sólidos, DQO, DBO, color, olor, pH y conductividad.

Después de haber realizado la prueba con el mejor filtro, se prosigue a escoger el mejor coagulante y/o floculante para el proceso, teniendo diferentes referencias bibliográficas de proyectos similares al presente trabajo, seleccionando algunos químicos como sulfato de aluminio, policloruro de aluminio, asefloc, polímero aniónico, cloruro férrico y policloruro de aluminio, donde se escoge el que mayor reducción tenga en color, olor y conductividad, llevando a determinación de DQO y DBO final y así teniendo una comparación de valores iniciales en la caracterización inicial y un valor final posterior al coagulante y/o floculante.

Finalmente, se analiza el método Fenton como complemento del tratamiento primario, con peróxido de hidrógeno a diferentes concentraciones observando de manera cualitativa y posteriormente cuantitativa el descenso de los valores de los parámetros iniciales de la caracterización, comparándolo con el pretratamiento y finalizando con el tratamiento primario observando así su cercanía con la resolución 0631 del 17 de marzo de 2015.

Luego de tener el pretratamiento y tratamiento primario seleccionado, dejando claro además las especificaciones técnicas obtenidas a nivel laboratorio en cuanto a dosificaciones y condiciones generales como pH, se prosiguió a dimensionar los equipos que se podrían utilizar en una PTAR cumpliendo con los requisitos establecidos según la demanda de agua diaria y los requisitos presentados en las pruebas de laboratorio, finalmente se analizan los costos con la propuesta presentada, teniendo en cuenta las multas y sanciones que se pueden presentar con el incumplimiento de la normatividad colombiana.

## INTRODUCCIÓN

Alimentos SAS S.A es una empresa ubicada en el barrio Cundinamarca localidad de Puente Aranda en la ciudad de Bogotá, la cual se dedica a la producción de pulpas de frutas tropicales. Mensualmente produce más de tres millones de kilogramos de pulpa de fruta en producción discontinua e intermitente, adaptada a oferta o demanda referida a los ciclos productivos y a las necesidades del mercado actual.

El proceso de producción de pulpas tiene siete etapas fundamentales, las cuales son, el ingreso de la materia prima, lavado- desinfección de la fruta, despulpado- refinado, pasteurización, llenado, empaque- embalaje, y finalmente almacenamiento del producto, de este proceso, sale como principal desecho el agua utilizada durante diferentes etapas de producción, lavado- desinfección, despulpado- refinado y finalmente en pasteurización. La cantidad de agua residual final en promedio es de 11.500 a 20.000 litros por día, con variaciones en sus propiedades fisicoquímicas como pH, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, demanda química de oxígeno y demanda biológica de oxígeno principalmente, los cuales dependen de la producción, haciendo que el agua no cumpla con la normativa de vertimientos enunciada en la resolución 0631 del 17 de marzo del 2015 del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.

Dicha problemática es causada por diferentes motivos, dentro de los principales se encuentran la integración de químicos en la producción principalmente en el lavado- desinfección de la fruta, la cantidad de residuos naturales de la fruta que entran al proceso como tierra, cáscaras o semillas; las condiciones de las tuberías del agua generada en las distintas etapas de producción y finalmente el manejo inadecuado de los lugares de almacenamiento y recolección del agua generada por la planta. Las alteraciones presentadas en las propiedades traen consigo una serie de consecuencias para la empresa asociadas principalmente a la contaminación de fuentes hídricas en la zona de Puente Aranda, que causan el incumplimiento de los requerimientos legales de calidad de agua para para vertimiento (resolución 0631 del 2015).

Este trabajo se realiza con la finalidad de reducir la concentración de los principales parámetros que afectan al agua residual de Alimentos SAS S.A.S para así lograr cumplir con la resolución 0631 del 2015 y disminuir la carga contaminante de las fuentes hídricas de Puente Aranda.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar una propuesta para el tratamiento de aguas residuales provenientes del proceso de producción de pulpas de fruta de Alimentos SAS S.A.S.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Diagnosticar el agua residual total del proceso de producción de pulpas.
2. Determinar los parámetros y condiciones de tratamiento del agua residual para la disminución de la carga contaminante mediante un desarrollo experimental.
3. Establecer las especificaciones técnicas del tratamiento planteado.
4. Evaluar los costos de la propuesta de tratamiento planteada.

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1 AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

Inicialmente, se denomina aguas residuales a aquellas que provienen del uso doméstico o industrial, también llamadas aguas negras o cloacales. Son residuales puesto que después de su uso constituyen un residuo, afectando el uso directo para seres vivos. Están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado incluyendo agua lluvia e infiltraciones de agua del terreno.

Para declarar el agua como residual debe salirse de los márgenes legales que se proponen en Colombia en la resolución 0631 de 2015, las propiedades fisicoquímicas alteradas y los mayores contaminantes que se ven a grandes rasgos varían desde el pH, coloración y olor hasta DQO y DBO siendo estos últimos los de mayor concentración que se encuentran en los vertimientos de la producción de pulpas de fruta.

**1.2.1 Características y clasificación de las aguas residuales industriales.** Las aguas residuales industriales son aquellas que provienen de cualquier actividad industrial cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua, incluyendo los líquidos residuales, agua de proceso y aguas de drenaje. Los líquidos residuales se derivan directamente de la fabricación de todo tipo de productos; las aguas residuales provienen del empleo del agua como medio de transporte, lavado, refrigeración directa, etc. La concentración por agentes contaminantes es diez veces inferior a los líquidos residuales, pero su caudal puede llegar a ser cincuenta veces superior. Las industrias se clasifican en cinco grupos según sus vertidos:

- Industrias con efluentes principalmente orgánicos, en este grupo se encuentran las industrias papeleras, azucareras, mataderos, curtidos, conserveras, lecherías y subproductos, fermentaciones, preparación de productos alimenticios y bebidas.
- Industrias con efluentes orgánicos e inorgánicos, algunas industrias principales de este grupo son las refinerías y petroquímicas, químicas y textiles.
- Industrias con efluentes principalmente inorgánicos, principalmente en industrias químicas, limpieza y recubrimiento de metales, explotaciones mineras y salinas.
- Industrias con efluentes con materias en suspensión, se ve reflejado en lavaderos de mineral y carbón, corte y pulido de mármol y otros minerales, laminación en caliente y colada continua.

- Industrias con efluentes de refrigeración, como centrales térmicas y centrales nucleares.

El vertido de las aguas residuales, dependen del proceso productivo, ya sea continuo con una entrada y una salida continua del fluido como procesos de transporte, refrigeración; o discontinuo el cual puede tener varias entradas y una salida, el caudal es menor y mucho más contaminado.<sup>10</sup>

### 1.3 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Se define como tratamiento de agua residual a aquellos métodos donde se utilizan procesos tanto físicos, químicos y/o biológicos para la eliminación o disminución de contaminantes en el agua efluente manipulada y/o usada por el ser humano, tiene como objetivo producir un agua limpia y un residuo sólido (también llamado lodo) para su disposición o reúso.<sup>11</sup>

Para dar cabalidad al objetivo principal del tratamiento de agua residual, éste se divide en sub-tratamientos los cuales son: tratamientos preliminares también llamados pretratamientos, primarios, secundarios y terciarios.

**1.3.1 Tratamientos preliminares o pretratamientos.** Son aquellos tratamientos que se ubican en la entrada de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) tiene como finalidad eliminar constituyentes de mayor tamaño como sólidos, arenas y grasas para que no interfieran en tratamientos posteriores causando daños mecánicos a los equipos utilizados. Las principales operaciones de pretratamiento son:

- Tamizado o desbaste: Se emplean equipos para retener sólidos gruesos presentes en el agua residual (SST), estos equipos pueden tener barreras o varillas paralelas para la remoción, utilizando generalmente rejas o tamices.
- Desengrasado: Consiste en la separación de grasas y aceites arrastradas por el agua residual evitando la formación de problemas de depuración como obstrucción de rejillas finas, formación de una capa en los decantadores dificultando la sedimentación atrayendo pequeñas partículas orgánicas.
- Homogeneización: Es el mezclado de los distintos efluentes generados en el proceso productivo consiguiendo la disminución del caudal del flujo y de las concentraciones de las diferentes características del vertido siendo más uniforme con el tiempo. Este proceso mejora la tratabilidad del agua residual,

---

<sup>10</sup> Redacción Ambientum. Clasificación de las aguas residuales industriales. Revista ambientum. [en línea] 2002. Edición Junio. [Fecha de consulta: 10 de diciembre de 2017]. Disponible en: [http://www.ambientum.com/revista/2002\\_22/CLSFCCNG1\\_imprimir.htm](http://www.ambientum.com/revista/2002_22/CLSFCCNG1_imprimir.htm)

<sup>11</sup> Disponible en internet vía anónimo FTP: <https://mentecuerposano.com/tratamiento-de-aguas-residuales/>

estabiliza el pH, reduce los requerimientos de área y las cargas para un tratamiento posterior, se hace más fácil la dosificación de los reactivos y mejora la confiabilidad y rendimiento del proceso.

**1.3.2 Tratamientos Primarios.** Remueve la materia orgánica y los sólidos suspendidos mediante productos químicos. Dentro de los tratamientos primarios se encuentra:

- **Neutralización:** interacción de soluciones que contienen iones de hidrógeno o hidroxilos para formar sales neutras, se hace generalmente para prevenir la corrosión de metales, hacer más efectiva la operación de sistemas biológicos y así mismo facilitar las condiciones de operaciones siguientes.
- **Coagulación:** en esta parte del tratamiento es necesario el uso de productos químicos (coagulantes) para la eliminación de contaminantes el cual forma una serie de reacciones químicas y físicas con la superficie de partículas en el agua, su principio se basa en desestabilizar las partículas coloidales por medio de una neutralización de sus cargas eléctricas. Dentro de los principales factores que influyen la coagulación se encuentra el tipo de coagulante, la dosis, pH, turbiedad, presencia de aniones, gradiente de velocidad, tiempo de mezcla, temperatura, concentración de la solución coagulante, entre otros.
- **Floculación:** es el fenómeno en donde las partículas desestabilizadas chocan unas con otras formando puentes entre ellas y de forma paralela una malla tridimensional de coágulos los cuales se sedimentan gracias a la gravedad. Este proceso se lleva a cabo a bajas velocidades y se puede usar un floculante para ayudar a la formación de mallas.
- **Sedimentación:** en esta parte del tratamiento se elimina la materia en suspensión que lleve el agua residual, los flóculos precipitados en el proceso de coagulación y la separación de contaminantes en un proceso de precipitación química.<sup>12</sup>
- **Oxidación avanzada con el reactivo Fenton:** es considerado un tratamiento en combinación con los tratamientos convencionales que puede incluirse en las diferentes etapas de tratamiento, como se presenta para este proyecto como un complemento del tratamiento primario. Consiste en agregar sales de  $Fe^{+2}$  en un medio ácido para promover la descomposición catalítica del  $H_2O_2$  en

---

<sup>12</sup> CRISTANCHO y NOY. Diseño conceptual de una planta de tratamiento de agua residuales para Pelikan Colombia S.A.S. Tesis de grado. Bogotá D.C. Fundación Universidad de América. Facultad de ingeniería., 2016. 31 p.

radicales HO<sup>•</sup> los cuales son capaces de oxidar la materia orgánica y compuestos inorgánicos como sulfuros presentes en el agua residual.<sup>13</sup>

**1.3.3 Tratamientos secundarios o biológicos.** Los tratamientos secundarios son procesos biológicos en los que la depuración de materia orgánica biodegradable del agua residual se efectúa por acción de microorganismos los cuales se mantienen en suspensión en el agua o se adhieren a un soporte sólido formando una capa de crecimiento. Los principales tratamientos secundarios son:

- Tratamientos aerobios: industrialmente los más empleados son los lodos activados y tratamientos de bajo costo como filtros, biodiscos, biocilindros, lechos de turba, filtros verdes y lagunaje. En estos procesos la materia orgánica es descompuesta por acción de microorganismos y el oxígeno presente en el aire, los cuales lo utilizan formando dióxido de carbono y especies minerales oxidadas.
- Tratamientos anaerobios: es la descomposición u oxidación de la materia orgánica realizada por bacterias en ausencia de oxígeno libre, se realiza generalmente en reactores cerrados, la mayoría de las sustancias orgánicas se convierte en dióxido de carbono y metano. Este proceso es menos eficiente en la producción de energía que el aerobio, debido a que la mayoría de la energía liberada en el catabolismo permanece en el producto final como el metano y la cantidad de biomasa generada es de menor proporción.
- Tratamientos mixtos: en algunos casos se usan tratamientos aerobios y anaerobios ya sea de forma consecutiva, alternante o simultáneos.
- Tratamientos facultativos: en este tipo de tratamiento interfieren organismos facultativos, los cuales son indiferentes a la presencia de oxígeno disuelto.<sup>14</sup>

**1.3.4 Tratamientos terciarios.** el objetivo principal de los tratamientos terciarios es obtener un efluente de mayor calidad por medio de la eliminación de contaminantes que perduran después de realizar tratamientos primarios y secundarios, estos tratamientos son específicos y de alto costo. Dentro de los tratamientos terciarios se encuentra:

- Tratamiento iónico: tiene como finalidad eliminar por medio de una resina catiónica o aniónica el exceso de iones inorgánicos tanto positivos como

---

<sup>13</sup> BAUTISTA, Patricia. Tratamiento de aguas residuales de la industria cosmética mediante el proceso Fenton y con el sistema Fe/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Doctor en ciencias químicas. Madrid. Universidad Autónoma de Madrid. 2008. 239 p.

<sup>14</sup> Disponible en internet:

<https://books.google.com.co/books?id=a94mHAAACAAJ&dq=jairo+alberto+romero&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiW8KGL6cHbAhUNwikKHUP2BKwQ6AEILDAB>

negativos, esto se presenta gracias al intercambio con otros iones contenidos en la resina.

- Osmosis inversa: en este proceso el agua residual pasa a través de una membrana porosa mediante la acción de una fuerza impulsora, donde se consigue una separación en función del tamaño de las moléculas presentes en el efluente y del tamaño de poro de la membrana.<sup>15</sup>
- Fotocatálisis: en este proceso se realiza una reacción oxidativa, en donde los contaminantes son destruidos mediante el empleo de radiación solar ultravioleta y catalizadores con el fin de formar radicales hidroxilos, los cuales tendrán un efecto oxidante sobre los contaminantes químicos. En este proceso se utiliza como catalizador  $\text{TiO}_2$  y la radiación ultravioleta como única fuente de energía.<sup>16</sup>
- Filtración granular: son medios de retención de contaminantes por medio de materiales granulares tal como arenas, antracita, carbón activado, grava, entre otros., que se presentan en cuerpos de agua principalmente. Para realizar una buena filtración se debe asegurar que dichos materiales cuenten con especificaciones de tamaño efectivo y coeficiente de uniformidad asegurando su comportamiento durante la filtración asociado con el flujo y remoción efectivos. Existen 2 tipos de filtros en cuanto a su velocidad de filtración, aquellos que cuentan con un solo material considerados lechos lentos usados generalmente para aguas con carga baja de contaminantes, para los lechos múltiples, que hacen uso de 2 o más materiales<sup>17</sup> se aplican a aguas con mayor presencia de contaminantes. Es importante considerar los siguientes 5 aspectos para llevar a cabo una filtración de este tipo: Tamaño del medio y altura del lecho, presión disponible, modo de filtrar (ascendente o descendente) y la velocidad de filtración.<sup>18</sup>

#### 1.4 MARCO LEGAL

El Ministerio de Medio Ambiente de Colombia enuncia en la Resolución 0631 del 17 de marzo de 2015 “Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras

---

<sup>15</sup> CRISTANCHO y NOY. Op.cit., p.32.

<sup>16</sup> GARCÉS GIRALDO, Luis Fernando, et al.La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales Revista Lasallista de Investigación, vol. 1, núm. 1, junio, 2004, pp. 83-92 Corporación Universitaria Lasallista Antioquia, Colombia.

<sup>17</sup> Teoría, diseño y control de los procesos para la clarificación del agua. [en línea]. Disponible en: <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/9337/1/3754-0505547.pdf>

<sup>18</sup> RIGOLA, Miguel. Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales. Marcombo, 1989.65 p. ISBN 8426707408, 9788426707406

disposiciones” integrando los artículos 49, 79 y 80, el decreto 3930 del 2010 y la ley 99 de 1993 de la Constitución Política de Colombia.

Dentro de la Resolución 0631 se destaca el artículo 12 donde se denuncian parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas ARn- D a cuerpos de aguas superficiales de actividades asociadas con elaboración de productos alimenticios y bebidas. Los parámetros se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Parámetros fisicoquímicos, artículo 12 de la resolución 0631 del 2015

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Elaboración de PA*<sup>19</sup></b>
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L O <sub>2</sub>	600,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L O <sub>2</sub>	400,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	200,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	2,00
Grasas y Aceites	mg/L	20,00
<b>Iones</b>		
Cianuro Total (CN)	mg/L	0,50
Cloruros (Cl)	mg/L	250,00
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	250,00
<b>Metales y Metaloides</b>		
Cadmio (Cd)	mg/L	0,05
Cinc (Zn)	mg/L	3,00
Cobre (Cu)	mg/L	1,00
Cromo (Cr)	mg/L	0,50
Mercurio (Hg)	mg/L	0,01
Níquel (Ni)	mg/L	0,50
Plomo (Pb)	mg/L	0,20
<b>Otros parámetros para análisis y reporte</b>		
Acidez Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y reporte
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y reporte
Dureza Cálcica	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y reporte
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y reporte
Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm y 620 nm)	m <sup>-1</sup>	Análisis y reporte

Fuente: resolución 0631 del 17 de marzo de 2015

<sup>19</sup> \* Productos Alimenticios

## **2. DIAGNÓSTICO DEL AGUA RESIDUAL GENERADA EN ALIMENTOS SAS S.A.S**

A lo largo de este capítulo se describe el proceso de producción de pulpas de fruta de Alimentos SAS S.A.S, los equipos utilizados durante el proceso, la razón social de la empresa, las condiciones actuales de estado del AR y su disposición.

### **2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA**

Fundada en 1981 Alimentos SAS S.A.S es una empresa perteneciente al sector agroindustrial, dedicada al desarrollo, producción y comercialización de pulpas, néctares de fruta, congelados y asépticos de excelente calidad <sup>20</sup>, con 30 años de trayectoria en el mercado nacional e internacional, reconocida por fabricar productos de larga duración que no requieren refrigeración, puesto que sus productos son sometidos a un proceso de llenado aséptico(\*), siendo pioneros en el mercado al emplear esta tecnología generalmente usada en productos lácteos para mejorar la calidad e inocuidad del producto.

Sumado a esto la empresa cuenta con certificaciones sanitarias y de producción como ISO 22000, ISO 9001, HACCP, KOSHER (\*\*), concepto favorable de la FDA y del INVIMA que avalan los procesos productivos de calidad garantizando el uso de frutas sanas, limpias y libres de microorganismos, pesticidas tóxicos y cualquier desperdicio animal y/o vegetal que posean; certificando que las frutas han alcanzado un estado óptimo de maduración y por tanto, los 2.743.869 kg de pulpa de fruta que se produce en promedio anualmente dependiendo de la demanda, poseerá las características de aroma, color, sabor y textura firme de la fruta.

La planta de producción cuenta con un área de 2400 m<sup>2</sup>, está ubicada en la zona industrial del barrio Puente Aranda en Bogotá (Figura 1) y cuenta con más de 100 trabajadores encargados de las diferentes áreas (producción, comercialización, administración y planeación). Cada departamento ha trabajado en conjunto para llevar a Alimentos SAS S.A.S a diferentes mercados como cadenas de autoservicio, clientes institucionales (cadenas de comidas rápidas, hoteles, restaurantes, instituciones educativas y hospitalarias) y clientes industriales (fábricas de mermeladas, derivados lácteos, jugos etc).

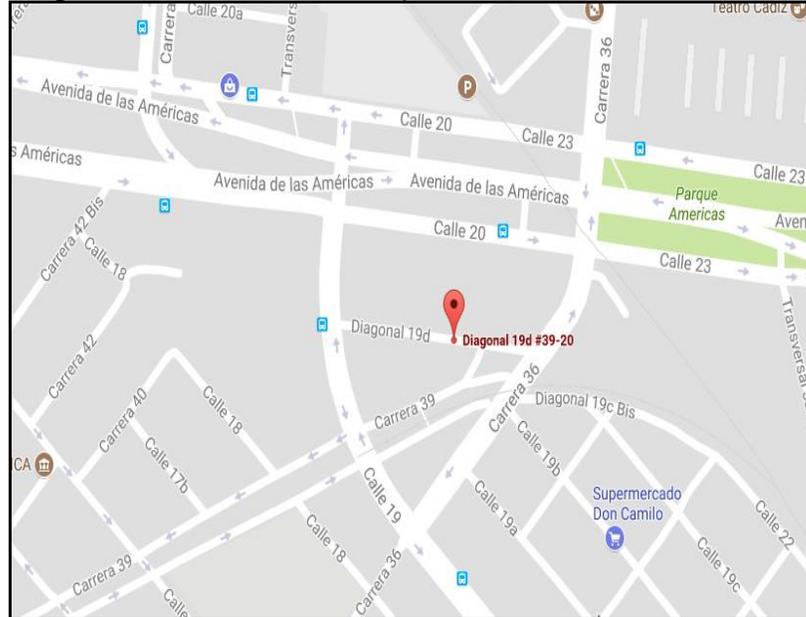
---

<sup>20</sup> Disponible en internet: <https://www.alimentossas.com/>

\* Tecnología de llenado en medio frío y condiciones estériles para la preservación de alimentos pasteurizados.

\*\* Normas de seguridad alimentaria.

**Figura 1. Ubicación en mapa de Alimentos SAS S.A.S.**



Fuente: ubicación Alimentos SAS S.A.S. Google maps

**2.1.1 Descripción del proceso de producción.** Se conoce como pulpa a la parte comestible de las frutas que es separada de la cáscara, las semillas y el bagazo; dicha parte comestible condensa nutrientes, proteínas, fibras, vitaminas A, E y C, sabor, color y aroma que al ser extraída por medio de tecnología se obtiene un jugo de manera natural, puede ser utilizada para bases de helados, postres, mermeladas, entre otras aplicaciones industriales. El proceso de producción de pulpas consta de las siguientes etapas<sup>21</sup>:

- 1. Recepción y selección de la materia prima:** las frutas son seleccionadas minuciosamente bajo los estándares físicos adecuados que cumplan con las condiciones establecidas como el buen estado orgánico, destacando características como buen color, olor y textura (que no esté blanda ni con picaduras); de igual manera se verifican algunos estándares de sanidad enfocados a la ausencia de parásitos y/o animales de menor tamaño que afecten la calidad del producto terminado. Posteriormente a la selección, estas se almacenan a temperatura ambiente por periodos de tiempo cortos dependiendo de la demanda para su producción y del periodo de vida útil que estas posean. Si el periodo de tiempo de almacenamiento es mayor o igual a 3 días, se evalúa nuevamente los estándares físicos adecuados para comenzar el proceso de producción de las pulpas.

<sup>21</sup> Manual de procedimiento de la empresa Alimentos SAS S.A.S. Disponible en: <https://www.alimentossas.com/>

- 2. Lavado - desinfección:** las frutas seleccionadas son llevadas a una banda transportadora de rodillos en donde se hace una segunda selección minuciosa de los estándares físicos y de sanidad ya mencionados, posteriormente la fruta se pesa para tener un control entre la materia prima que se utiliza en el proceso, la pulpa resultante y los desechos obtenidos. Después de que la fruta pasa por la báscula, se coloca en una banda transportadora y se lleva a un tanque de lavado el cual contiene 2 litros de agua, allí se limpian de la superficie de la fruta los sólidos de mayor tamaño como hojas, ramas, tierra, entre otros; después del tanque de lavado la fruta pasa a otra banda transportadora de rodillo donde es lavada mediante un sistema de duchas, las cuales contienen ácido peracético en una concentración del 0,02 - 0,03% y finalmente se trocea la fruta para ser llevada al despulpado.
- 3. Despulpado - refinado:** luego de que la fruta está previamente seleccionada, lavada - desinfectada y troceada, ésta se clasifica según su tamaño ya sea grande o pequeña. En el caso de algunas frutas de gran tamaño como piña, maracuyá, durazno, guayaba, mango, tomate de árbol, entre otras; se llevan a una primera despulpadora con un tamiz de 8 mm y para las frutas que presentan un tamaño pequeño como feijoa, uva, fresa, mora, entre otras se llevan a la segunda despulpadora o micro despulpadora la cual tiene un tamaño de tamiz de 6 mm. Las dos despulpadoras se encargan de separar la fruta de su cáscara, semillas y bagazo (para las frutas que lo posean) por medio de unas cuchillas internas que posee la despulpadora, estos desechos son eliminados y se utiliza la parte comestible de la fruta para realizar los productos que ofrece la empresa al mercado; posterior a la separación de la pulpa ésta es homogeneizada totalmente por medio de un mezclador que está adjunto al equipo de despulpado para tener una mezcla uniforme.
- 4. Pasteurización:** la mezcla generada del despulpado- refinado se pasa al pasteurizador el cual realiza diferentes subprocesos los cuales son monitoreados y controlados por un PLC. Este sistema se divide principalmente en endulzado de la pulpa, reducción de carga microbiana y esterilización de empaques.

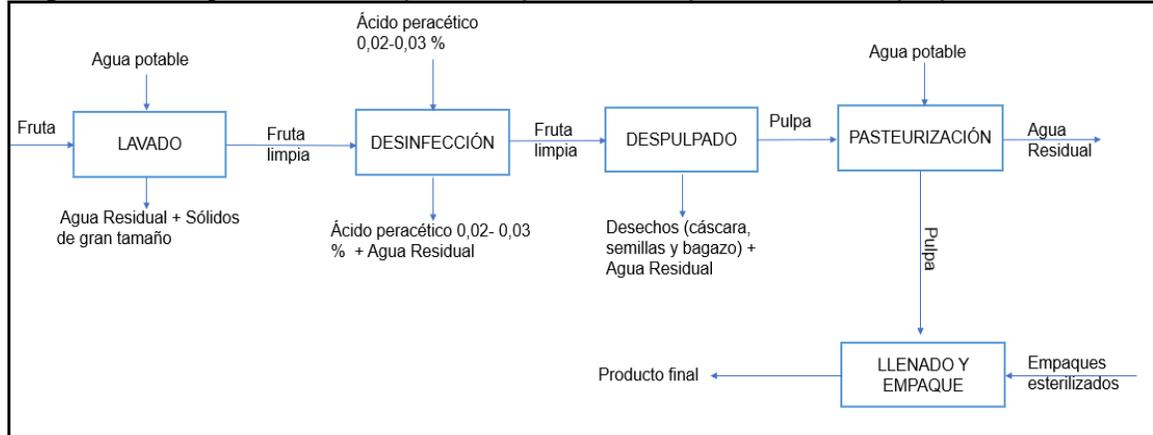
En el endulzado, se encuentran tres tanques de mezcla en donde se ingresa la pulpa y se añade agua con glucosa en una proporción 1:10. La fruta se distribuye en los diferentes tanques según su pH es decir si es básica, neutra o ácida. El endulzado o paso por esta función depende del producto que se quiera, por ejemplo, para realizar bases de yogures se requiere un total de 8 gr de azúcar y si la pulpa no sufre dicha cantidad se añade la solución de agua y glucosa para alcanzar lo requerido. Otros productos como las pulpas larga vida, no necesitan de un endulzado adicional así que omiten este subproceso y pasan a la reducción de carga microbiana antes de pasar al proceso de llenado. Este subproceso se realiza de

forma continua a 65°C. Finalmente, los empaques son esterilizados en el pasteurizador con el fin de eliminar la carga microbiana que puedan poseer los empaques y puedan afectar la calidad del producto terminado.

- 5. Control de Calidad:** la empresa cuenta con un área adaptada para comprobar la calidad de la pulpa después del proceso de pasteurización, garantizando así las condiciones de las propiedades y características de la pulpa sean aptas para el consumo; las pruebas que se realizan para garantizar la inocuidad de las pulpas y poder sacar el producto al mercado se basan principalmente en la medición de los grados Brix, pH, acidez - alcalinidad de las pulpas, esterilidad comercial- sensorial; algunas pruebas microbiológicas para alimentos como de identificación de Salmonella, mohos y bacterias.
- 6. Llenado:** se realiza mediante un tanque aséptico, este equipo somete el producto a un proceso HTST (High HTST Temperature Short Time/Alta Temperatura, Tiempo Corto) con un rango de temperatura entre 72 a 112 °C por 15 segundos que garantiza su conservación y potencia sus propiedades de color, olor y sabor dando valor agregado al producto final. Posteriormente se realiza la inyección de la fruta mediante tuberías de acero inoxidable ya sea al tambor aséptico, tanques de almacenamiento o bolsas asépticas las cuales se esterilizan mediante rayos UV en el pasteurizador. El producto terminado y listo para su envasado se puede encontrar en 3 presentaciones principalmente tambor aséptico de 200 kg utilizado generalmente para grandes empresas, en tanques de almacenamiento los cuales varía su volumen de llenado de acuerdo a la producción y demanda; estos prolongan la vida útil del producto y son utilizados generalmente para almacenar pulpa de exportación; finalmente la última modalidad de almacenamiento es en bolsas asépticas de 20 kg las cuales se almacenan posteriormente en cajas y se venden al mercado de manera oportuna.
- 7. Empaque y embalaje:** el proceso de empaque es manual, esto depende de la demanda que tenga el producto y así mismo se realizan los multiempaques. Dentro de los multiempaques se encuentra cajas de 6, 12, 36, 40 unidades o cajas de 3, 4, 5 paquetes los cuales contienen 10 unidades y finalmente canastas de 16 cajas de diferentes unidades. Por último, todos los productos terminados son llevados a las bodegas de almacenamiento a - 20°C para su conservación antes de ser distribuidas a los puntos de venta nacionales o destinadas a exportación.

Lo anterior se resume en la figura 2, donde se describe el proceso de producción de pulpas de fruta de la empresa Alimentos SAS S.A.S.

**Figura 2.** Diagrama de Bloques del proceso de producción de pulpas de fruta.



Fuente: elaboración propia

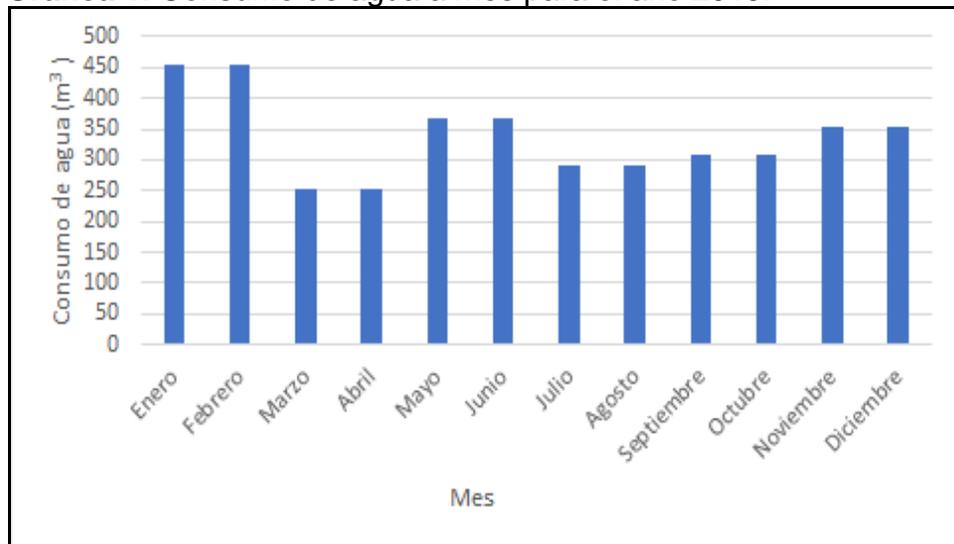
A partir de la descripción del proceso de producción y en concordancia con la figura 2 el agua residual generada en cada uno de los procesos de producción presenta diferentes valores en los parámetros evaluados según la resolución 0631 de 2015, esto se debe a que la elaboración de pulpas depende de la demanda y la cosecha de la fruta que se desea procesar, por tanto y según experimentación previa se clasifican en producción baja, media y alta, para la primera de ellas se considera el lavado de una fruta, para la segunda el lavado de 2 o 3 frutas y finalmente el lavado de 3 o más frutas, cada una de estas clasificaciones comprende el lavado semanal del pasteurizador.

**2.1.2 Balance Hídrico.** De las diferentes etapas en la producción de pulpas de frutas descritas en la sección 2.1.1 se puede apreciar que la mayor cantidad de agua residual proviene de los procesos de lavado - desinfección, despulpado - refinado y pasteurización ya que se generan entre 11.500 L a 20.000 L diarios dependiendo de la producción y los mantenimientos que se presenten (lavado de la despulpadora o del pasteurizador). Cabe mencionar que, el agua estudiada en este proyecto corresponde a los procesos de producción y mantenimiento de los equipos, y no al agua de uso doméstico o común (descarga de baños, lavado de implementos de cocina y/o laboratorio y limpieza de las instalaciones de la empresa), ya que su disposición y tratamiento están ligadas a una zona de descarga diferente a la del proceso de producción.

La producción anual de pulpas de fruta está sujeta al tiempo de cosecha y a la demanda que el producto tenga por parte de sus consumidores, para conocer el consumo total aproximado del agua utilizada por la empresa Alimentos SAS S.A.S se realiza el análisis de la producción y de los recibos de consumo de agua correspondientes a los años 2015, 2016 y 2017 con el fin de evaluar tanto el consumo de agua potable como la generación de AD y AR, los valores de consumo total para estos años se presentan en detalle en el anexo A.1 (tabla 39) y su comportamiento se presenta en las gráficas 1, 2 y 3; en la tabla 2 se analiza la

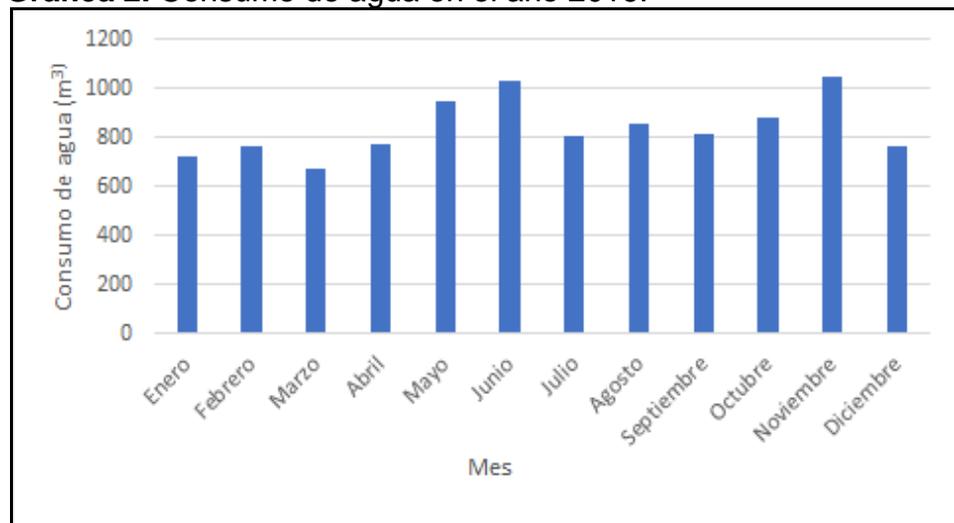
producción total anual en los 3 años mencionados con el objetivo de relacionar la producción con el consumo de agua, cabe aclarar que la producción está asociada a la fabricación de pulpa partiendo de las diferentes frutas encontradas en el mercado siendo estas ácidas, semiácidas y dulces (piña, mango, limón, guayaba, guanábana, mora, entre otros) que someten a la producción a periodos de cosecha y demanda del mercado.

**Gráfica 1.** Consumo de agua a mes para el año 2015.



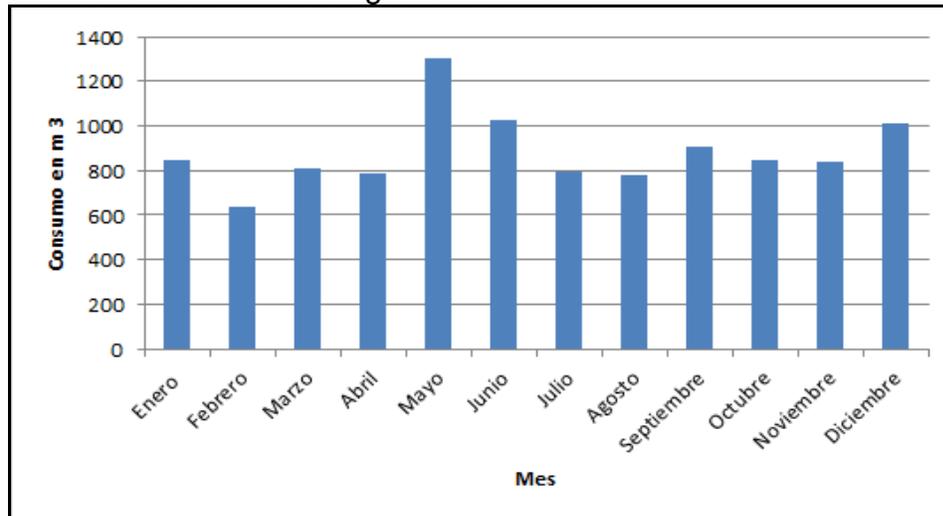
Fuente: elaboración propia.

**Gráfica 2.** Consumo de agua en el año 2016.



Fuente: elaboración propia.

**Gráfica 3.** Consumo de agua en el año 2017.



Fuente: elaboración propia.

**Tabla 2.** Producción total anual de la empresa Alimentos SAS S.A.S.

Mes	Producción Total (en toneladas)		
	2015	2016	2017
<b>Enero</b>	251.070	168.419	132.768
<b>Febrero</b>	147.666	218.879	96.961
<b>Marzo</b>	129.563	143.811	147.988
<b>Abril</b>	107.113	175.139	132.131
<b>Mayo</b>	292.006	306.142	572.552
<b>Junio</b>	254.954	546.852	398.430
<b>Julio</b>	293.274	230.066	145.749
<b>Agosto</b>	133.850	251.192	201.427
<b>Septiembre</b>	135.077	247.140	230.129
<b>Octubre</b>	122.613	248.147	257.710
<b>Noviembre</b>	198.012	264.310	303.302
<b>Diciembre</b>	156.538	253.740	356.888
<b>Total</b>	<b>2.221.736</b>	<b>3.053.837</b>	<b>2.976.035</b>

Fuente: alimentos SAS S.A.S

Como se muestra en las gráficas 1, 2 y 3 los aumentos y disminuciones en la cantidad de agua consumida según el periodo de producción de pulpas se ajustan a los valores de producción presentes en la tabla 2. Como se evidencia en las tres gráficas y corroborando los datos de la tabla 2 los meses de mayor consumo de agua son mayo, junio y noviembre, a excepción de diciembre para el año 2017 y del periodo enero - febrero para el año 2015.

**2.1.2.1 Agua Doméstica.** En las gráficas 1, 2 y 3 se presenta un consumo total del agua potable, es decir, la utilizada tanto para uso doméstico como para el proceso de producción. Para finalidades del proyecto, es necesario diferenciar el agua utilizada en zonas comunes (AD) para así relacionar el consumo directo del proceso de producción, para esto, se hace uso de la resolución 1391 de 2003<sup>22</sup> que especifica los procedimientos para solicitar licencias ambientales y que abarca la temática de aguas residuales industriales, por medio de la ecuación 1 la cual indica el cálculo del caudal de AD.

**Ecuación 1.** Cálculo del caudal de agua doméstica

$$Q(AD) = 0,17 \times \frac{\text{total de trabajadores}}{\text{días laborados al mes}}$$

Donde

Q(AD)= Caudal de agua doméstica.

El consumo doméstico para los años 2015, 2016 y 2017 varía debido a que la cantidad de trabajadores en estos años no fue la misma, para el año 2015 la empresa contaba con 93 trabajadores, en el año 2016 con 130 trabajadores y el año 2017 con 132 trabajadores, en ese orden de ideas se aplica la ecuación 1 para cada año.

Para el año 2015

$$Q(AD) = 0,17 * \frac{93}{27} = 0,5856 \text{ m}^3/\text{día}$$

Para el año 2016

$$Q(AD) = 0,17 * \frac{130}{27} = 0,8182 \text{ m}^3/\text{día}$$

Para el año 2017

$$Q(AD) = 0,17 * \frac{132}{27} = 0,8311 \text{ m}^3/\text{día}$$

Para el consumo doméstico mensual se aplica el factor de conversión tomando un promedio mensual de 30 días obteniendo para el año 2015 un valor de 17,567

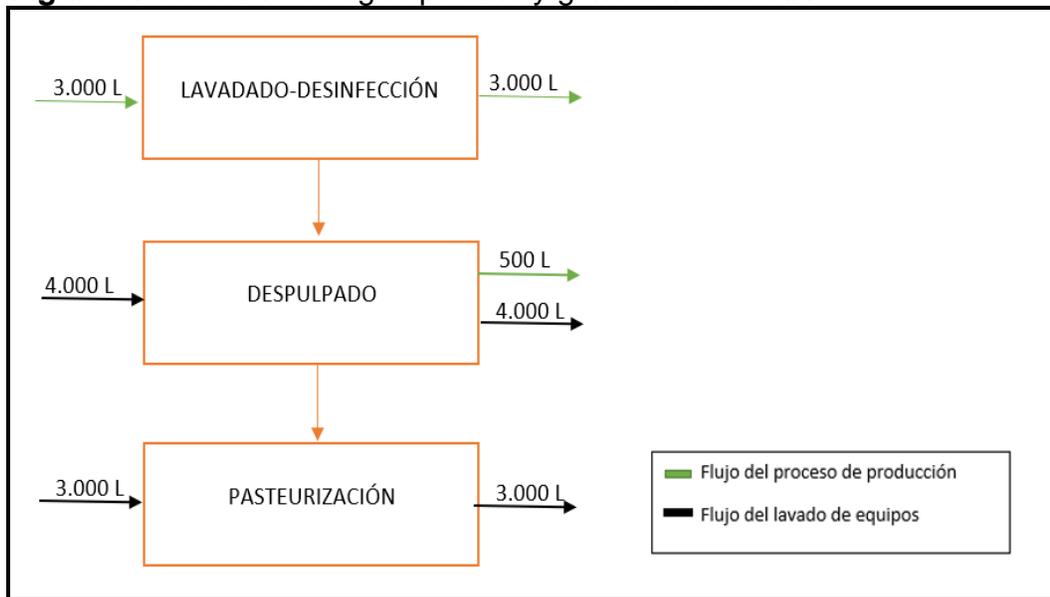
---

<sup>22</sup>COLOMBIA. DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE MEDIO AMBIENTE. Resolución 1391 de 2003. Por la cual se establecen los formatos de solicitud de trámites administrativos ambientales y los formatos que apoyan el proceso de contratación. Registro Distrital 2971. Bogotá D.C. Octubre 20 de 2003. Anexos.

m<sup>3</sup>/mes, para el año 2016 un valor de 24,556 m<sup>3</sup>/mes y para el año 2017 un valor de 24,933 m<sup>3</sup>/mes.

**2.1.2.2 Agua Residual Industrial.** Actualmente, la empresa cuenta con una zona de descarga donde se hace la recepción de AR únicamente, es decir agua de lavado de equipos y agua del proceso de producción de pulpas. En la figura 3 se muestra el diagrama de flujo correspondiente al consumo de agua potable y generación de AR, las líneas verdes muestran el consumo - generación de agua durante el proceso de producción, es decir la consumida para la realización de las pulpas y la generada de los procesos de lavado- desinfección- despulpado, por otro lado, las líneas negras muestran el consumo- generación del lavado de los equipos, es decir, la consumida y generada para lavar los equipos fuera del proceso de producción en el momento del mantenimiento. Como se ha mencionado, la empresa no tiene producción diaria ni tampoco el lavado de los equipos se maneja de forma diaria, los valores pueden variar dependiendo de la oferta y demanda que se tenga, los valores presentados corresponden al volumen de agua utilizado - generado durante un lote de aproximadamente 3 Toneladas.

**Figura 3.** Consumo de agua potable y generación de AR



Fuente: elaboración propia.

Los valores mostrados en la figura 3 corresponden al consumo de agua potable y generación de AR tanto de producción como de lavado de equipos según el color que lo representa (verde para el proceso de producción y negro para el lavado de equipos). Para el lavado de equipos, los valores equivalen a la cantidad de agua necesaria- generada por un mantenimiento que como se mencionó antes no se realiza diariamente, pero generalmente es de manera semanal. Para saber la cantidad de AR que sale del proceso, se utilizan las ecuaciones 2 y 3.

## Ecuación 2. Balance general de agua

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

## Ecuación 3. Cálculo del agua residual generada

$$Q_o = Q_{ri} + Q_d$$

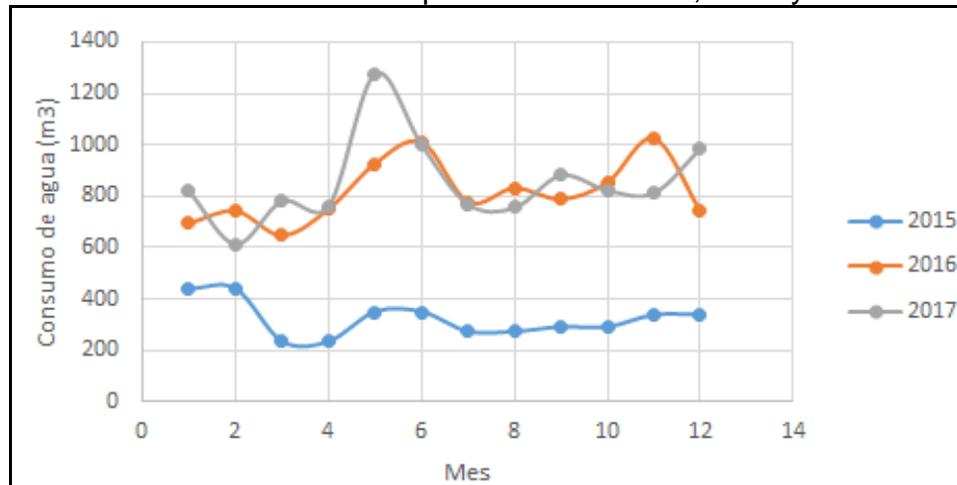
Qo: Caudal de entrada.

Qri: Caudal de agua residual industrial.

Qd: Caudal de agua doméstica residual.

En base a los consumos y el caudal se establecen los balances hídricos por año, presentados en la gráfica 4, los datos obtenidos mediante la aplicación de las ecuaciones 2 y 3 se presentan en el Anexo A.2.

**Gráfica 4.** Balances hídricos para los años 2015, 2016 y 2017



Fuente: elaboración propia.

En la gráfica 4 se presenta el comportamiento del consumo del agua en los años 2015, 2016 y 2017, como se observa, en el año 2015 se presenta un gasto inferior al resto de los años relacionado a la baja producción de pulpa de fruta que se produjo durante ese año y a la cantidad inferior de empleados, por el contrario, en los años 2016 y 2017 se generan no solo una mayor producción de pulpas de fruta sino también la cantidad de empleados es mayor para esa época, se observa también que los vertimientos son mayores en meses como mayo, junio, noviembre y diciembre corroborando la alta producción para estos periodos como se muestra en la tabla 2, superando las 300.000 unidades producidas. De igual manera, se aprecia como el AR generada en los años 2016 y 2017 presentan

comportamientos similares lo cual indica que los caudales se mantienen dentro de un mismo rango.

Es posible establecer el caudal promedio mensual de AR que se genera en la empresa en esos periodos de tiempo, en la ecuación 4 se muestra el cálculo promedio mensual que se puede generar por año y en la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos para estos periodos de tiempo.

**Ecuación 4.** Cálculo del caudal promedio para AR en un año.

$$\text{Caudal promedio} = \frac{\sum \text{Caudales mensuales}}{\text{meses}}$$

**Tabla 3.** Caudales de consumo y descarga de AR promedio para los años 2015, 2016 y 2017.

<b>Año</b>	<b>Caudal de consumo promedio (m<sup>3</sup>/mes)</b>	<b>Caudal de consumo máximo (m<sup>3</sup>/mes)</b>	<b>Caudal de AR promedio (m<sup>3</sup>/mes)</b>	<b>Caudal de AR máximo (m<sup>3</sup>/mes)</b>
2015	337,67	455,5	320,10	437,93
2016	840,86	1.048	816,20	1.023,44
2017	882,08	1.301	857,15	1.276,07

Fuente: elaboración propia.

Como se presenta en la tabla 3, se generan más de 800 m<sup>3</sup>/mes en los años 2016 y 2017 estableciendo un máximo de 1.276,07 m<sup>3</sup>/mes en un periodo laboral de 27 días por mes lo cual permite estimar los caudales diarios que se generan a partir del proceso de producción de pulpas de fruta, obteniendo caudales promedios diarios de AR de 11,86 m<sup>3</sup>/día, 30,23 m<sup>3</sup>/día y 31,75 m<sup>3</sup>/día para los años 2015, 2016 y 2017 respectivamente. Para efectos del desarrollo de la presente propuesta, se toman los valores máximos obtenidos para el año 2017 para así estimar el balance de agua de Alimentos SAS S.A.S, valores que corresponden a un caudal total de 1.301 m<sup>3</sup>/mes y una generación de agua residual máxima de 1.276,07 m<sup>3</sup>/mes con el fin de realizar las operaciones y estimaciones para el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

## **2.2 VERTIMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES**

**2.2.1 Situación Actual del vertimiento.** Hasta el mes de noviembre del 2017 Alimentos SAS S.A.S no contaba con ningún tratamiento de aguas residuales estandarizado ni en funcionamiento, lo que ocasionaba que las AR fueran almacenadas temporalmente en un depósito ubicado en la zona de descarga y recepción de fruta como se muestra en la imagen 1, para luego ser descargada directamente en el alcantarillado de la ciudad.

**Imagen 1.** Depósito de recolección de aguas residuales (exterior - interior).



Fuente: elaboración propia.

Sin embargo, este depósito no cuenta con la capacidad de almacenamiento suficiente para almacenar la cantidad de vertimiento total generado de la producción de pulpas, lo que ocasiona descargas diarias al alcantarillado provocando perjuicios legales a la empresa y daño ambiental al ecosistema, en vista de esto. El departamento de calidad junto con los directivos de la empresa ha decidido desarrollar un proyecto para el tratamiento de las AR, para ello han adquirido 2 tanques de almacenamiento y un tanque pequeño en forma rectangular para la recepción de residuos sólidos de mayor tamaño, los dos tanques de almacenamiento presentes en la imagen 2 cuentan con una capacidad máxima de 12000 L, cantidad que se puede alcanzar en un día de alta productividad.

**Imagen 2.** Tanques de almacenamiento actuales para AR de Alimentos SAS S.A.S.



Fuente: elaboración propia

**2.2.1.1 Comportamiento de la temperatura, caudal y pH promedio.** Estas 3 variables son evaluadas para tener un panorama del comportamiento inicial que tiene el cuerpo de AR generado por el proceso de producción de pulpas de Alimentos SAS S.A.S tomando así dichos valores como un punto de partida para evaluar las etapas de aplicación del tratamiento posterior. El análisis de los comportamientos de temperatura, caudal y pH del AR de Alimentos SAS S.A.S se realiza al ingresar a los tanques para los tres tipos de producción (alta, media y

baja) que se presentan en la empresa. Para cada tipo de producción se toman alícuotas de 1 L en un beaker plástico cada 15 minutos durante 2¼ horas y se analizan los parámetros; para medir la temperatura y el pH se utiliza un pH metro portátil de marca waterproof como se muestra en la imagen 3 y para la medida del caudal se toma el tiempo de llenado del beaker (1 L). Los datos obtenidos para los tres tipos de producción (baja, media y alta) se muestran en el Anexo B.

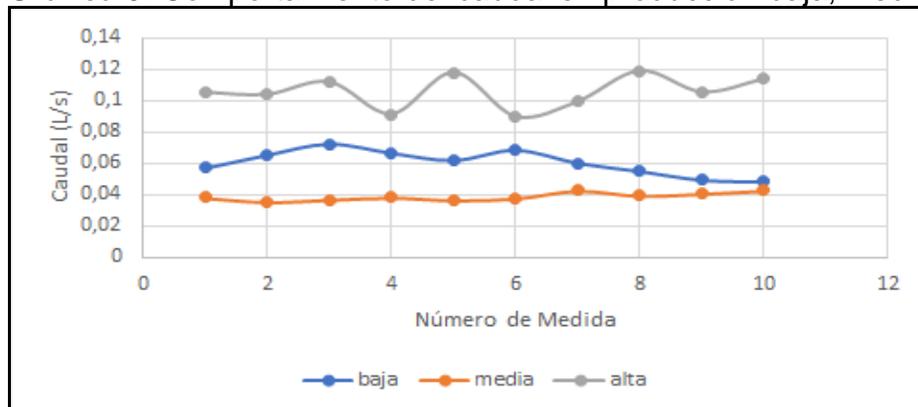
**Imagen 3.** Medida de parámetros pH, temperatura y caudal



Fuente: elaboración propia.

Los tipos de producción de pulpas dependen de la demanda y la cantidad de fruta que se procesa, de acuerdo con los datos obtenidos para los diferentes tipos de producción se comparan los caudales, temperaturas y pH de manera paralela. Las gráficas 5, 6 y 7 representan los comportamientos de dichos parámetros para los tres tipos de producción.

**Gráfica 5.** Comportamiento del caudal en producción baja, media y alta.

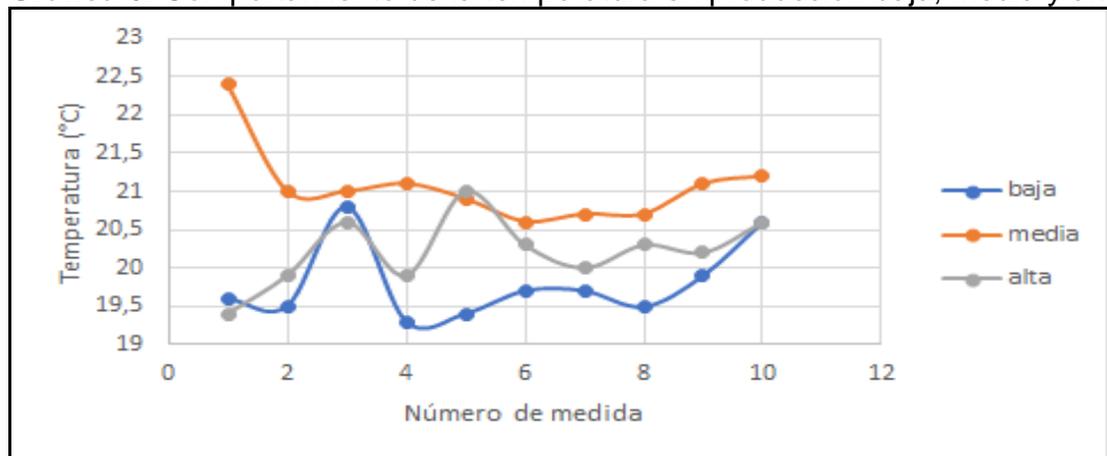


Fuente: elaboración propia.

En la medida del caudal para los tres tipos de producción se presentan valores entre 0,038 L/s y 0,12 L/s lo cuales indican los límites en los que la planta puede operar en cualquiera de sus tres tipos de producción, dichos valores se van a

utilizar posteriormente como indicadores para el diseño de los equipos de la propuesta. Como se muestra, el caudal para producción alta es mayor con respecto a la presentada por producción media y baja puesto que el vertimiento de AR para estos tipos de producción es continua, de igual manera, el caudal para la producción media se encuentra en la parte inferior de la gráfica debido a que su vertimiento se presenta de manera intermitente y el de producción baja muestra un comportamiento mayor a éste debido a que se realiza una sola descarga diaria al recibir una menor cantidad de agua.

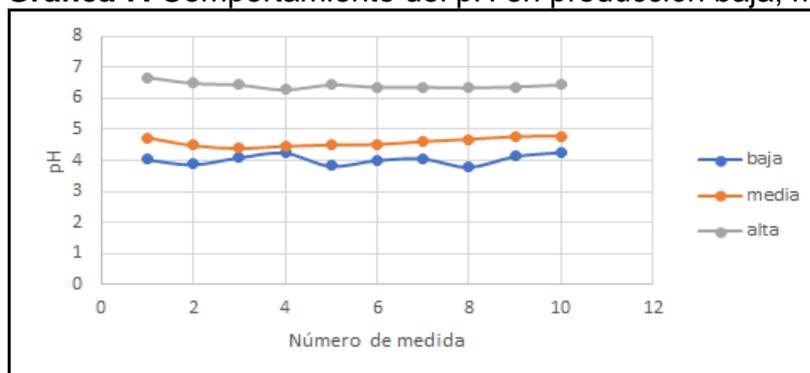
**Gráfica 6.** Comportamiento de la temperatura en producción baja, media y alta.



Fuente: elaboración propia.

El comportamiento de la temperatura muestra rangos entre 19 a 22,5 °C característicos del vertimiento de AR de la producción de la empresa y pueden estar relacionados con la ubicación actual de los tanques que se encuentran en una zona aislada. Para producción media se presenta una variación respecto a producciones baja y alta, este comportamiento se puede asociar a la descarga intermitente produciendo un aumento de la temperatura del vertimiento hasta alcanzar los 22,5°C, de manera contraria sucede con la producción baja la cual muestra una temperatura mínima de 19,4°C debido a la descarga continua.

**Gráfica 7.** Comportamiento del pH en producción baja, media y alta.



Fuente: elaboración propia.

Como se presenta en la gráfica 7 el pH muestra valores inferiores para la producción baja y media, contrario a lo que ocurre en el comportamiento de la producción alta, estos valores se asocian principalmente a la cantidad de materia prima, naturaleza de los insumos, la variabilidad del mercado y las cosechas y los lavados de equipos, como se observa, el rango de pH se encuentra entre 4 y 7 unidades manteniendo los valores estables sin importar el tiempo y la naturaleza de la descarga. Estas medidas fueron tomadas no sólo para analizar los parámetros en diferentes tipos de producción, sino también los comportamientos que se pueden tener para las diferentes frutas procesadas al ser este un proceso variable en cuanto a su característica de AR y así homogeneizar la muestra para un análisis experimental de parámetros de vertimiento.

**2.2.2 Caracterización del agua residual.** Con la finalidad de cumplir con las metas a nivel ambiental de la empresa y cumplir con los estándares de calidad de vertimiento de aguas, el departamento de calidad realizó en enero del año 2017 unas pruebas de caracterización del agua residual por medio de un laboratorio externo (BIOTENDS S.A.S) antes de adquirir los tanques de almacenamiento, en la tabla 4 se muestran los datos de la caracterización del AR presentada por BIOTREND S.A.S y en el Anexo C.1 se muestra el certificado del análisis entregado por el laboratorio. Adjunto a eso, durante el mes de noviembre del 2017 se solicitó a la empresa registrar los valores de pH y conductividad, puesto que estos parámetros indican las condiciones iniciales que tiene la muestra para evaluar el tratamiento, el pH para verificar no sólo el funcionamiento de los reactivos que se van a evaluar si no también las características con las que se está vertiendo el AR actualmente, con la conductividad se puede realizar una aproximación de los STD y así mismo una estimación de la carga orgánica que posee el AR. En el Anexo C.2 se muestran los valores de pH, conductividad y de manera paralela el valor de los STD registrados y en la ecuación 43 del anexo se muestra el cálculo aproximado de los STD en aguas residuales. Con estos parámetros calculados y los resultados presentados por BIOTREND S.A se tiene

un historial más completo dándole un panorama a las condiciones iniciales que tienen las diferentes muestras de AR para así dar inicio al tratamiento.

**2.2.2.1 Procedimiento experimental de la caracterización.** Con lo presentado en el año 2017, se procede a realizar la caracterización del AR de cada tipo de producción de pulpas de fruta de Alimentos SAS S.A.S (baja, media y alta), en los laboratorios de la Universidad de América se evalúan los parámetros de sólidos (SSED y STD), pH, conductividad, turbidez y temperatura; con respecto a la medida de la DQO se realiza mediante el equipo HANNA DQO HI 83099 (Anexo D.1) que posee la empresa en sus instalaciones y finalmente, para el DBO se prepara la muestra en las instalaciones de la Universidad y el fotómetro que posee la empresa es posible obtener OD del cual se puede determinar el parámetro de interés. La caracterización para la muestra de AR en producción alta se realiza con BIOTRENDS S.A, en el Anexo J se muestra el informe de análisis.

Para dar inicio a la caracterización se homogeneizó cada una de las muestras dependiendo del tipo de producción durante 5 días según lo enunciado en la GTC 100 (Guía para los procedimientos de cadena de custodia de muestra) con el fin de preservar sus características, teniendo en cuenta un volumen de 5 L de muestra. La caracterización se realiza bajo las normas técnicas colombianas para la medida de pH (NTC 3651), medida de conductividad (TP 0082), perfil de sólidos (NTC 897), DQO (NTC 3629) y DBO (NTC 4705) junto con los procedimientos de las guías de laboratorio de química inorgánica experimental de la Universidad de América.<sup>23</sup>

**2.2.2.1.1 Medida de pH y conductividad.** Según la NTC 3651 y la TP0082 se realiza la medición de los parámetros de pH y conductividad en las instalaciones de la Universidad América como se había mencionado, para cada parámetro se realizan dos medidas para así tener consistencia de los datos, el equipo utilizado es un pH metro y para la conductividad un conductímetro como se muestra en la imagen 4. Los datos obtenidos son registros en la tabla 4.

**Imagen 4.** pH metro y conductímetro



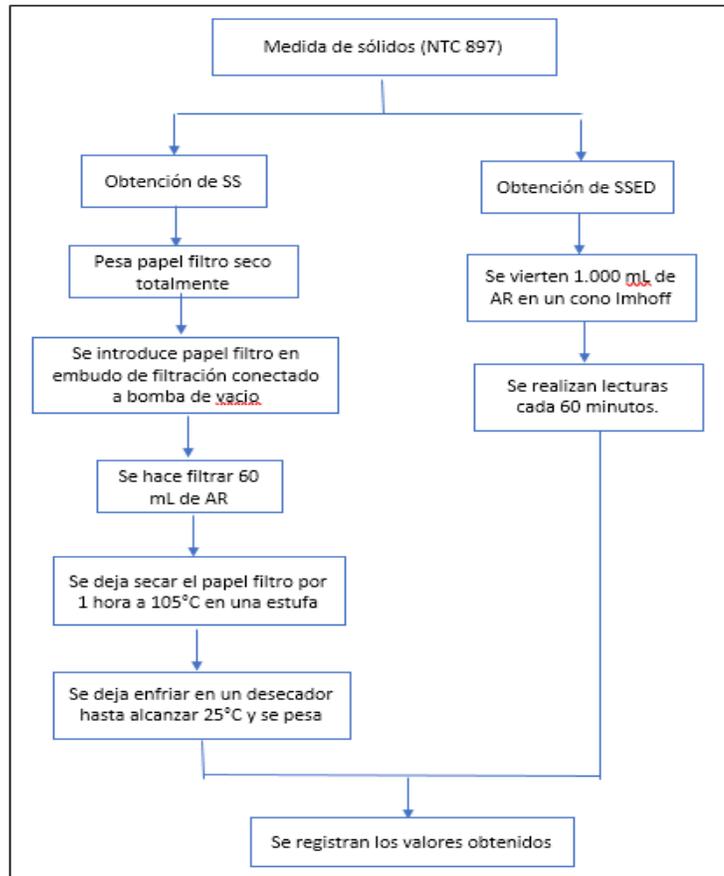
Fuente: elaboración propia.

---

<sup>23</sup> Guías de laboratorio de química inorgánica experimental. Universidad América.

**2.2.2.1.2 Medida de sólidos.** En la figura 4 se muestra la metodología utilizada para la medida de los sólidos tanto SST como SSED que presenta el cuerpo de AR en los diferentes tipos de producción. Los datos obtenidos se encuentran en el Anexo D.2, vale aclarar que la muestra de AR para producción alta se envía a BIOTRENDS S.A y la medida de los sólidos no son tomados en el laboratorio. El valor de los sólidos se encuentra en la tabla 4.

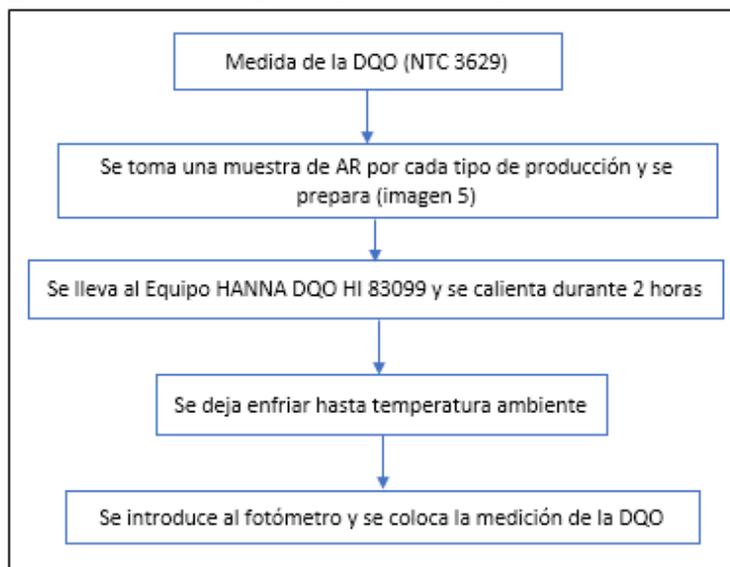
**Figura 4.** Metodología experimental para la medida de sólidos.



Fuente: elaboración propia

**2.2.2.1.3 Medida de la DQO.** Para la obtención del valor de la DQO se realiza el procedimiento presentado en la figura 5. El valor de la DQO para cada muestra se muestra en la tabla 4.

**Figura 5.** Metodología experimental para la medida de la DQO.



Fuente: elaboración propia

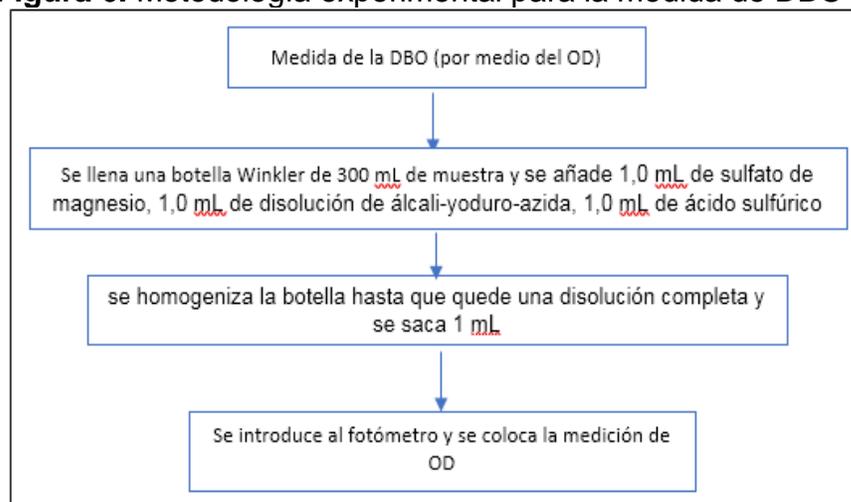
**Imagen 5.** Muestra preparada para la obtención de DQO.



Fuente: elaboración propia

**2.2.2.1.4 Medida de la DBO.** En la figura 6 se muestra la metodología experimental utilizada para la obtención de la DBO a partir del OD, en el anexo D.3 se muestran las ecuaciones utilizadas para la obtención de la DBO por cada tipo de muestra de AR, el valor obtenido para cada DBO se registra en la tabla 5 en donde se muestran los datos obtenidos para la caracterización de las muestras de AR de los tres tipos de producción (baja, media y alta), los cuales se van a tomar como punto de partida para la aplicación de la propuesta en la sección 4.

**Figura 6.** Metodología experimental para la medida de DBO



Fuente: elaboración propia

**Tabla 4.** Caracterización del agua residual para cada tipo de producción.

Parámetro	Unidades	Historial	Primera medida (Producción baja)	Segunda medida (Producción baja)	Primera medida (Producción media)	Segunda medida (Producción media)	Resultados para producción alta
pH	Unidades	4,29	3,90	4,10	4,01	4,03	10,45
Conductividad	µs/cm	-	999	995	393	581	1100
Aspecto	-	-	Amarillo	Amarillo	Grisáceo	Grisáceo	
Olor	Unidades	-	Metálico	Metálico	Metálico	Metálico	
Turbidez	NTU	-	183	187	359,5	439	2.487
SSED	mL/L	20	52	50,5	65,5	60	30
ST	mg/L	-	7840	7712	8040	8843	-
SS	mg/L	282,5	903	-	4.500	-	1384
STF	mg/L	-	6220	5919	7170	7750	-
STD	mg/L	-	6.937	-	3.540	-	-
DBO <sub>5</sub>	mg/L	5080,27	390,04	-	1290	-	2100
DQO	mg/L	6289,75	676	-	1754	-	6116,21
Temperatura	°C	-	20,5	20,2	20,1	19,8	16

Fuente: elaboración propia.

**2.2.2.2 Comparación de las muestras con la resolución de vertimientos.** Para determinar cuáles son los procedimientos que se van a realizar en la propuesta, es necesario conocer qué tan diferentes son los resultados de la caracterización realizada de los parámetros de vertimientos enunciados en la resolución 0631 del 2015. En la tabla 5 se realiza una comparación entre los parámetros caracterizados por tipo de muestra y la ley de vertimientos 0631.

**Tabla 5.** Comparación de la caracterización del agua y la resolución de vertimientos.

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resolución</b>	<b>Promedio producción baja</b>	<b>Promedio producción media</b>	<b>Producción alta</b>	<b>Cumplimiento</b>
pH	Unidad	6,00 a 9,00	4,0	4,02	10,45	NO
SSED	mL/L	2,00	51,25	62,75	30	NO
SS	mg/L	200	903	4.500	1.384	NO
DQO	mg/L O <sub>2</sub>	600	676	1.754	6.116,21	NO
DBO <sub>5</sub>	mg/L O <sub>2</sub>	400	390,04	1.290	2100	NO

Fuente: elaboración propia

Como se puede observar en los datos obtenidos de las caracterizaciones de las muestras de AR y los establecidos, en ninguno de los tipos de producción de Alimentos SAS S.A.S se cumple con la resolución de vertimientos, por ese motivo se desarrolla una propuesta a partir de dichos valores caracterizados para disminuir la carga orgánica y estar cerca o cumplir los parámetros establecidos en la resolución.

### 3. PLANTEAMIENTO DE LA PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL PROCESO

Determinadas las características que posee el AR de Alimentos SAS S.A.S según los historiales presentados por la empresa y el desarrollo experimental realizado, se establece el tratamiento adecuado para la reducción de la carga contaminante presente en el agua, para ello, se expone en el contenido de este capítulo las distintas ventajas y desventajas que soportan la propuesta planteada y que son cruciales para fundamentar el tratamiento elegido. Para realizar el análisis de la propuesta, es necesario establecer los criterios que se encuentran fuera de rango en la Resolución 0631 de 2015 presentes en la tabla 7 del capítulo anterior, arrojando como resultado el incumplimiento de los parámetros, principalmente de SS, SSED, pH, DQO y DBO.

Los SS hacen referencia a la cantidad de material orgánico o inorgánico presente en el AR como semillas, tierra, residuos de despulpado, hojas etc.; o líquidos como sustancias inmiscibles incluidas en el lavado, las cuales afectan las características físicas del agua como color, olor y turbidez; este material puede ser tóxico, desagradable a la vista y si no se trata puede ocasionar productos indeseados. Por otro lado, los SSED hacen referencia a todo el material que después de cierto tiempo precipita de la muestra de agua, estos pueden ser de distintos tamaños y diferente naturaleza, causan apariencia desagradable y turbidez en el cuerpo de agua dificultando su consumo.

El pH se ve afectado por las características de las frutas procesadas, la carga de lavado del pasteurizador, el cual contiene NaOH y el proceso de desinfección el cual contiene ácido peracético de 0.02 a 0.03 % de concentración. Tanto la DQO como la DBO relacionan el consumo de oxígeno para la oxidación de sustancias químicas y el requerido para la degradación de compuestos orgánicos respectivamente, proveniente del material característico de la fruta que es removido en el lavado y la manipulación de esta durante el proceso de producción de pulpas; para determinar el tipo de tratamiento adecuado para la disminución de estos parámetros existe una relación entre la DQO y la DBO, dicha relación representa un indicativo del tipo de degradación que debe realizarse para desinfectar el AR, “ si la relación es menor a 0,2 los vertimientos se consideran de naturaleza inorgánica, poco biodegradables y son convenientes procesos físico químicos como tratamiento, si la relación tiene un valor entre 0,2 y 0,4 los vertidos se consideran biodegradables y si es mayor a 0,4 los vertidos pueden considerarse orgánicos y muy biodegradables, resultando adecuados tratamientos biológicos”<sup>24</sup>

---

<sup>24</sup> CRISTANCHO y NOY.Op.cit., p.55.

El agua residual generada por la producción de pulpas presenta una relación DBO/DQO variable debido a las características de la fruta. Estas cantidades oscilan entre los 700 y 10.000 mg/L de O<sub>2</sub> tanto para la DQO como para la DBO como se mostró en la sección 2.2.2.2, tabla 6; el resultando de las relaciones para los tres tipos de AR (baja media y alta) son mayores a 0,4 sugiriendo alta biodegradabilidad y tratamientos biológicos; sin embargo, teniendo en cuenta los intereses de la empresa y los recursos, no es posible evaluar a nivel laboratorio las etapas para implementar un tratamiento biológico debido a las condiciones controladas que requieren los microorganismos, de igual manera, en una implementación posterior se requiere un elevado costo en funcionamiento, mantenimiento y el uso de áreas grandes<sup>25</sup>. Por lo anterior es posible sugerir un sistema de pretratamiento y tratamiento primario eficiente que garantice la reducción de parámetros en pro del cumplimiento de la resolución 0631 de 2015, sin embargo, según LIZARAZO y ORJUELA<sup>26</sup> el tratamiento de AR en industrias textiles presenta buenos resultados al incluir tratamientos preliminares en los que se utilizan rejillas de diámetros entre 0,5 a 1 mm para remover sólidos de gran tamaño y tamices estáticos, complementando las etapas de tratamiento por medio del uso de sustancias como sales férricas o de aluminio y cal que generan reducciones de DBO entre un 40 y un 50%.

### 3.1 PRETRATAMIENTO

Las operaciones que se encuentran en tratamientos preliminares se encargan de la remoción de materia sólida de manera física, es decir por medio de estructuras que utilizan principios físicos y mecánica de fluidos que contribuyen a la separación de estos compuestos indeseados en los cuerpos de agua, siendo claves para dar paso a etapas posteriores de tratamiento.

**3.1.1 Homogenización y desbaste.** Debido a la variabilidad en la producción de la empresa Alimentos SAS S.A.S las descargas de AR son discontinuas asociadas a producción alta, media y baja, por tanto, es importante lograr que esta llegue a tanques de almacenamiento al final de cada proceso de producción conformando así una cantidad homogénea de agua que conserve sus características y logre uniformidad de caudales.

Como primera etapa de tratamiento preliminar se encuentra el desbaste, que consta de una serie de tamices a la entrada de los tanques para la separación de los sólidos de gran tamaño, garantizando una primera la remoción de compuestos indeseados y generando la precipitación de material sólido con menor tamaño de

---

<sup>25</sup> ARIZA, Zulay. Propuesta de un sistema para el tratamiento de agua residual industrial en la fábrica R.F.G. Bonny LTDA. Tesis de grado. Bogota D.C. Universidad de América,2017.57p.

<sup>26</sup> LIZARAZO, Jenny y ORJUELA, Martha. Sistema de plantas de tratamiento en Colombia. Especialización en administración pública. Bogotá D.C. Universidad Nacional de Colombia,2013.67 p.

partícula que sobrepasa el sistema de rejillas, esto facilita la separación en cada descarga y permite la recolección de caudales para la estabilización de sus propiedades. En el cuadro 1 se presentan las ventajas de este primer proceso para la primera etapa frente a otros tratamientos.

**Cuadro 1.** Ventajas y desventajas del proceso de homogeneización y desbaste.

Tipo de Tratamiento	Ventajas	Desventajas
Homogeneización	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Uniformidad de caudales.</li> <li>● Mejora la tratabilidad<sup>27</sup>.</li> <li>● Minimiza las fluctuaciones en el caudal de agua.</li> <li>● Mejora las condiciones de pH disminuyendo la cantidad de neutralizantes para su regulación<sup>28</sup>.</li> <li>● Permite un flujo continuo para etapas posteriores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Requiere una ampliación del terreno para su implementación <sup>24</sup>.</li> <li>● Requiere motor de agitación.</li> </ul>
Desbaste	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Fácil implementación.</li> <li>● Económicamente viable.</li> <li>● Remoción de SS de un 5 al 25 %<sup>29</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● No separa todas partículas sólidas.</li> <li>● Necesita un mantenimiento periódico para evitar saturación en la rejilla <sup>1</sup>.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

Se evidencia que tanto el sistema de desbaste como el de homogeneización son simples y efectivos para la remoción de sólidos y la estabilización de caudales. Las rejillas pueden ser fabricadas en acero inoxidable o materiales poliméricos

<sup>27</sup> BRAVO, David y HENAO, Zulysmileth. Desarrollo de una propuesta de mejora en el sistema de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de lácteos Levelma municipio de Cajicá. Trabajo de grado, ingeniero químico. Bogotá D.C. Fundación universidad de América, 2016, p. 64.

<sup>28</sup> Aguamarket. Tratamiento de aguas residuales, Homogeneización.

<sup>29</sup> RAMALHO, Rubens. Tratamiento de aguas residuales. Reverté S.A.2003.92 p.

resistentes a la corrosión y funcionan adecuadamente según el caudal a tratar<sup>30</sup>, de igual forma, cuentan con diferentes tipos de abertura el cual se adecua para el AR de la producción de pulpas, para el caso de material fino se usan tamices con diámetros entre 5 mm o menos y para gruesos entre 4 y 9 cm.

### 3.2 TRATAMIENTO PRIMARIO

Consiste en una serie de tratamientos de carácter físico o químico en donde se lleva a cabo la remoción de parámetros como SS, DQO y DBO que no lograron ser removidos en la etapa de pretratamiento, como se mencionó en la sección de marco teórico se conocen como tratamientos primarios: neutralización, sedimentación, flotación y coagulación-floculación los cuales son usados según las características del AR y los objetivos de remoción que se deseen alcanzar.

De los tratamientos primarios que se adecuan al cuerpo de agua de Alimentos SAS S.A.S, se resalta la neutralización, debido a que la producción de pulpas está sujeta a cambios de pH que deben ser controlados para acondicionar el agua para el uso de sustancias en la etapa de coagulación-floculación, este tratamiento presenta remociones de materia orgánica del 65 al 83% en la industria alimentaria con dosis de coagulantes entre 100 mg/L a 200 mg/L y floculantes de 5 mg/L<sup>31</sup>; sumado a esto, la etapa de coagulación-floculación es una de las más utilizadas para tratar aguas residuales provenientes de la industria alimenticia a diferencia de procesos como flotación el cual requiere mayor energía y presenta porcentajes de remoción de 45 al 50% en la DBO y de 60 al 85% de sólidos disueltos<sup>32</sup>, o sedimentación que es un proceso lento presentando remociones de SS del 85% y del 20 % para la DBO en un tiempo de retención de 30 h<sup>33</sup> lo cual resulta poco eficiente.

Tanto para la neutralización como para la coagulación- floculación se presenta de manera específica las ventajas y desventajas justificando así el estudio de dichos procesos.

**3.2.1 Neutralización.** Al tener un cuerpo de agua homogeneizado se adecúa para el uso de las sustancias utilizadas en el proceso de coagulación- floculación puesto que dichas sustancias logran mayor eficiencia en rangos específicos de

---

<sup>30</sup> RIGOLA, Miguel. Op. cit., p. 67.

<sup>31</sup>MOLANO, Jazmín. Tratamiento de efluentes de la industria alimentaria por coagulación-floculación utilizando almidón de *Solanum tuberosum* L. 'papa' como alternativa al manejo convencional. Tesis para optar el Título Profesional de Licenciada en Biología. Universidad Ricardo Palma. Perú.p 88.

<sup>32</sup> ISA, ingeniería y Servicios Ambientales. Flotación por aire disuelto (DAF). Recuperado de: <http://www.isa.ec/index.php/soluciones-ambientales/flotacion-por-aire-disuelto-daf>

<sup>33</sup> GUTIERREZ. Nelson, VALENCIA. Eduardo y ARAGÓN. Renso. (2014). Eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub> y SS en sedimentados y lecho filtrante para el tratamiento de aguas residuales del beneficio de café (*Coffea arábica*). Colombia Forestal, 17(2), 151-159.

trabajo, en el cuadro 2 se muestran ventajas y desventajas para la etapa de neutralización.

**Cuadro 2.** Ventajas y desventajas del proceso de neutralización.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Estabilización el pH.</li> <li>● Disminuye la toxicidad de algunos compuestos a medida que el pH tiende a 7<sup>34</sup>.</li> <li>● Fácil implementación.</li> <li>● Facilita y optimiza la operación de los floculantes y coagulantes<sup>35</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Requiere la adición de compuestos externos.</li> <li>● Requiere de un control a la hora de dosificar el neutralizante.</li> <li>● Requiere más equipamientos, por lo tanto, no es económicamente adecuado para grandes caudales<sup>36</sup>.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

El AR generada por la empresa Alimentos SAS S.A.S está sujeta a pH variables debido a la naturaleza de las frutas afectando así el funcionamiento de los coagulantes y floculantes, la neutralización es un proceso vital que establece la dosificación de bases o ácidos según sea el caso, estos neutralizantes pueden ser soda cáustica, ácido clorhídrico o nítrico que se agregan según el pH al que se desee trabajar.

**3.2.2 Coagulación – Floculación.** Generalmente para el tratamiento de AR de cualquier industria se hace uso de tratamientos fisicoquímicos, puesto que pueden ser adaptados a cualquier cuerpo de agua permitiendo el manejo de sustancias coagulantes y floculantes que remueven efectivamente los compuestos indeseados. Para esta propuesta se tiene como referencia reducciones en DQO, DBO y SSED para empresas dedicadas a la producción de alimentos y que tienen relación con el AR generada por Alimentos SAS S.A.S, en la tabla 6 se muestra el proceso de coagulación- floculación para el AR en algunas industrias alimenticias y se presentan los resultados en cuanto a remoción de parámetros relevantes en la resolución de vertimientos. Los valores iniciales del agua residual referenciada en la tabla 8 se encontraban entre 2.000 y 8.000 mg/L de O<sub>2</sub> presentando gran similitud a los encontrados en la sección de caracterización del AR generada por Alimentos SAS S.A.S justificando el uso de esta alternativa por los porcentajes de remoción evidenciados.

<sup>34</sup>BRAVO y HENAO.op.cit.,30 p.

<sup>35</sup>Analiza Calidad. Tratamiento de aguas residuales industriales. Recuperado de: <http://www.analizacalidad.com/docftp/fi1110aguas.pdf>

<sup>36</sup>Awwater. Instalaciones de neutralización. Recuperado: Requiere más equipamientos, por lo tanto, no es económicamente interesante para grandes caudales.

**Tabla 6.** Porcentajes de reducción de parámetros.

Industria	Parámetro	Unidades	Porcentaje de Reducción. (%)
Lácteos: Levelma. <sup>37</sup>	DQO	mg/ L de O <sub>2</sub>	97,2 en todos los parámetros.
	DBO <sub>5</sub>	mg/ L de O <sub>2</sub>	
	ST	mg/L	
	TURBIDEZ	NTU	
Lácteos: Fasulac. <sup>38</sup>	DQO	mg/ L de O <sub>2</sub>	68,24
	DBO <sub>5</sub>	mg/ L de O <sub>2</sub>	89,95
Producción de Cereales. <sup>39</sup>	DQO	mg/ L de O <sub>2</sub>	83,33
	SSED	mg/L	65,95
	TURBIDEZ	NTU	98,03
	COLOR	-	98
Procesamiento de frutas y hortalizas. <sup>40</sup>	DQO	mg/ L de O <sub>2</sub>	53
	DBO <sub>5</sub>	mg/ L de O <sub>2</sub>	57

Fuente: elaboración propia.

En base a lo consultado sobre esta etapa de tratamiento en la sección 1.3.2 se propone la implementación de coagulación y floculación como tratamiento primario puesto que puede alcanzar porcentajes de remoción del 94,2% para el parámetro de la DQO mediante el uso de coagulantes y floculantes, frente a la implementación de un tratamiento biológico el cual presenta una remoción de la DQO del 60 al 80% en tratamientos anaerobios y 97% de la DQO en tratamientos combinados anaerobios/aerobios<sup>41</sup>; de esta manera se muestra que los rendimientos de remoción observados en tratamientos biológicos pueden lograrse a partir del uso de coagulantes y floculantes por medio de la determinación de las

<sup>37</sup> BRAVO y HENAO.Op, cit.105 p.

<sup>38</sup> LEITON, Miguel y SEDANO, Paula. Desarrollo de una propuesta de mejora para la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa de lácteos inversiones Fasulac Ltda. Tesis de grado. Universidad de América. Bogotá D.C.2017.23 p.

<sup>39</sup> ALARCON, Eliana y NEITA, Laura. Propuesta para la reutilización del agua residual tratada en una empresa de cereales en la ciudad de Bogotá. Tesis de grado. Universidad de América. Bogotá D.C.2017.61 p.

<sup>40</sup> Comisión nacional del medio ambiente - región metropolitana. Guía para el control y prevención de la contaminación industrial. Industria procesadora de frutas y hortalizas. [en línea]. Disponible en:

<http://www.ingenieroambiental.com/2060/Guia%20para%20la%20prevencion%20de%20la%20contaminacion.%20Industria%20de%20frutas%20y%20hortalizas.pdf>

<sup>41</sup> LOPEZ LOPEZ, Alberto.et al. Comparative study between A physicochemical and A biological process to treat slaughterhouse wastewater. *INCI* [online]. 2008, vol.33, n.7 [citado 2018-03-26], pp. 490-496. Disponible en: <[http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442008000700006&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442008000700006&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 0378-1844.

dosificaciones de dichas sustancias, evitando así las dificultades asociadas los tratamientos biológicos tales como:

- Presentar mayores requerimientos energéticos e inversiones en los diferentes sistemas en funcionamiento discontinuo.
- El AR no cumpla con las condiciones aptas para implementar un reactor biológico secuencial y pueda provocar toxicidad en el tratamiento.
- Rigurosidad en las condiciones de tratamiento.
- Requiera una superficie de terreno más grande que otras opciones de tratamiento con lodos activados. Esto puede ser muy costoso, restringiendo la factibilidad de uso de las zanjas de oxidación en áreas urbanas, suburbanas y otras áreas en donde el costo de la adquisición de terrenos es relativamente alto<sup>42</sup>. Para justificar el uso de coagulación - floculación se tienen en cuenta las ventajas y desventajas de este tratamiento en el cuadro 3, complementado las razones por las cuales es conveniente el uso de esta etapa.

**Cuadro 3.** Ventajas y desventajas de coagulación-floculación.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Remoción rápida de los residuos sólidos sedimentables y flotantes.</li> <li>● Remoción entre 50 y 70% de SS y entre 25 y 40% de DBO<sub>5</sub><sup>43</sup>.</li> <li>● Costo operativo depende de los químicos utilizados.</li> <li>● Fácil implementación.</li> <li>● Son rápidos, con cortos tiempos de retención y pocos problemas de paras y reinicio de proceso.</li> <li>● Reducción de SS y materia orgánica (DQO y DBO) como alternativa al tratamiento biológico<sup>44</sup>.</li> <li>● No involucra organismos vivos solo sustancias químicas.</li> <li>● Inexistencia de problemas de bio toxicidad.</li> <li>● Remoción de color verdadero y aparente<sup>45</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● El desempeño de remoción de DBO y SST se ve afectada por las corrientes de entrada al tanque y la temperatura de entrada.</li> <li>● Su buen funcionamiento depende del pH<sup>46</sup>.</li> <li>● Requiere agitación para una mayor eficiencia.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

<sup>42</sup> Estrucplan online, Folletos Informativos de Tecnología de Aguas Residuales de la EPA : Zanjas de oxidación. Parte 1. Disponible en: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=2003>

<sup>43</sup> BRAVO y HENAO. Op., cit.65.p.

<sup>44</sup> 35 coagulación - floculación. Recuperado de: [http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/dis\\_procesos/tema5.pdf](http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/dis_procesos/tema5.pdf)

<sup>45</sup> DIAZ, Jose. Coagulantes-floculantes orgánicos e inorgánicos elaborados de plantas y del reciclaje de la chatarra, para el tratamiento de aguas contaminadas. Tesis de maestría. Universidad Pedagógica Nacional Francisco Morazán. San Pedro Sula Cortés.p.28

A pesar de ser un proceso sujeto a variaciones de pH, esto le permite adaptar diferentes sustancias al proceso de tratamiento de aguas residuales arrojando una gran cantidad de reactivos químicos para cada tratamiento, según lo anterior es una alternativa económicamente viable frente a los tratamientos secundarios mediante el uso de microorganismos que requieren condiciones rigurosas de operación.

**3.2.3 Oxidación por medio del método Fenton.** Como complemento a lo consultado en la sección 1.3.2 se propone un sistema de oxidación avanzada con adición de sales de hierro provocando la descomposición efectiva de los iones  $\text{HO}^-$  aumentando la efectividad y velocidad de reacción a partir de  $\text{Fe(II)}$ , logrando una mineralización completa, atacando la materia orgánica presente en el cuerpo de agua<sup>46</sup>, además, este catalizador permite una descomposición controlada ya que el peróxido es inestable y puede descomponerse fácilmente en agua sin reducir la carga, en el caso de no utilizar esta sal de hierro no se logra abatimiento de parámetros como el DQO tal y como lo muestra Arreghini<sup>47</sup> en el tratamiento de efluentes para elaboración de vino en donde en un tiempo 0 se registró un DQO de 2800 mg/O<sub>2</sub>L y después de 8 h un DQO de 5800 mg/O<sub>2</sub>L lo que muestra la ineffectividad del peróxido sin catalizador, en una segunda prueba sometieron la muestra al reactivo Fenton en donde en el mismo periodo de tiempo se registró un valor inicial de 3300 mg/O<sub>2</sub>L y un valor final de 1250 mg/O<sub>2</sub> L demostrando la efectividad del catalizador. En el cuadro 4 se registran algunas de las ventajas y desventajas del método Fenton que respaldan el mecanismo de reacción doblemente funcional del peróxido de hidrógeno puesto que se presentan 2 compuestos oxidativos como lo son los radicales hidroxilos y complejos de hierro que mejoran la velocidad de reacción y generan más puntos “secuestrantes” de materia orgánica.

---

<sup>46</sup> Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes. [en línea]: Disponible en: <https://docs.google.com/document/d/1YN7Xec9qST7uxRatXpRwiYqS-8J-mD5pvRTpiPXFHGA/edit#>

<sup>47</sup> ARREGHINI, Marcela. Oxidación con peróxido de hidrógeno de efluentes de bodega. [en línea]. Disponible en: [http://www.inv.gov.ar/inv\\_contenidos/pdf/foro/2017/seminario\\_06\\_10\\_17.pdf](http://www.inv.gov.ar/inv_contenidos/pdf/foro/2017/seminario_06_10_17.pdf)

**Cuadro 4.** Ventajas y desventajas de la oxidación por método Fenton.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>● Bajo costo del catalizador de Fe</li><li>● El catalizador no es un elemento tóxico.</li><li>● El peróxido de hidrógeno es degradable, causando daños mínimos al medio ambiente.</li><li>● No se forman compuestos clorados como en otras técnicas de desinfección.</li><li>● El diseño asociado a su operación es sencillo.</li><li>● Las condiciones de trabajo no son estrictas para temperatura y presión ya que pueden ser estándar, sin embargo, el medio de reacción debe ser ácido.</li><li>● No se necesita energía extra para la activación del peróxido.</li><li>● Disminuye efectivamente la DQO y DBO.</li><li>● Actúa como desinfectante.</li><li>● No causar gran cantidad de lodos, consumen menos energía y no transfieren de fase los contaminantes, sino que los transforma químicamente para su separación.<sup>48</sup></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● El peróxido de hidrógeno no es un compuesto muy económico.</li><li>● Al incorporar hierro en el sistema de tratamiento luego de lograr la oxidación, este necesita ser separado del efluente lo cual obliga a operaciones posteriores de sedimentación y una etapa final de neutralización para lograr el pH ideal del cuerpo de agua.</li><li>● Es corrosivo.</li><li>● No es muy estable en ambientes húmedos.</li><li>● No es un tratamiento selectivo.</li></ul>

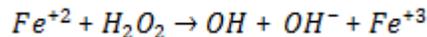
Fuente: elaboración propia.

Dichas ventajas y desventajas reflejan que es un método viable para el tratamiento de AR cabe mencionar que el peróxido de hidrógeno debe estar en una relación 10:1 con respecto a la DQO<sup>49</sup> relación establecida teóricamente para que la oxidación sea exitosa, al igual se debe determinar la dosis que corresponde a sulfato de hierro II mediante el peso molecular de los compuestos y su estequiometría como se muestra en la ecuación 5.

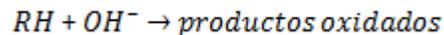
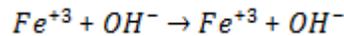
<sup>48</sup> RODRIGUEZ, Tatiana, BOTELHO, Diego y CLETO, Eduardo. Tratamiento de efluentes industriales de naturaleza recalcitrante usando ozono, peróxido de hidrógeno y radiación ultravioleta. *En: Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*. Diciembre, 2008. N.º 46. Diciembre, 2008 p. 24-38.

<sup>49</sup> GARCÍA, Fabián y RODRÍGUEZ, Víctor. Evaluación del tratamiento de A.R.D del municipio de Une, mediante coagulación con hidróxido de aluminio y oxidación química con peróxido y reactivo Fenton. *Ingeniero ambiental*. Bogotá D.C. Universidad de la Salle. 2015. 118 p.

**Ecuación 5.** Reacción general del método Fenton.



El Hierro (III) formado puede reaccionar con el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, a esto es llamado la reacción de FENTON, a la regeneración del Fe<sup>+2</sup>.



Los resultados finales de remoción de DQO y SS son de 61 al 67 % y 18 al 22 %<sup>50</sup>respectivamente, complementando los tratamientos de coagulación-floculación en un 22% a la reducción de las propiedades mencionadas, teniendo en cuenta un buen tratamiento fisicoquímico que aporta aproximadamente un 70 % de remoción conformando un 92%<sup>51</sup> de eficiencia en un tratamiento combinado.

**3.2.4 Filtración.** Esta etapa es ampliamente utilizada para el tratamiento de aguas residuales debido al uso de materiales granulares de origen natural, ya que presentan buenos rendimientos de remoción de contaminantes al incluirse en la etapa final de tratamiento. Algunos de los materiales utilizados son antracita, carbón activado, grava, arenas, resinas de intercambio iónico, entre otras. Este tipo de filtración granular funciona usando los principios de fuerzas impulsoras como las químicas, moleculares o superficiales<sup>52</sup>, contribuyendo a la retención de partículas logrando así una separación sólido- líquido eficiente con remoción de parámetros como los SS, olor, color y en algunas ocasiones DQO y DBO. En el cuadro 5 se muestran algunas de las ventajas y desventajas que presenta la filtración mediante materiales granulares al ser utilizados en un sistema de tratamiento de aguas residuales teniendo en cuenta las características propias de estos filtros y la clasificación de la sección 1.3.4.

---

<sup>50</sup> AVENDAÑO, Gerardo y REYES, Maritza. Evaluación del método Fenton para tratamiento de aguas industriales en ingeniería. Cuaderno de investigación. Bogotá. Universidad EAN, 2012. ISBN:978-958-756-192-0. p.44.

<sup>51</sup> BECERRA, Marco y CADENA, Sebastian. Evaluación de la aplicación del método Fenton a nivel laboratorio en la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa Aguas San Juan S.A.S ESP. Proyecto para optar por el grado de Ingeniero químico. Universidad de América. p.64

<sup>52</sup> RIGOLA. Op.cit., 67

**Cuadro 5.** Ventajas y desventajas de la filtración con materiales granulares.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Las aguas tratadas por medio de filtros granulares en especial los de arena arrojan efluentes de altísima calidad utilizados en procesos de riego o que pueden ser descargadas sin implicaciones ambientales.<sup>53</sup></li> <li>● No se requiere ningún compuesto químico que pueda alterar las condiciones del efluente.<sup>54</sup></li> <li>● Los costos asociados al gasto energéticos son mínimos.</li> <li>● El manejo de sistemas de filtración no necesita de personal calificado para su operación ni mantenimiento se evalúa su funcionamiento a partir de la turbidez.</li> <li>● Con respecto a la instalación y diseño no se presenta mayor complejidad.</li> <li>● El material de filtrado puede ser reemplazado por uno con mayor rendimiento sin afectar el diseño físico del filtro.<sup>55</sup></li> <li>● Para filtración lenta se tienen costos más bajos con montajes más sencillos.</li> <li>● Son materiales inertes que no interfieren con las características del agua a filtrar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● En algunas ocasiones puede requerir mucho terreno por lo cual se convierte en una alternativa costosa.<sup>55</sup></li> <li>● Factores como la luz y los climas fríos pueden causar colonias de algas o microorganismos indeseados y congelación del cuerpo de agua requiriendo un sistema de calefacción que contrarreste dichos efectos.<sup>56</sup></li> <li>● Necesitan mantenimiento rutinario.</li> <li>● Se pueden ocasionar problemas por obstrucción.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

Dependiendo de la disponibilidad de recursos y la calidad del agua a la que se desee llegar se utiliza el material granular analizando características como el tipo, su granulometría que se refiere al tamaño efectivo usado en la filtración y su

<sup>53</sup> Filtración. Ingeniería Ambiental - Grado en Tecnologías de la Ingeniería Civil. Recuperado de: [ftp://ceres.udc.es/Grado\\_TECIC/Cuarto\\_Curso/Ingenieria%20Ambiental/Filtracion/TEMA-filtraci%C3%B3n-rev140211-ajb.pdf](ftp://ceres.udc.es/Grado_TECIC/Cuarto_Curso/Ingenieria%20Ambiental/Filtracion/TEMA-filtraci%C3%B3n-rev140211-ajb.pdf)

<sup>54</sup> Environmental Protection Washington, D.C. Septiembre de 1999 Agency.Folleto informativo de tecnología de aguas residuales Filtros intermitentes de arena.United States Office of Water EPA 832-F-99-067.

<sup>55</sup>ARANA, Jose. Evaluación de la aplicación de carbón activado granular en la filtración del agua clarificada del río Cauca.Proyecto de grado para optar por el título de ingeniero Sanitario y Ambiental. Universidad del Valle. Santiago de Cali. p. 57

<sup>56</sup> . ROMERO, Leidy. Diseño de un sistema de Biofiltros para el tratamiento de aguas residuales que llegan de manera directa al humedal Neuta en el municipio de Soacha. Tesis para optar por el grado de Ingeniero ambiental. Universidad Libre. Bogotá D.C. p.11.

coeficiente de uniformidad que evalúa la semejanza en tamaño de las partículas de un material, en la tabla 7 se muestran dichos parámetros para los materiales más comunes usados en tratamiento de aguas.

**Tabla 7.** Características de materiales granulares usados típicamente en filtración de aguas.

<b>Material</b>	<b>Tamaño efectivo (mm)</b>	<b>Coefficiente de uniformidad</b>
Arena	0,50 a 2,5	1,35 a 1,70
Arena sílice fina	0,35 a 0,45	
Arena sílice estándar	0,45 a 0,65	
Arena sílice gruesa	0,70 a 0,90	
Antracita	0,70	De 1,1 a 1,8
Carbón activado granular	0,595 a 2,38 (mallas 8x30,12x40,14x30 y 14x 40) **	Menor a 2,1
Carbón activado granular	0,037 a 0,149	
Granate o ilmenita	0,15 a 0,30	Menor a 1,3
Gravilla	0,7 a 0,8	Menor a 6

Fuente: Pérez, Jorge.<sup>57</sup>

Tal como se indica en la tabla anterior es posible mediante el tamaño efectivo de un material lograr remociones eficientes que mejoren la calidad del agua, los materiales enunciados son los usados generalmente para el tratamiento de aguas y suelen configurarse de manera individual o combinada clasificándolos en lechos lentos y rápidos, para el caso de los primeros suelen construirse filtros de un solo material como arena, para el segundo caso se utilizan filtros con arena – antracita, arena- antracita- granate<sup>58</sup>, estas configuraciones son las más usadas en tratamiento de efluentes sin embargo se pueden acoplar distintos materiales para lograr los rendimientos deseados según el proceso.

Los filtros granulares son sistemas económicos y sencillos que permiten una remoción efectiva de materia orgánica, para filtros simples como arena se registran remociones de SS menores a 5 mg/L al igual que la DBO, para la DQO 15 al 25% y remoción del 99% para coliformes<sup>59</sup>; para los filtros combinados los

<sup>57</sup> PÉREZ, Jorge. Tratamiento de Aguas: Filtración. [en Línea]. Disponible en: [http://www.bdigital.unal.edu.co/70/6/45\\_-\\_5\\_Capi\\_4.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/70/6/45_-_5_Capi_4.pdf)

\*\* Referencias de tamices al someter al carbón a procesos de caracterización. Disponible en: <https://www.carbotecnica.info/encyclopedia/que-es-el-carbon-activado/>

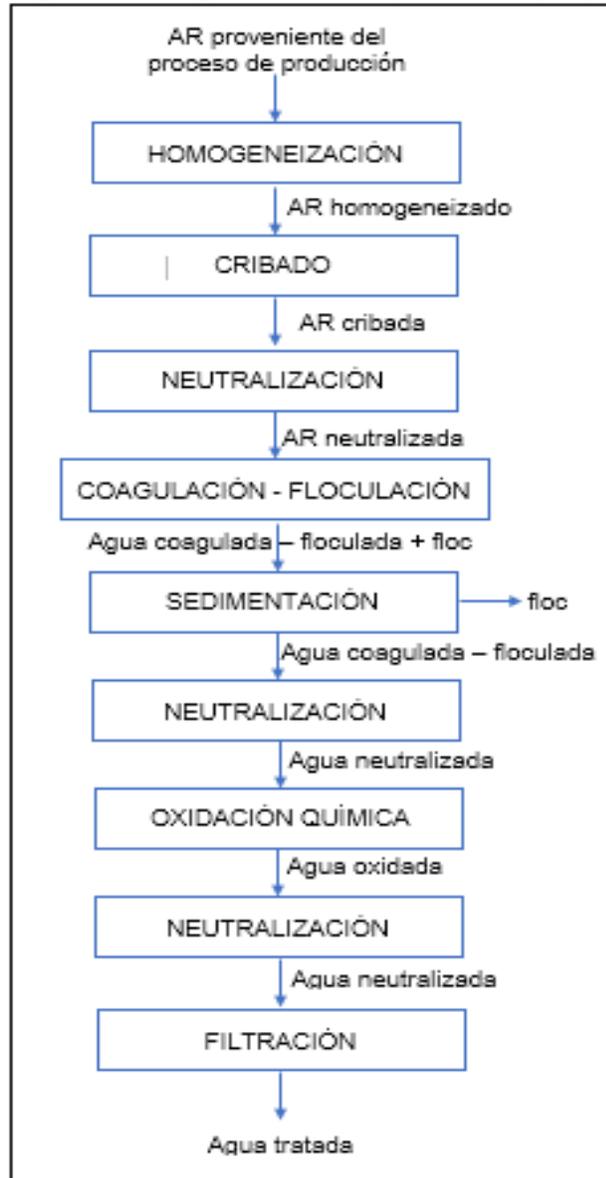
<sup>58</sup> Ibid., p.143.

<sup>59</sup> ARANA.Op.cit., 13 p.

porcentajes de rendimiento de remoción varían entre el 60% al 80% en todos los parámetros ya mencionados.

Después de realizar las consideraciones acerca de la propuesta de tratamiento resaltando las ventajas de cada una de las etapas se tiene que el desarrollo experimental se va a llevar a cabo bajo las condiciones que se presentan en el diagrama de bloques de la propuesta de tratamiento (figura 7).

**Figura 7.** Diagrama de bloques de la propuesta de tratamiento



Fuente: elaboración propia.

#### **4. DESARROLLO DEL MÉTODO EXPERIMENTAL PARA LA SELECCIÓN DE CONDICIONES PARA LA PROPUESTA DE TRATAMIENTO**

En el capítulo anterior se planteó una propuesta para el tratamiento de AR del proceso de producción de pulpas de fruta de la empresa Alimentos SAS S.A.S en la cual se evaluaron los diferentes criterios a tener en cuenta para su elección, a raíz de esto, es necesario diseñar un protocolo experimental con el cual se determinan las condiciones apropiadas para cada una de las operaciones unitarias de la propuesta planteada, dicha experimentación se realizó en los laboratorios de la Universidad de América.

##### **4.1 ENSAYOS DE HOMOGENEIZACIÓN, DESBASTE Y NEUTRALIZACIÓN**

**4.1.1 Homogeneización.** Como se mencionó en la sección 2, las muestras de AR de cada tipo de producción que se utilizaron en la caracterización están previamente homogeneizadas siguiendo los parámetros enunciados en la GTC 100; estas muestras son las utilizadas para los ensayos experimentales y se inicia el desarrollo con la muestra de AR para producción baja (imagen 6).

**Imagen 6.** Muestra de AR homogeneizada para producción baja.



Fuente: elaboración propia.

Los valores de partida para el desarrollo experimental se encuentran en la sección 2.2.2.2, tabla 4. Caracterización del agua residual para cada tipo de producción (baja, media y alta); los datos que se van a utilizar en el transcurso del desarrollo experimental se muestran en la tabla 8.

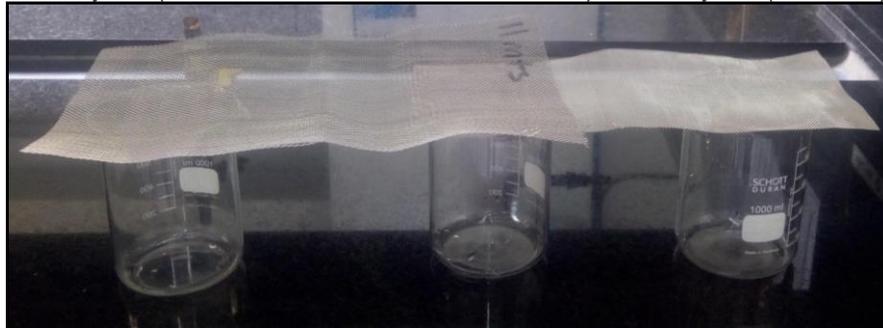
**Tabla 8.** Parámetros de partida de la muestra de AR de producción baja.

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
pH	Unidades	4,0
Turbidez	NTU	185
Conductividad	µs/cm	997
DQO	mg/L O <sub>2</sub>	676
DBO	mg/L O <sub>2</sub>	390,04

Fuente: elaboración propia.

**4.1.2 Desbaste.** Con la muestra de AR de producción baja completamente homogeneizada se realizan las pruebas correspondientes para el proceso de desbaste, para esta etapa preliminar de tratamiento se evalúan tres procedimientos con mallas en acero inoxidable, el primero consiste en una malla mesh 10 de 0,6 mm de diámetro, el segundo de una malla mesh 12 de 0,5 mm de diámetro y finalmente el tercero la combinación de estas mallas, en la imagen 7 se muestran los diferentes procedimientos y sus respectivos montajes.

**Imagen 7.** De izquierda a derecha: montaje 1 (0,6 mm), montaje 2 (combinada: 0,5 mm + 0,6 mm), montaje 3 (0,5 mm).



Fuente: elaboración propia.

Por cada procedimiento se filtra un litro de muestra homogeneizada y se compara el porcentaje de remoción de la turbidez (puesto que este indicador señala los sólidos en suspensión del agua) entre la muestra inicial y la obtenida después de esta etapa, en la ecuación 6 se muestra el cálculo para el porcentaje de remoción y en la tabla 9 se muestran los parámetros analizados por cada procedimiento y la comparación con el AR inicial.

**Ecuación 6.** Cálculo del porcentaje de Remoción

$$\%Remoción = \left( \frac{\text{variable inicial} - \text{Variable final}}{\text{Variable inicial}} \right) * 100$$

**Tabla 9.** Comparación de parámetros del agua inicial y de la obtenida por cada procedimiento de desbaste.

Parámetro	Medida Inicial	Procedimien to 1 (0,5 mm)	Procedimien to 2 (0,6 mm)	Procedimiento 3 (Combinada: 0,5 mm + 0,6mm)
pH	4,0	5,60	5,80	5,59
Turbidez	185 NTU	182,1 NTU	183,2 NTU	154,1 NTU
Conductividad	997 $\mu\text{s/cm}$	998 $\mu\text{s/cm}$	996 $\mu\text{s/cm}$	990 $\mu\text{s/cm}$
% Remoción		1,57%	0,97%	16,70%

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la tabla 9 el mejor procedimiento para el proceso de desbaste basado en la turbidez es la combinación de mallas de 0,6 mm en la parte superior la cual retiene sólidos de mayor tamaño y en la parte inferior una malla de 0,5 mm para retener sólidos más pequeños. Se determinó el porcentaje de remoción de cada procedimiento mediante la práctica de la medida de sólidos mencionado en la sección 2, los cálculos se encuentran en el anexo H dando como resultado una remoción del 57,70%, 27,35% y 84,40% para el procedimiento 1, 2 y 3 respectivamente confirmando así que el montaje combinado de mallas presenta mejor rendimiento, sin embargo, como se muestra en la imagen 8 y según los datos obtenidos aún se encuentra una mayor cantidad de sólidos, por ese motivo se lleva a cabo un proceso de coagulación - floculación para reducir en mayor cantidad la carga de sólidos que contiene el AR.

**Imagen 8.** Agua residual sometida a desbaste.



Fuente: elaboración propia.

**4.1.3 Neutralización (NaOH).** El proceso de neutralización se realiza con el fin de obtener un pH adecuado para que los coagulantes y floculantes tengan un buen funcionamiento, generalmente, el AR que sale del proceso de producción es de carácter ácido y los coagulantes - floculantes que se utilizan trabajan a un pH de

alcalino, para conocer la cantidad necesaria de neutralizante se realiza una curva de neutralización con una base fuerte como el hidróxido de sodio (NaOH). Para realizar la curva de neutralización se tomó una muestra de 500 mL de AR en un erlenmeyer y se registró el valor inicial del pH equivalente a 4,34 unidades, la neutralización se realizó por medio de una pipeta graduada de 10 mL con NaOH al 1% (10.000 ppm) la cual es agregada paulatinamente de a 3 mL midiendo la variación de pH en cada adición hasta alcanzar un pH de 9,19 unidades valor que teóricamente muestra un excelente funcionamiento para los coagulantes y floculantes. Para establecer el comportamiento de la curva de neutralización y determinar las concentraciones se hace uso de la ecuación 7, además en la gráfica 8 se muestra el comportamiento del pH respecto a la concentración de NaOH añadida y los datos obtenidos para la curva de neutralización se muestra en el Anexo E.

**Ecuación 7.** Fórmula general de diluciones.

$$C1 * V1 = C2 * V2$$

Donde,

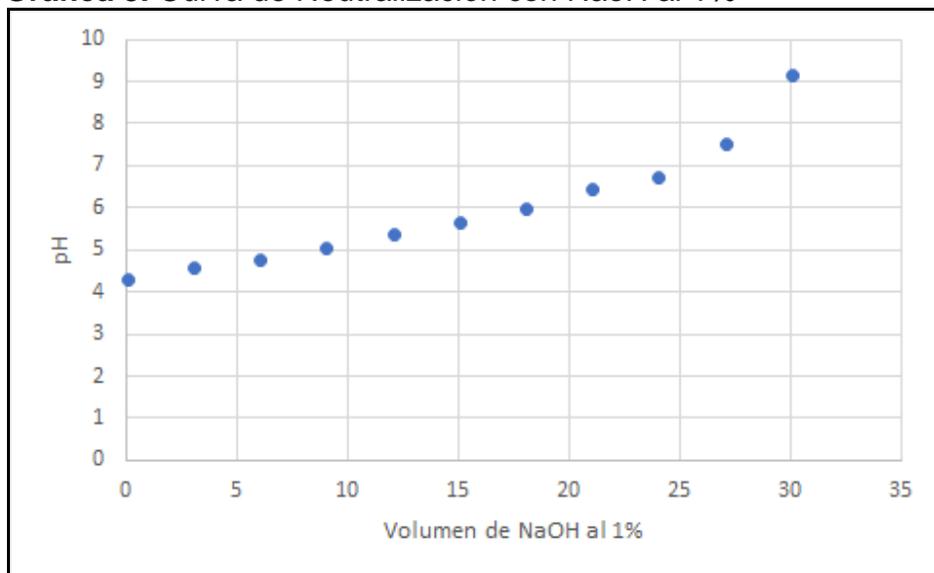
C1= Concentración desconocida (ppm)

C2= Concentración de NaOH utilizado (ppm)

V1= Cantidad de muestra que se va a neutralizar (mL)

V2= Cantidad de NaOH adicionado a la muestra (mL)

**Gráfica 8.** Curva de Neutralización con NaoH al 1%

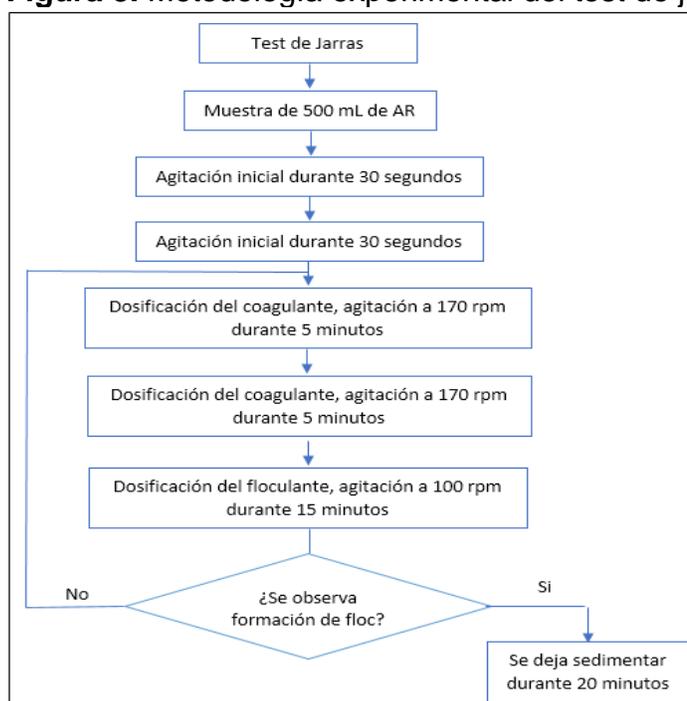


Fuente: elaboración propia.

## 4.2 ENSAYOS PARA COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN Y NEUTRALIZACIÓN

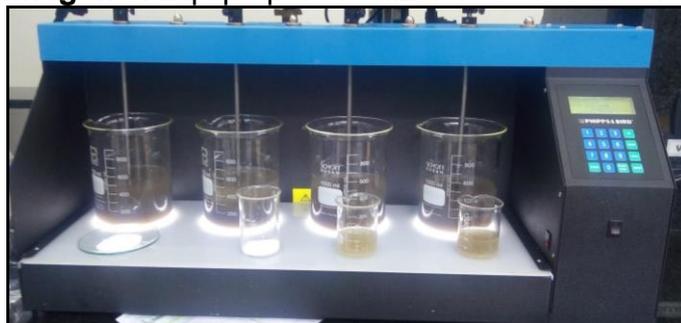
**4.2.1 Evaluación experimental por test de jarras para coagulantes y floculantes.** Al tener una muestra adecuada para la evaluación de coagulantes y floculantes, se utiliza el test de jarras, este ensayo se realiza a nivel de laboratorio para determinar que coagulante y floculante son más efectivos para el tratamiento, dicho procedimiento es realizado en el equipo de jarras de la Universidad América (imagen 9) siguiendo los parámetros establecidos por la NTC 3903 y las guías de laboratorio de química inorgánica experimental de la Universidad América como se muestra en la figura 8.

**Figura 8.** Metodología experimental del test de jarras.



Fuente: elaboración propia.

**Imagen 9.** Equipo para realizar Test de Jarras.



Fuente: elaboración propia.

**4.2.1.1 Descripción de coagulantes y floculantes.** Para realizar el test de jarras es importante disponer diferentes reactivos encargados de reducir la carga contaminante que contiene el AR, para ello, las empresas **ASEQUIMICOS S.A.S y PROAQ INGENIERIA S.A.S** proponen los coagulantes y floculantes más utilizados en la industria de alimentos en la etapa de coagulación y floculación; los cuales serán llevados al test de jarras para escoger cuál es el más efectivo.

**4.2.1.1.1 Coagulantes.** Los coagulantes, son reactivos que desestabilizan la materia suspendida en forma coloidal a través de la generación de una capa iónica cargada eléctricamente que rodea las partículas coloidales<sup>60</sup>. En el cuadro 6 se muestran las características de los coagulantes que se utilizan para la realización del test de jarras.

**Cuadro 6.** Descripción de los coagulantes.

<b>Nombre común (referencia)</b>	<b>Descripción</b>
Policloruro de Aluminio PAC (ASEFLOC 103)	Es específicamente utilizado como coagulante para clarificar aguas de consumo humano y para tratar aguas residuales, tiene un amplio rango de pH el cual oscila entre 5 y 10 unidades, presenta una eficiente desestabilización de emulsiones y genera buenos resultados en la remoción de SS y turbidez.
Policloruro de Aluminio Ramificado (PROAQ 1941)	Es específicamente utilizado como coagulante para clarificar aguas de consumo humano y para tratar aguas residuales, tiene un amplio rango de pH el cual oscila entre 5 y 10 unidades, presenta una eficiente desestabilización de emulsiones y genera buenos resultados en la remoción de SS y turbidez. Difiere del PAC al tener la capacidad de un rompimiento de emulsiones de tamaño reducido.
Sulfato doble de aluminio y amonio (SDAA)	Es utilizado para clarificación del agua, actúa en un amplio rango de pH (6 a 10), no produce espuma y es el único capaz de lograr en el agua claridad y brillantez.
Cloruro férrico	Es utilizado para tratamiento de aguas industriales turbidez alta, utilizado por su alta eficiencia en remoción de orgánicos y metales pesados, trabaja dentro de un pH entre 4,5 a 6 unidades.

Fuente: elaboración propia.

<sup>60</sup> Coagulantes. Industrial de coagulantes. En línea. Consultado el 18 de abril. Disponible en <https://industria-de-coagulantes.wikispaces.com/COAGULANTES>

**4.2.1.1.2 Floculantes.** Son sustancias químicas que permiten la formación de partículas de mayor tamaño (flocs) luego de que se haya desestabilizado la materia orgánica por medio de coagulación permitiendo la separación por sedimentación o filtración.<sup>61</sup> en el cuadro 7 se muestran las características de los floculantes utilizados para la experimentación.

**Cuadro 7.** Descripción de Floculantes.

<b>Nombre común (referencia)</b>	<b>Descripción</b>
Polímero Aniónico	Producto en forma de polvo blanco soluble en agua, mejora el proceso de separación y remoción de contaminantes del agua de consumo humano y aguas residuales. Se utiliza en agua con una gran carga contaminante
Polímero Catiónico	Se utiliza como floculante para procesos de remoción de contaminantes y clarificación del agua, se emplea para aumentar la cohesión de lodos en agua con poca cantidad de carga orgánica.

Fuente: elaboración propia.

**4.2.1.2 Desarrollo experimental del test de jarras.** El desarrollo experimental se realizó bajo la metodología presentada en la figura 8 mediante 3 ensayos en un equipo de jarras de 4 puestos. El objetivo de estos ensayos es observar el comportamiento que tienen los coagulantes y floculantes con el AR de producción baja de ALIMENTOS SAS S.A.S y así determinar cuál es el más efectivo. En este procedimiento se comparan los parámetros obtenidos después del ensayo de desbaste (procedimiento 3) con los obtenidos en el test de jarras indicando el porcentaje de remoción de turbidez mediante la ecuación 6. Antes de empezar con el procedimiento, se deben preparar los coagulantes y los floculantes puesto que estos se encuentran en estado puro.

**4.2.1.2.1 Preparación de Coagulantes.** Para los coagulantes se establece una concentración del 10% (100.000 ppm), para el PAC y el PROAQ 1941 que se encuentran en estado líquido se tomaron 20 mL y se diluyeron en 200 mL de agua, para el cloruro férrico, sulfato de aluminio tipo A y SDAA<sup>\*62</sup> que se encuentran en estado sólido se midieron 20 gr de coagulante y se diluyeron en 200 mL de agua, los cuales se colocaron posteriormente en el equipo de jarras durante 40 minutos a una agitación continua de 100 rpm y los coagulantes se añadieron lentamente hasta obtener una consistencia viscosa y homogénea, cabe

<sup>61</sup> Floculantes. Industrial de coagulantes. En línea. Consultado el 18 de abril. Disponible en <https://industria-de-floculantes.wikispaces.com/FLOCULANTES>

<sup>62</sup> \* Sulfato doble de aluminio y amonio (Alumbre)

resaltar que la concentración que se utilizó fue del 10% debido a que se realizaron diferentes soluciones con concentraciones más altas y estas se sobresaturan impidiendo el buen funcionamiento de los coagulantes.

**4.2.1.2.2 Preparación de Floculantes.** Para los floculantes se establece una concentración del 0,5% (5000 ppm), tanto para el polímero aniónico como para el polímero catiónico los cuales se encuentran en estado sólido, se midieron 2,5 g de floculante y se diluyeron en 500 mL de agua, posteriormente de manera análoga al procedimiento de coagulantes se colocaron en el equipo de jarras durante 40 minutos a una agitación continua de 100 rpm y los floculantes se añadieron lentamente hasta obtener una consistencia viscosa y homogénea, cabe resaltar que la concentración que se utilizó fue del 0,5% debido a que se realizaron diferentes soluciones con concentraciones más altas, estas se sobresaturan impidiendo el buen manejo y funcionamiento de los coagulantes.

Con los coagulantes y floculantes al 10% y al 5% respectivamente, se realiza el primer ensayo de jarras para saber cuál es el más efectivo, para ello se toma una muestra de AR después de la neutralización, inicialmente se evalúan los polímeros aniónico y catiónico, para ello se toma el coagulante SDAA (puesto que teóricamente muestra un mejor rendimiento) en una dosificación constante modificando las cantidades del floculante aniónico y catiónico, la agitación inicial fue de 1 minuto a 200 rpm y luego descendió la velocidad a 40 rpm durante 20 minutos, se deja sedimentar durante 20 minutos para verificar la sedimentación del floc, en el Anexo F.1 se muestran los resultados obtenidos para el primer ensayo de jarras para la selección del floculante y en la imagen 10 se evidencian los resultados.

**Imagen 10.** Primer ensayo de jarras para la determinación del polímero floculante (De izquierda a derecha: Polímero aniónico 45 ppm, polímero aniónico 25 ppm, polímero catiónico 45 ppm, polímero catiónico 25 ppm)



Fuente: elaboración propia.

Con este ensayo se determina que el floculante más apropiado para el tratamiento de AR en producción baja de la empresa Alimentos SAS S.A.S es el polímero aniónico con una dosificación de 45 ppm mostrando un porcentaje de remoción del

98,10%, el cual es mayor al polímero catiónico y a la dosificación menor del polímero aniónico.

Al conocer el floculante más adecuado y su dosificación, se evalúan cada uno de los coagulantes variando las dosificaciones y obteniendo el porcentaje de remoción para cada uno, en el Anexo F.2 en las tablas 28, 29, 30 y 31 se muestran los resultados experimentales obtenidos para los coagulantes PROAQ 1941, sulfato de aluminio tipo A, PAC y SDAA respectivamente; y en las imágenes 11, 12, 13 y 14 se evidencian los resultados para los diferentes test de jarras por coagulante. Sin embargo, para el coagulante cloruro férrico las muestras que se realizaron se aglomeraron y por ese motivo no se realiza un registro específico para este coagulante.

**Imagen 11.** Ensayo de jarras coagulante PROAQ 1941.



Fuente: elaboración propia

**Imagen 12.** Ensayo de jarras coagulante sulfato de aluminio.



Fuente: elaboración propia

**Imagen 13.** Ensayo de jarras coagulante PAC.



Fuente: elaboración propia.

**Imagen 14.** Ensayo de jarras coagulante SDAA.



Fuente: elaboración propia

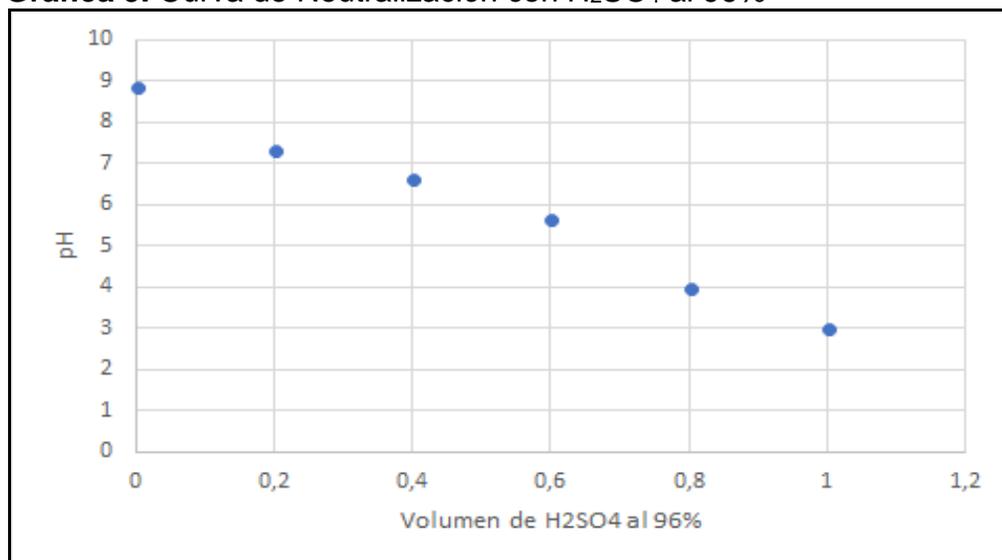
#### **4.2.2 Análisis de resultados para operaciones de coagulación y floculación.**

Como se observa en las imágenes 11, 12, 13 y 14 el mejor coagulante es el SDAA, puesto que tanto cualitativa como cuantitativamente presenta una remoción significativa de la cantidad de SS equivalente al 98,10% y el floc que se forma es más unificado y visible, en ese orden de ideas, se elige este coagulante a una concentración de 1.400 ppm y como floculante al polímero aniónico a una concentración de 45 ppm para el AR en producción baja.

**4.2.3 Neutralización ( $H_2SO_4$ ).** El proceso de neutralización se realiza con el fin de obtener un pH adecuado para iniciar el proceso de oxidación química, después del proceso de coagulación - floculación el pH de la muestra es de carácter básico en este caso de 8,51 unidades y para iniciar la reacción el pH apto es de 3,00 unidades, para conocer la cantidad necesaria de neutralizante a utilizar se realiza una curva de neutralización con un ácido fuerte como el ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) de manera análoga como se realizó con el NaOH (sección 4.1.3 Neutralización (NaOH)). La neutralización se realizó con  $H_2SO_4$  a una concentración del 96 % (960.000 ppm) la cual es agregada paulatinamente de a 0,2 mL midiendo la variación de pH en cada adición hasta alcanzar un pH de 3,01 unidades, el cual es apto para comenzar el proceso de oxidación química. Para establecer un comportamiento de la curva de neutralización y determinar las concentraciones se obtiene por relación con la ecuación 7 la cual se encuentra en la sección 4.1.3 Neutralización (NaOH).

Los valores obtenidos para la curva de neutralización se encuentran en la tabla 25 del Anexo E.2 y en la gráfica 9 se muestra el comportamiento del pH y el volumen de  $H_2SO_4$ .

**Gráfica 9.** Curva de Neutralización con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 96%



Fuente: elaboración propia.

### 4.3 EVALUACIÓN DEL MÉTODO FENTON PARA OXIDACIÓN AVANZADA

Dando seguimiento al planteamiento de la propuesta presentada en la sección 3 y al tener un cuerpo de agua adecuado para la oxidación química con un pH de 3,01 se evalúa la oxidación química o método Fenton, este método consiste en la degradación de materia a partir de peróxido de hidrógeno y una sal de hierro como catalizador, en este caso sulfato ferroso; el uso frecuente de este procedimiento prepara el efluente para posteriores tratamientos garantizando las características fisicoquímicas para una descarga segura sin necesidad de etapas posteriores de tratamiento<sup>63</sup>. Las cantidades de peróxido y de sulfato ferroso deben ser controladas debido a que si aumenta la oxidación aumentan sus cantidades, sin embargo, al generar un exceso se producen reacciones indeseadas.

**4.3.1 Reactivos necesarios para la oxidación química.** Los reactivos necesarios para la realización de la oxidación química se presentan en el cuadro 8 junto con una breve descripción de estos.

<sup>63</sup> AVENDAÑO y REYES.Op.cit.,p.15.

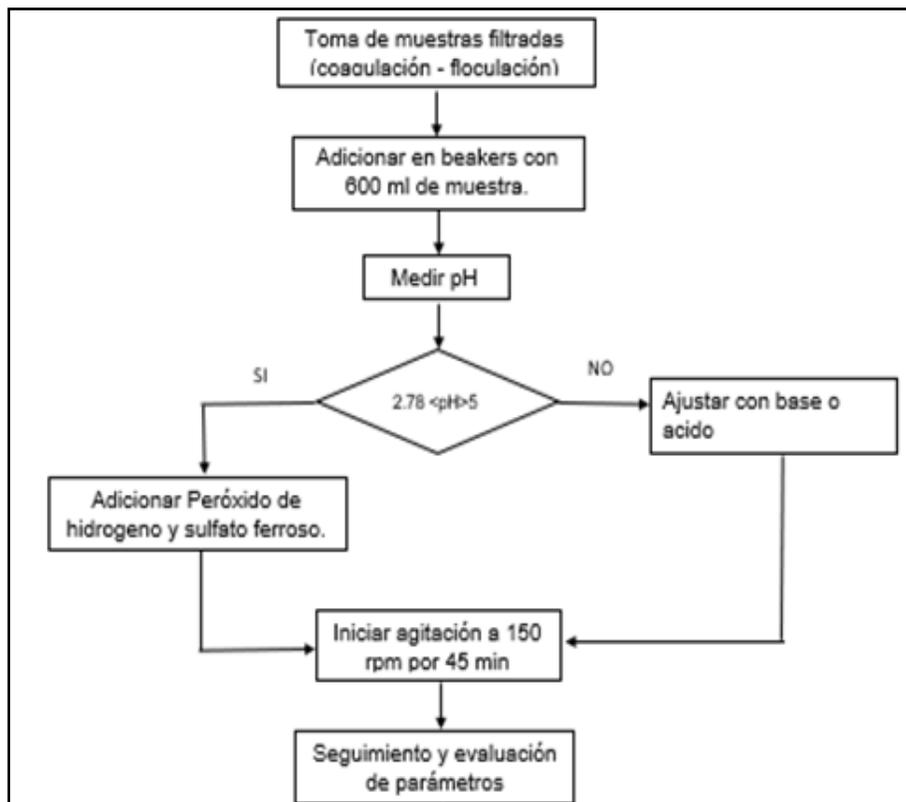
**Cuadro 8.** Reactivos necesarios para la oxidación química.

Nombre común (referencia)	Descripción
Peróxido de hidrógeno	Compuesto químico líquido, incoloro de olor penetrante, volátil y altamente polar. Se usa para la remoción de DQO, olor y color del agua residual, tiene usos antisépticos y no es tóxico.
Sulfato ferroso ( $Fe^{2+}$ )	Compuesto químico sólido utilizado en el tratamiento primario de aguas residuales correspondiente a la etapa de floculación, también es usado como agente reductor, sobre todo para la reducción de cromatos de cemento.

Fuente: elaboración propia.

**4.3.2 Metodología experimental.** Se realizaron 3 experimentos con una muestra de AR previamente homogeneizada, desbastada, neutralizada (NaOH), coagulada - floculada y neutralizada ( $H_2SO_4$ ) para llevar a cabo la oxidación química mediante el reactivo Fenton siguiendo la metodología presentada en la figura 9.

**Figura 9.** Proceso experimental para oxidación química con reactivo Fenton.



Fuente: elaboración propia

**4.3.2.1 Ensayo experimental.** Para lograr una estandarización de la reacción se toma en cuenta lo enunciado por FLORENCIA<sup>64</sup> mencionando la efectividad del método Fenton a través de una reacción heterogénea, allí se evalúan las cantidades a partir del volumen que ocupa una mol de O<sub>2</sub> a condiciones normales de presión y temperatura (0 °C y 1 atm) aplicando la fórmula de gases ideales.

**Ecuación 8.** Cálculo del volumen por medio de la fórmula de gases ideales.

$$V = \frac{nRT}{P}$$

Donde

n: Número de moles

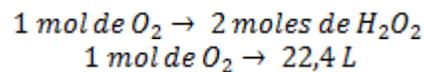
R: constante de gases tomada como 0,082 atm\*L/mol\*K

T: temperatura estándar (K)

P: presión del experimento (atm)

$$V = \frac{1 \text{ mol} * 0,082 \frac{\text{atm} * \text{L}}{\text{mol} * \text{K}} * 273,15 \text{ K}}{1 \text{ atm}} = 22,4 \text{ L}$$

Una mol de oxígeno ocupa 22,4 L a condiciones estándar, teniendo en cuenta que el peróxido de hidrógeno se descompone en 2 moles de oxígeno, se establece la siguiente relación:



De acuerdo con la relación anterior, se puede establecer que en un litro de AR a tratar hay 0,04166 moles de O<sub>2</sub>, en ese orden de ideas 0,08332 moles de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Determinadas las moles que se tienen de peróxido de hidrógeno según la relación estequiométrica, se determina por medio de la ecuación 9 la cantidad de gramos necesarios para el tratamiento mientras que con la ecuación 10 se determina el volumen necesario para el peróxido de hidrógeno al 50% en un litro de agua a tratar.

**Ecuación 9.** Cálculo de los gramos de peróxido de hidrógeno

$$n = \frac{m}{PM}$$

---

<sup>64</sup> FLORENCIA, Eduardo. Diseño de una instalación para tratar un agua residual textil combinando tratamiento fisicoquímico y oxidación avanzada (Qdiseño = 100 m<sup>3</sup>/d). Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero químico. Valencia. Universidad politécnica de Valencia. 2015. 23 p.

$$0,08332 \text{ mol de } H_2O_2 = \frac{m}{34 \text{ g} * \text{mol}^{-1}}$$

$$m = 2,833 \text{ g}$$

**Ecuación 10.** Cálculo del volumen de peróxido de hidrógeno

$$V \text{ de } H_2O_2 = \frac{\text{gramos}}{\text{pureza de } H_2O_2}$$

$$V \text{ de } H_2O_2 = \frac{2,833 \text{ g}}{0,50 \text{ g} * \text{mL}^{-1}} = 5,67 \text{ mL}$$

Con el volumen determinado de peróxido de hidrógeno, el cual equivale a 5,67 mL se estima la cantidad de catalizador necesaria para dicho volumen, para ello se enuncia la relación estequiométrica planteada por GUARÍN y ZAMBRANO<sup>65</sup> la cual es de 1:10 (sulfato de hierro: peróxido), en ese orden de ideas en la tabla 10 se muestran los volúmenes utilizados para la muestra de AR de producción baja, tomando cantidades cercanas a las obtenidas teóricamente y el límite máximo de ésta.

**Tabla 10.** Cantidades experimentales para oxidación química.

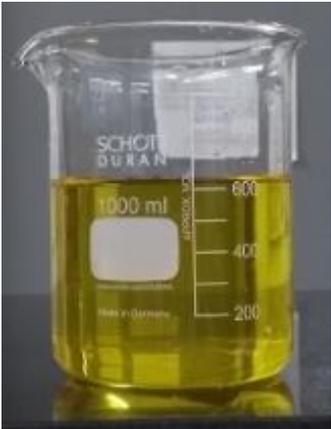
<b>Volumen de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a 50%</b>	<b>Dosificación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a 50%</b>	<b>Dosis de Fe<sup>+2</sup></b>
5 ml	5.000 ppm	0,5 g
10 ml	10.000 ppm	1 g
20 ml	20.000 ppm	2 g

Fuente: elaboración propia.

**4.3.3 Análisis de resultados y condiciones para el método Fenton.** Se realizaron tres pruebas en el equipo de jarras en los cuales se agregaron las cantidades mencionadas en la tabla 30 y con condiciones de 150 rpm durante 45 minutos, durante ese tiempo, se observaron de manera constante los cambios físicos que presentan cada uno de los ensayos (cuadro 9).

<sup>65</sup> GUARIN, Laura y ZAMBRANO, Juan. Evaluación técnica de la remoción de ión cianuro a través de la fotocatalisis y el reactivo fenton en las aguas residuales de industrias Tiner S.A a nivel laboratorio. Tesis de grado. Universidad América 2013. 81p.

**Cuadro 9.** Pruebas experimentales del método de oxidación química.

<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>
 A 1000 ml Schott Duran beaker containing a pale yellow liquid. The liquid level is approximately 500 ml. The beaker is placed on a dark surface.	 A 1000 ml Schott Duran beaker containing a medium yellow liquid. The liquid level is approximately 500 ml. The beaker is placed on a dark surface.	 A 1000 ml Schott Duran beaker containing a bright yellow liquid. The liquid level is approximately 500 ml. There is visible foam and bubbles on the surface of the liquid. The beaker is placed on a dark surface.

Fuente: elaboración propia.

Como se muestra en el cuadro 9, para la muestra 1 se presenta un color amarillo mucho más tenue en comparación a las muestras 2 y 3, esto se debe a la menor cantidad de reactivos agregados logrando un viraje de color menos agresivo, en la muestra 3 se presentó espuma y burbujas en la parte superior del beaker lo cual indica un exceso de reactivos y producción de reacciones secundarias indeseadas evidenciadas aun estando la muestra en reposo. Sin embargo, ninguna de las muestras presentó el olor característico de la fruta u olor a tierra lo que significa que la remoción de este parámetro se dio mediante el método de oxidación química.

Luego de 20 minutos de reposo de la muestra y observar de manera cualitativa si la muestra presenta SS y/o SSED, se midieron los parámetros de DQO, turbidez, conductividad y pH final a cada una de las pruebas, los valores de dichos parámetros se compran en la tabla 11; después de dicho tiempo en reposo, ninguna de las tres muestras presentó un cambio de color ni tampoco SS y/o SSED, rectificando así el buen funcionamiento del proceso de coagulación - floculación.

**Tabla 11.** Resultados del Método Fenton para cada una de las pruebas.

Parámetro	Parámetros iniciales AR	Condición experimental: pH 3 ENSAYO		
		1	2	3
DQO (mg/L de O <sub>2</sub> )	676	9	20	No registró lectura
Turbidez (NTU)	2,93	1,82	2,53	9,28
Aspecto	Amarillo tenue	Amarillo tenue	Amarillo	Amarillo oscuro
Conductividad (µs/cm)	1.294	3.209	3.233	3.260
pH	2,58	2,55	2,58	-
% de remoción turbidez		37,89%	13,65%	2,98

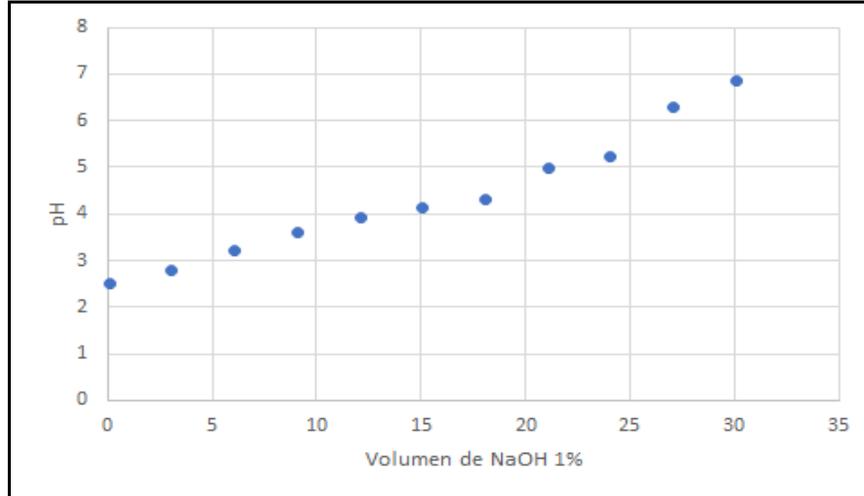
Fuente: elaboración propia.

A partir de las propiedades registradas en la tabla 13 es posible determinar que la mayor a remoción de turbidez se presenta en la prueba 1, la cual es del 37,89% respecto a los parámetros presentados después del proceso de coagulación - floculación, respecto a la remoción de DQO se presenta un porcentaje del 98,66% respecto al valor inicial rectificando así lo mencionado en el planteamiento de la propuesta respecto a la efectividad del método Fenton, sin embargo, el pH se encuentra fuera de los rangos permitidos los cuales según la resolución 0631 del 2015 oscila entre 6 a 9 unidades así que se ajusta, utilizando en este caso una base fuerte como el hidróxido de sodio al 1% de manera análoga al proceso de neutralización (NaOH).

**4.3.4 Neutralización final (NaOH).** El proceso de neutralización se realiza con el fin de obtener un pH apto para vertimiento del agua según la resolución 0631 del 2015 después de la realización de oxidación química. La muestra se encuentra en un pH de 2,55 unidades y para ser vertida debe encontrarse dentro del rango de 6,00 a 9,00 unidades, como el pH resultante es de carácter ácido se realiza una curva de neutralización con una base fuerte (NaOH). Para realizar la curva de neutralización se realiza el procedimiento de manera análoga a la enunciada en la sección 4.1.3 llegando a un pH de 6,89 unidades que se encuentra dentro del rango de vertimiento.

Para establecer el comportamiento de la curva de neutralización y determinar las concentraciones se obtiene por relación con la ecuación 7. En el Anexo E.3 se muestran los datos obtenidos para la curva de neutralización con NaOH y en la gráfica 10 la curva de neutralización.

**Gráfica 10.** Curva de Neutralización con NaoH al 1%.



Fuente: elaboración propia.

#### **4.4 FILTRACIÓN CON MEDIOS GRANULARES**

Dando seguimiento a la propuesta planteada en la sección 3 y con base a las referencias encontradas se realizaron cuatro montajes elaborados mediante botellas plásticas con capacidad de 500 mL, estas contienen los diferentes materiales de filtración teniendo en cuenta los principios de filtración rápida que involucran el uso de 2 o más materiales filtrantes.

**4.4.1 Materiales filtrantes.** Los materiales filtrantes utilizados fueron antracita, carbón activado, arena sílice, arena torpedo y arena 20/40 cuyas descripciones de dichos materiales se encuentra en el cuadro 10.

**Cuadro 10.** Descripción de los materiales filtrantes utilizados.

<b>Nombre común</b>	<b>Descripción</b>
Antracita	Es un excelente medio de filtración utilizado para clarificar el agua potable o industrial en combinación con arenas filtrantes. Es un carbón mineral, de color negro, brillante, con gran dureza, presenta mayor contenido en carbono, hasta un 95%, permite que el material que se encuentra en suspensión sea retenido en la profundidad del lecho filtrante. <sup>66</sup>
Carbón Activado	Posee gran cantidad de microporos, está diseñado para absorber específicamente aquellos químicos peligrosos que posea el agua. Elimina especialmente el cloro, sabores y olores y demás químicos orgánicos. <sup>67</sup>
Arena Sílice	Es un compuesto resultante de la combinación de sílice con el oxígeno (SiO <sub>2</sub> ), es muy estable e insoluble en agua, utilizado principalmente como lecho filtrante para la depuración y potabilización de las aguas reteniendo partículas de menor tamaño que no se separan por decantación. <sup>68</sup>
Arena de filtración torpedo.	Está formada por granos subangulares, duros, duraderos y densos de material predominante sílice. Tiene una vida de útil extensa y puede ser lavada de manera constante. <sup>69</sup>
Arena 20/40	Debido a que presenta un peso ligero las velocidades de retro lavado son más bajas que las requeridas por otros medios filtrantes, posee una alta capacidad de reducción de sedimento dándole mayor duración al filtro y menos gasto de agua para el retrolavado. <sup>70</sup>
Gravilla	Es inerte y de apariencia natural, su tamaño de poro es mayor y es pesado, por este motivo se utiliza generalmente como soporte para los materiales de capas superiores y darle estabilidad al filtro. <sup>71</sup>

Fuente: elaboración propia.

<sup>66</sup> Antracita. Carbotecnia. En línea. consultado el 03 de mayo del 2018. Disponible en : <https://www.carbotecnia.info/>

<sup>67</sup> Carbón Activado. Filtros y bombas blogspot. En línea. consultado el 03 de mayo del 2018. Disponible en: <http://filtrosybombas.blogspot.com.co/2011/12/como-funciona-el-carbon-activado.html>

<sup>68</sup> Arena Sílice. Carbotecnia. En línea. Consultado el 03 de mayo del 2018. Disponible en: <https://www.carbotecnia.info/producto/medio-arena-silica-para-filtros-de-agua/>

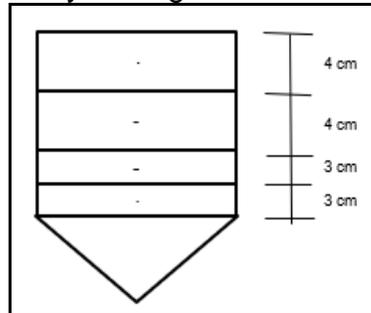
<sup>69</sup> Arena Torpedo. Antracitas de Cundinamarca LTDA. En línea. Consultado el 03 de mayo del 2018. Disponible en: [http://www.antracitasdecundinamarca.com/?page\\_id=10](http://www.antracitasdecundinamarca.com/?page_id=10)

<sup>70</sup> Arena 20/40. Carbotecnia. En línea. Consultado el 03 de mayo del 2018, Disponible en: <https://www.carbotecnia.info/producto/filter-ag/>

<sup>71</sup> Gravilla. Zootecnia doméstica. En línea. Consultado el 04 de mayo del 2018. Disponible en: <http://www.zootecniadomestica.com/materiales-filtrantes/>

**4.4.2 Procedimiento experimental.** En cada uno de los montajes realizados se mantuvo un fondo falso (algodón) y gravilla en la primera y segunda capa respectivamente, con el fin de dar soporte a los materiales posteriores y facilitar el control de la salida del caudal; se alternan los materiales de filtración más livianos, es decir, de la tercera y cuarta capa. En la figura 10 se muestran las distribuciones de las capas y la longitud que estas tienen.

**Figura 10.** Distribución de las capas para los filtros y la longitud de estos.



Fuente: elaboración propia.

La organización de las diferentes capas en los montajes se encuentra en la imagen 15 junto con las especificaciones de la figura 5 y las descripciones del cuadro 11. Es importante mencionar que el orden del cuadro 11 corresponde con los montajes mostrados en la imagen 15.

**Cuadro 11.** Descripción de los lechos de filtración.

Capa	Montaje 1	Montaje 2	Montaje 3	Montaje 4
4	Antracita	Antracita	Carbón activado	Carbón activado
3	Arena Torpedo	Arena 20/40	Arena Silice	Antracita
2	Gravilla	Gravilla	Gravilla	Gravilla
1	Algodón	Algodón	Algodón	Algodón

Fuente: elaboración propia.

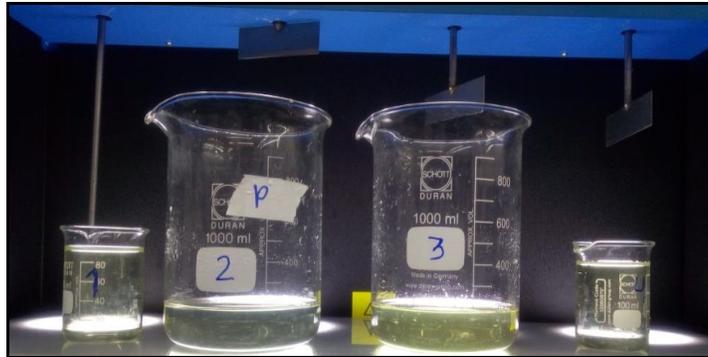
**Imagen 15.** Montaje de los lechos filtrantes.



Fuente: elaboración propia.

**4.4.3 Resultados y análisis de resultados.** De la muestra resultante del proceso de oxidación se tomaron 4 muestras de 250 mL cada una las cuales se vertieron en los lechos filtrantes, luego de que la filtración esté completa, se realiza la medición de diferentes parámetros como turbidez, conductividad y aspecto, con el fin de identificar cual es el mejor. En la imagen 16 se muestran los resultados cualitativos del agua filtrada por lecho y en la tabla 12 se registran los valores de los parámetros resultantes para cada lecho filtrante, mostrando los porcentajes de remoción tanto para la turbidez como para la conductividad. Se realizó el análisis de caudal para un volumen de control de 200 mL para las muestras 2 y 3 y para las muestras 1 y 4 de 100 mL.

**Imagen 16.** Muestra de agua después de filtración con materiales granulares.



Fuente: elaboración propia.

**Tabla 12.** Resultados de filtración con materiales granulares.

Parámetro	Unidad	Montaje 1	Montaje 2	Montaje 3	Montaje 4
pH		6,90	6,87	6,85	6,91
Turbidez	NTU	0,61	0,30	1,30	1,09
Conductividad	$\mu\text{S}/\text{cm}$	1071	1018	1224	1095
Caudal	$\text{m}^3/\text{min}$ ,	$4,098 \times 10^{-5}$	$2,845 \times 10^{-5}$	$2,845 \times 10^{-5}$	$3,448 \times 10^{-5}$
% remoción turbidez	%	66,48%	83,52%	48,62%	56,92%
% Remoción conductividad	%	66,63%	68,28%	62,11%	66,10%

Fuente: elaboración propia

En general, la filtración por medios granulares presenta excelentes rendimientos en cuanto a remoción de turbidez, conductividad y aspecto, como se evidencia en la tabla 12 el mejor montaje es el segundo, el cual consta de antracita y arena 20/40 puesto que logró una mayor remoción de los parámetros evaluados y logra de manera cualitativa una clarificación mayor del agua.

#### 4.5 RESULTADOS DEL MÉTODO EXPERIMENTAL Y COMPARACIÓN DE PARÁMETROS

Para el AR proveniente del proceso de producción baja de pulpas de fruta de la empresa Alimentos SAS S.A.S, es decir, el proceso de producción de una fruta y algunos lavados de equipos, las condiciones adecuadas obtenidas de manera experimental radican con el comienzo del proceso de homogeneización del AR, posteriormente se lleva a un sistema de desbaste con una combinación de mallas consecutivas en acero inoxidable mesh 10 (6 mm) y mesh 12 (5 mm), luego se prepara la muestra para el proceso de coagulación - floculación neutralizándola con hidróxido de sodio al 1% hasta alcanzar un pH de  $9,3 \pm 0,2$  unidades el cual es apto para el proceso, ya con la muestra neutralizada se coagula con SDAA al 10% a una concentración de 1.400 ppm durante un minuto a una velocidad de 200 rpm y se flocula con un polímero aniónico al 0,5% a una concentración de 45 ppm durante 15 minutos a una velocidad de 40 rpm para mezclar completamente la muestra y formar los flocs bien definidos, se deja en reposo durante 20 minutos para la sedimentación de los flocs y se pasa nuevamente por el sistema de desbaste para una separación de los flocs y el agua. Luego se neutraliza la muestra con ácido sulfúrico al 96% hasta llegar a un pH de  $3,1 \pm 0,1$  unidades la cual es apta para el proceso de oxidación química en donde se utilizan 0,5 gr de sulfato de hierro como catalizador y 5 mL (5.000 ppm) de peróxido de hidrógeno al 50% como agente oxidante. Finalmente se neutraliza nuevamente la muestra hasta alcanzar el pH dentro del rango de vertimiento entre 6 y 9 unidades (preferiblemente de 7 unidades) y se filtra por un lecho de gravilla, arena 20/40 y antracita para terminar la reducción de parámetros y disminuir el aspecto de la muestra final para ser vertida. En la tabla 13 se muestran los parámetros iniciales de la muestra de AR para producción baja en comparación con la muestra final y si esta última cumple con el rango de los parámetros establecidos por la resolución 0631 del 2015 para ser vertida.

**Tabla 13.** Comparación de parámetros de la muestra cruda con la tratada

Parámetro	Unidades	Muestra Inicial	Muestra Final	% Remoción	Cumplimiento
pH		4,0	6,32		Si
Turbidez	NTU	185	0,61	99,67%	N/A
Conductividad	$\mu\text{s/cm}$	997	1.071	-	N/A
DQO	mg/L O <sub>2</sub>	676	9	98,67%	Si
DBO <sub>5</sub>	mg/L O <sub>2</sub>	390,04	6,75	98,27%	Si

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en los resultados presentes en la tabla 13, la remoción de parámetros es de más del 90% llevando así el AR de producción baja a un vertimiento sin complicaciones, para corroborar las condiciones del proceso se realiza la experimentación para producción alta y así poder confirmar si lo

desarrollado durante la propuesta es apto para una carga mayor o hay algún tipo de modificaciones.

#### 4.6 RÉPLICA DEL MÉTODO EXPERIMENTAL

Inicialmente se realizó una prueba experimental con AR de producción media con las condiciones exactas con las que se realizó el desarrollo de la propuesta con AR de producción baja, pero se presentó un error en el procedimiento de coagulación - floculación debido a que no se formó un floc compacto como se evidenció con la muestra de producción baja, sin embargo, el desarrollo experimental continuó para verificar la efectividad de los otros procedimientos en las mismas condiciones. Los resultados que se obtuvieron respecto a la DQO para ese desarrollo experimental se muestran en la tabla 14.

**Tabla 14.** Resultados de DQO para el desarrollo experimental con error.

<b>Tipo de muestra</b>	<b>DQO (mg/L O<sub>2</sub>)</b>
Cruda	2.416
Coagulada – floculada	1.418
Oxidada	1.992
Filtrada	840

Fuente: elaboración propia.

Como se muestra en la tabla anterior, en el proceso de oxidación se eleva el valor de la DQO después del proceso de coagulación - floculación rectificando la presencia de sólidos en la muestra después de dicho proceso, sin embargo, la filtración redujo una gran cantidad de carga orgánica asegurando así su efectividad. En ese orden de ideas, se realizan diferentes ensayos cualitativos con otros coagulantes y floculantes con diferentes tipos de AR en producción media y alta de diferentes naturalezas durante una semana en la empresa. Actualmente, la empresa no cuenta con un equipo de jarras así que se trata de simular las velocidades de agitación utilizadas para el proceso de coagulación - floculación y se observa la formación de flocs en cada una de las muestras, esto con el fin de estandarizar el coagulante y el floculante que se adecúan para el AR de producción media y alta.

En los primeros tres días se evaluaron nuevamente los coagulantes utilizados en la metodología experimental, es decir, PAC, PROAQ 1941, sulfato de aluminio tipo A, cloruro férrico y SDAA al 10%, para probar cada uno de los coagulantes y floculantes se utilizó hidróxido de sodio y ácido nítrico al 40% para ambos reactivos puesto que son los que dispone la empresa, para cada muestra se llevó el pH a un valor de 7 unidades y se midieron los coagulantes a 1400 ppm y se probaron nuevamente con el polímero aniónico al 0,5% variando la dosificación,

pero los ensayos realizados mostraron un floc compacto y de gran tamaño cuando la concentración del polímero aniónico era de 1500 ppm, sin embargo esta cantidad es elevada comparada con las utilizadas en los demás ensayos; en el cuarto día se decidió cambiar el floculante por el polímero catiónico para ver si se formaba un floc compacto y de gran tamaño disminuyendo la cantidad de polímero, cada uno de los coagulantes se probaron nuevamente a 1400 ppm y el polímero catiónico mostró un floc compacto a 15 ppm, sin embargo, con el coagulante SDAA se presentó un floc de mayor tamaño y un aspecto del agua más clara que los presentados con los otro coagulantes. Con el coagulante SDAA definido y rectificando el uso de éste al igual que en AR de producción baja, se modifica la dosificación del polímero hasta llegar a una concentración de 75 ppm de floculante como se muestra en la imagen 17.

**Imagen 17.** Prueba en la empresa para coagulación - floculación con 1.400 ppm de alumbre al 10% y 75 ppm de polímero catiónico al 0,5%.



Fuente: elaboración propia.

Como se muestra en la imagen anterior, el floc es mucho más compacto y de gran tamaño en similitud con el obtenido en AR de producción baja, así que durante los días posteriores se prueba con diferentes muestras de AR de producción alta con diferentes cantidades de coagulante (SDAA) y floculante (polímero catiónico) utilizado para obtener los resultados de la imagen 17 y así lograr estandarizar estas sustancias para el proceso. En la imagen 18 se muestran los diferentes resultados de los ensayos realizados por 5 días restantes.

**Imagen 18.** Pruebas de coagulación - floculación realizadas en la empresa.



Fuente: elaboración propia.

Después de obtener una estandarización cualitativa de la dosificación de coagulante y floculante, se procede a realizar de manera experimental la metodología planteada inicialmente con AR para producción baja y la réplica error añadiendo la modificación del floculante. Nuevamente, la experimentación se realiza en los laboratorios de la Universidad América con la muestra que se utilizó en la caracterización para producción alta presentada en la sección 2.2.2.2, esta muestra obtenida proviene del proceso de producción de pulpas de mango, mora, naranja y lavado del pasteurizador. En la imagen 19 se muestra el AR de producción alta homogeneizada y en la tabla 15 se presentan las condiciones iniciales de las que se parte para el análisis final.

**Imagen 19.** AR proveniente de producción alta.



Fuente: elaboración propia.

**Tabla 15.** Parámetros de partida para AR de producción alta.

Parámetro	Unidades	Valor
pH	-	10,45
Turbidez	NTU	1.100
Conductividad	$\mu\text{s}/\text{cm}$	2.487
DQO	$\text{mg}/\text{L O}_2$	6.264
DBO	$\text{mg}/\text{L O}_2$	5.860,2

Fuente: elaboración propia.

Luego de tener la muestra homogeneizada se realiza el proceso de desbaste, es decir por la combinación de mallas establecido en la sección 4.1.2, en la tabla 16 se presentan los resultados obtenidos de los diferentes parámetros y la comparación con los valores iniciales y en la imagen 20 se muestra el agua desbastada final.

**Tabla 16.** Valores del proceso de desbaste para AR de producción alta y comparación con el AR cruda

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Agua cruda</b>	<b>Agua desbastada</b>
pH	-	10,45	10,45
Turbidez	NTU	1.100	890
Conductividad	µs/cm	2.487	2.540
% Remoción			19,09%

Fuente: elaboración propia.

**Imagen 20.** Muestra de AR de producción alta desbastada.



Fuente: elaboración propia.

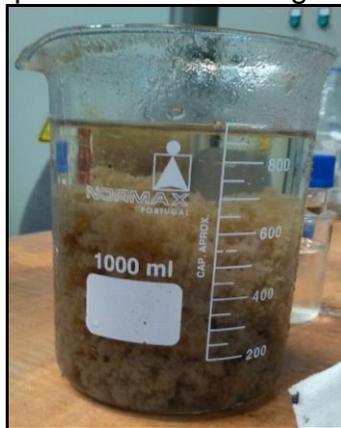
Con la muestra desbastada, antes de iniciar el proceso de coagulación - floculación se neutraliza la muestra con ácido sulfúrico al 96% puesto que el pH que presenta la muestra es de carácter básico debido al lavado del pasteurizador el cual se realiza con hidróxido de sodio, en ese caso se utilizaron 1,0 mL de ácido nítrico hasta alcanzar un pH de 7,22 unidades, valor ideal para el funcionamiento adecuado del SDAA; ya con la muestra neutralizada se coagula con SDAA al 10% a una concentración de 1.400 ppm durante un minuto a una velocidad de 200 rpm y se flocula con un polímero catiónico al 0,5% a una concentración de 75 ppm durante 15 minutos a una velocidad de 40 rpm y se deja en reposo durante 20 minutos para sedimentación natural. En la imagen 21 se presenta la muestra sometida al proceso de coagulación - floculación y en la tabla 17 se muestran los valores de los parámetros después del proceso de coagulación - floculación y el porcentaje de reducción respecto al agua desbastada.

**Tabla 17.** Valor de parámetros después del proceso de coagulación- floculación.

Parámetro	Unidades	Agua desbastada	Agua coagulada - floculada
pH		9,22	6,33
Turbidez	NTU	890	420,2
Conductividad	µs/cm	2.540	2.887
% Remoción (turbidez)			61,8%
DQO	mg/L O <sub>2</sub>	6.264 (agua cruda)	2.243
% Remoción (DQO)			64,19%

Fuente: elaboración propia.

**Imagen 21.** Muestra de AR de producción alta coagulada - floculada.



Fuente: elaboración propia.

Los valores obtenidos en la tabla 23 muestran una reducción del 61,8% en el parámetro de la turbidez con respecto al agua desbastada y una reducción del 64,19% con respecto al parámetro de DQO, confirmando que el coagulante apto para el tratamiento de AR en producción alta es el SDAA al 10% a una concentración de 1.400 ppm y el floculante polímero catiónico al 0,5% a una concentración de 75 ppm en donde se observa un floc definido. Después de los 20 minutos de sedimentación, se neutraliza la muestra resultante con ácido nítrico al 40% con 0,5 mL hasta llegar a un pH de 3,0 unidades el cual es apto para el proceso de oxidación química en donde se utilizan 0,5 gr de sulfato de hierro como catalizador y 5 mL (5.000 ppm) de peróxido de hidrógeno al 50% como agente oxidante, en la imagen 22 se muestra el agua después del proceso de oxidación química y en la tabla 18 se muestran los valores de los parámetros obtenidos después del proceso de oxidación química junto con los obtenidos del proceso de coagulación - floculación.

**Tabla 18.** Valor de parámetros después de la oxidación química.

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Agua coagulada – floculada</b>	<b>Agua oxidada</b>
pH	-	3,00	2,22
Turbidez	NTU	420,2	200,1
Conductividad	µs/cm	2.887	3.442
% Remoción (turbidez)			52,38%
DQO	mg/L O <sub>2</sub>	2.243	1.058
% Remoción (DQO)			52,83%

Fuente: elaboración propia.

**Imagen 22.** Agua resultante de la oxidación avanzada.



Fuente: elaboración propia.

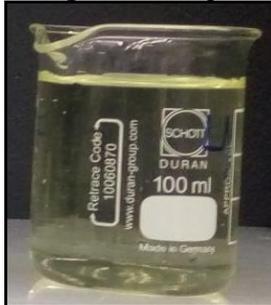
Como se muestra en la tabla 18 se obtiene un 52,38% de remoción en la turbidez y un 52,83% a la DQO respecto al agua desbastada, finalmente se neutraliza nuevamente la muestra hasta alcanzar el pH se 6,46 unidades (dentro del rango de vertimiento ), finalmente se filtra por el montaje obtenido en experimentación previa, el cual consta de gravilla, arena 20/40 y antracita puesto que fue el que mayor porcentaje de reducción presentó en la prueba con AR de producción baja y la réplica con AR errónea. En la tabla 19 se muestran los valores de los parámetros de la muestra filtrada y la comparación con el agua sometida a oxidación y en la imagen 23 se muestra el agua después del proceso de filtración y aquella que será enviada a laboratorio externo para corroborar los resultados y saber si es apta para el vertimiento.

**Tabla 19.** Parámetros después del proceso de filtración.

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Agua oxidada</b>	<b>Agua filtrada</b>
pH	-	6,46	6,46
Turbidez	NTU	200,1	10,32
Conductividad	µs/cm	3.442	1846
% Remoción (turbidez)			94,84%
DQO	mg/L O <sub>2</sub>	1.058	976
% Remoción (DQO)			7,75%

Fuente: elaboración propia.

**Imagen 23.** Agua filtrada.



Fuente: elaboración propia.

Como se muestra en la tabla 19 el porcentaje de reducción en la turbidez con respecto al agua oxidada es de 94,84% y del 7,75% con respecto al parámetro de la DQO, en la imagen 24 se muestra la diferencia entre el AR cruda de producción alta con la que comenzó la experimentación y el agua filtrada con la que finalizó el procedimiento, después de recibir los resultados del laboratorio externo BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S se comparan los resultados (tabla 20) con los de la muestra cruda y se confirma si se puede verter según lo estipulado por la resolución 0631 del 2015, en el Anexo J.

**Imagen 24.** Muestra cruda - muestra filtrada



Fuente: elaboración propia.

**Tabla 20.** Resultados finales del agua filtrada.

Parámetro	Unidades	Agua filtrada	Resolución de vertimientos	Cumplimiento
pH	Unidades	6,46	6,00 a 9,00	SI
SSED	mL/L	0,1	2,00	SI
SST	mg/L	448	200	NO
DQO	mg/L O <sub>2</sub>	976	600	NO
DBO <sub>5</sub>	mg/L O <sub>2</sub>	409,09	400	NO

Fuente: elaboración propia.

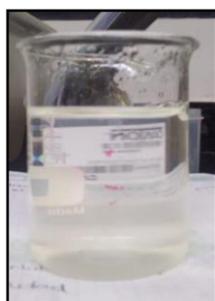
A raíz de estos resultados se muestra que el parámetro de la DQO no cumple con el rango establecido para que el agua sea vertida, sin embargo, analizando los resultados arrojados en la réplica con AR de producción media (Tabla 14), se mostró que la DQO tuvo una reducción del 57,85% desde la oxidación y haberla pasado por el filtro natural a pesar del error que se mostró en el proceso de coagulación - floculación y el DQO tuvo un aumento (De 1.418 a 1.992 mg/L O<sub>2</sub>) por la cantidad de sólidos que seguían aún en la muestra. En ese orden de ideas, al obtener la formación compacta del floc de la muestra de AR de producción alta y analizando la reducción que tuvo el filtro después de disminuir una carga alta de DQO (1.992 a 840 mg/L O<sub>2</sub>) en la muestra de AR de producción media, se decidió filtrar 100 mL de agua coagulada – floculada de la réplica con AR en producción alta y medir los parámetros para compararlos posteriormente con los resultados obtenidos anteriormente (tabla 20) , en la tabla 21 se muestran los parámetros del agua luego de la filtración junto con los obtenidos luego del proceso de coagulación – floculación y en la imagen 25 se presenta la muestra después de filtrada

**Tabla 21.** Parámetros de comparación para la muestra filtrada luego del proceso de coagulación – floculación

Parámetro	Unidades	Agua coagulada - floculada	Agua filtrada	Cumplimiento según resolución
pH	-	6,33	6,33	Si
Turbidez	NTU	420,2	4,39	Si
Conductividad	µs/cm	2.887	1.295	-
% Remoción (turbidez)			98,96%	
DQO	mg/L O <sub>2</sub>	2.243	540	Si
% Remoción (DQO)			75,93%	-

Fuente: elaboración propia.

**Imagen 25.** Muestra filtrada después del de coagulación – floculación.



Fuente: elaboración propia.

Con los resultados obtenidos para la muestra, se observa que los parámetros tienen una reducción mayor a la presentada del proceso de oxidación – filtración, en la tabla 21 se evidencia que el valor del parámetro de DQO para la muestra coagulada - filtrada presenta un valor de **540 mg/L O<sub>2</sub>** el cual se encuentra por debajo del rango permitido para vertimiento según la resolución 0631 del 2015, a raíz de la obtención de dichos resultados se entra a revisión bibliográfica para determinar qué características presentes en el AR o en los procedimientos realizados afectan el método Fenton evitando la reducción mayoritaria de parámetros.

Según Guarín y Zambrano <sup>72</sup> se expone que el tiempo de la reacción es de 2 horas mostrando en varias experimentaciones la obtención de porcentajes de remoción del 99% respecto a la carga orgánica y según Becerra y Cadena<sup>73</sup> la dosificación adecuada del peróxido de hidrógeno se realiza con respecto a la relación de la carga orgánica (DQO) que presenta el agua y a la concentración a la que se encuentra el reactivo, las anteriores relaciones se presentan en la ecuación 11 y ya con la cantidad de peróxido adecuada es posible dosificar el reactivo Fenton manteniendo la proporción 1:10 con respecto al catalizador.

**Ecuación 11.** Conversión de concentración p/p a p/v.

$$\begin{aligned} \% \frac{P}{V} &= \rho * \% \frac{P}{P} \\ \% \frac{P}{V} &= 1,196 \frac{g}{cm^3} * 0,5, \end{aligned}$$

Entonces

$$\% \frac{P}{V} = 598.000 \frac{mg}{L}$$

Ya con la concentración del peróxido de hidrógeno, se aplica la ecuación 12 que establece la relación de la cantidad de peróxido de hidrógeno a agregar con respecto a la carga orgánica

**Ecuación 12.** Cálculo de la cantidad de peróxido de hidrógeno a través de la DQO.

$$H_2O_2 \left( \frac{mL}{L} \right) = \frac{DQO \left( \frac{mg O_2}{L} \right)}{598.000 \left( \frac{mg O_2}{mL H_2O_2} \right)}$$

<sup>72</sup> GUARÍN y ZAMBRANO. Op.cit., p.81.

<sup>73</sup> BECERRA y CADENA. Op. cit., p.36.

Según lo documentado, lo experimentado en las tres pruebas y lo consultado con un profesional en el tema, se rectificó que uno de los factores que afecta al método Fenton es el tiempo de reacción, debido que en las tres pruebas experimentales se realizó la reacción durante 45 minutos y no durante 120 minutos o más ocasionando que la reacción no se realizará totalmente y por ese motivo aún se encontrara materia orgánica en la muestra de agua; otro de los factores que se presenta es la relación que se tomó para cada una de las muestras, debido a que no se tuvo en cuenta la relación que se debe tener respecto a la naturaleza de la muestra expresado por medio de la DQO y ésta se aplicó de manera consecutiva con la finalidad de estandarizar las dosificaciones.

Con estas observaciones, se recomienda que al agua residual que va a ser tratada en la empresa se le realice una relación previa teniendo en cuenta la naturaleza de la muestra aplicando así la relación consultada y el tiempo de reacción sea  $\geq 2$  horas para que así mismo se muestre un porcentaje de remoción mayor de los parámetros, luego de realizar el proceso de reacción pasar la muestra final por el filtro natural presentado en la propuesta.

#### **4.7 ESPECIFICACIONES PARA LOS TIPOS DE AGUA RESIDUAL PROVENIENTE DE LOS DIFERENTES PROCESOS DE PRODUCCIÓN**

Finalmente, según los resultados experimentales obtenidos es posible deducir que el AR de la empresa Alimentos SAS S.A.S tiene un comportamiento variable en todos sus parámetros para los tres tipos de producción (baja, media y alta) debido a que las características físico- químicas de las frutas que se procesan son diferentes. Para los tipos de producción alta y baja se obtuvo unas condiciones similares del tratamiento, en la etapa de desbaste se utiliza una secuencia de mallas de acero inoxidable mesh 10 de 0,6 mm de diámetro seguida de una malla mesh 12 de 0,5 mm de diámetro; para la etapa de coagulación - floculación el coagulante utilizado y de mejor rendimiento en ambos tipos de producción fue el SDAA al 10%, pero el floculante que mejor rendimiento y consistencia presenta de los flocs en producción baja fue el polímero aniónico y en producción alta fue el polímero catiónico ambos al 0,5%; respecto a la etapa de oxidación química en ambos tipos de producción se establece una relación de acuerdo a la carga orgánica que presente cada muestra y que el tiempo de reacción sea mayor a dos horas; finalmente, en la etapa de filtración con materiales granulares la mayor reducción se obtuvo con el lecho de gravilla, arena 20/40 y antracita.

Sin embargo, como se mencionó anteriormente, en la réplica, teniendo en cuenta la omisión de la etapa de oxidación química después de la etapa de coagulación - floculación y pasada directamente al filtro con materiales naturales entrando en cumplimiento con la resolución de vertimientos, este último procedimiento se realiza durante dos días en la empresa con el fin de rectificar la remoción de la

DQO para el AR de la empresa. En la tabla 22 se muestran los parámetros iniciales y finales durante los dos días con diferentes ensayos en la empresa.

**Tabla 22.** Resultados de DQO para el AR de producción alta durante dos días en la empresa.

<b>Dia</b>	<b>DQO AR cruda</b>	<b>DQO agua filtrada</b>
16 de mayo de 2018	15.000 mg/L O <sub>2</sub>	1.376 mg/L O <sub>2</sub>
17 de mayo de 2018	5.400 mg/L O <sub>2</sub>	585 mg/L O <sub>2</sub>

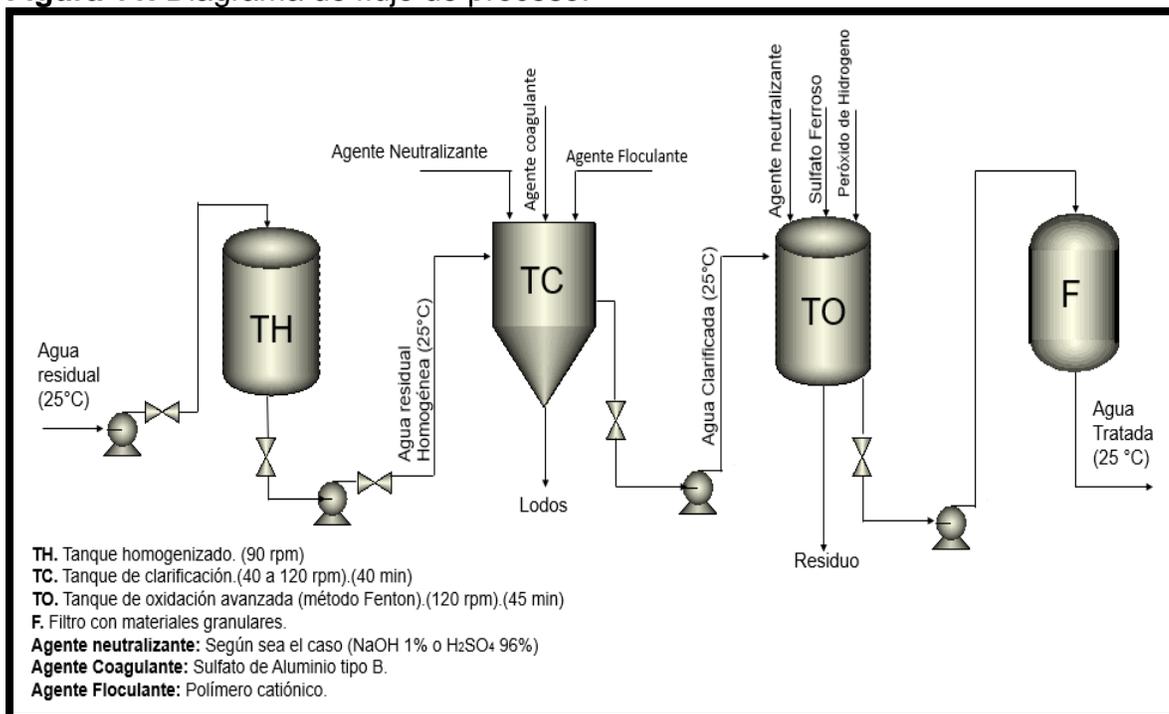
Fuente: Elaboración propia.

Según los datos obtenidos durante esos dos días más de verificación, se observa que para valores de DQO mayores a 10.000 mg/L O<sub>2</sub> de AR cruda, después del proceso de coagulación - floculación y luego filtración no cumple con los parámetros establecidos por la resolución 0631 del 2015, por ese motivo, se recomienda seguir las observaciones descritas sobre el método Fenton.

## 5. DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS

En este capítulo se expone el diagrama de flujo de proceso teniendo en cuenta lo especificado en los capítulos 3 y 4 que hacen referencia al proceso propuesto para tratar el agua residual proveniente del proceso de producción de pulpas de la empresa Alimentos SAS S.A.S; se hace referencia al diseño general de los equipos necesarios para dicho tratamiento que consta de las siguientes etapas: homogeneización, desbaste, neutralización, coagulación-floculación, oxidación química y filtración por medios granulares en esa secuencia exacta tal y como se muestra en la figura 11 teniendo en cuenta el diseño de 3 tanques de tratamiento que cumplen con lo establecido en la propuesta de tratamiento, especificando para cada una de ellas la dosificación de reactivos en el caso de ser necesarios y las condiciones generales asociadas a las características del AR y del proceso batch de acuerdo a la demanda y producción de pulpas.

**Figura 11.** Diagrama de flujo de proceso.



Fuente: elaboración propia.

### 5.1 HOMOGENEIZACIÓN

Tal como se observó en la sección 2.2 las aguas residuales no presentan características similares en cuanto a caudal, pH y temperatura, esto aumenta los picos de dichos parámetros, por tanto, se plantea incluir un tanque de homogeneización para reducir estas variaciones en el cuerpo de agua, además de

almacenarla y garantizar un mayor control sobre el volumen a tratar reduciendo así los costos que puedan generarse en la estabilización y recepción del efluente para etapas posteriores. Para el presente año y según los datos obtenidos en 8 horas de producción no continuas debido a las descargas intermitentes sujetas a la entrada de fruta y teniendo en cuenta producción baja, media y alta (Anexo A) se presenta una caudal máximo de 6,123 m<sup>3</sup>/día, 3,672 m<sup>3</sup>/día y 10,248 m<sup>3</sup>/día respectivamente, De acuerdo a los caudales obtenidos anteriormente el volumen a tomar para el diseño del tanque de igualación será el consumo durante un ciclo de producción alta en una producción de 8 horas correspondiente a 10,248 m<sup>3</sup> al cual se realiza una proyección a 5 años según Bravo y Henao<sup>74</sup> para efectos de duración del proyecto con un incremento del 5%, dichos autores también mencionan que para diseñar un tanque de homogenización se debe tomar un valor teórico llamado factor de seguridad, que usualmente tiene un valor de 15%, además el tanque tendrá forma cilíndrica a partir del cual se establece una relación altura/diámetro (H/D) igual a 1,5. Por medio de la ecuación 13 se calcula el volumen que debe tener el tanque según las especificaciones anteriores.

**Ecuación 13.** Cálculo del volumen del tanque homogeneizador.

$$V_{\text{tanque}} = (13,079 \text{ m}^3 + (13,079 \text{ m}^3 * 0,15)) = 15,041 \text{ m}^3$$

De acuerdo con la forma que tendrá el tanque se establece la ecuación 14 para calcular el diámetro de este mediante el despeje de dicha variable, una vez se tiene el diámetro es posible calcular mediante la ecuación 15 la altura que debe tener el tanque según el consumo ya establecido.

**Ecuación 14.** Cálculo del diámetro del tanque homogeneizador.

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

$$D = \left( \frac{4 * V_{\text{tanque}}}{1,5 * \pi} \right)^{\frac{1}{3}} D = \left( \frac{4 * 15,041 \text{ m}^3}{1,5 * \pi} \right)^{\frac{1}{3}} = 2,337 \text{ m}$$

**Ecuación 15.** Cálculo de la altura del tanque mediante h/D =1.5.

$$h = 1,5 * D$$

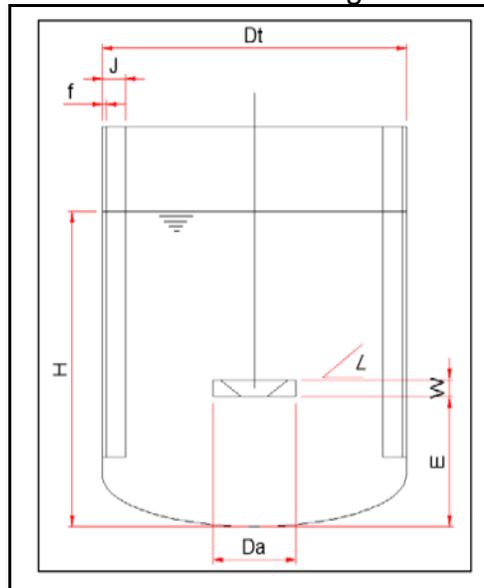
$$h = 1,5 * 2,337 \text{ m} = 3,506 \text{ m}$$

Finalmente se propone el diseño de un agitador que permite la igualación de características como temperatura, pH, caudal y carga orgánica debido a que el

<sup>74</sup> BRAVO Y HENAO.Op.cit.,p.114.

agua residual generada tiene gran cantidad de sólidos que pueden precipitarse y/o sobrenadar dificultando su separación. Según menciona Castillo<sup>75</sup> para dimensionar un agitador de fluidos son necesarias las relaciones registradas en la tabla 23 para un agitador de pala, considerado uno de los más comunes en este tipo de homogeneización y que se ven reflejadas en la figura 12.

**Figura 12.** Semejanzas geométricas para dimensionamiento del agitador.



Fuente: elaboración propia.

**Tabla 23.** Relaciones para un agitador de hélice.

$H / Dt=1$	$Da / Dt=0,337$	$E / Dt=0,34$
$\leq 25^\circ$	$J / Dt=0,1$	$f / J=0,02$

Fuente: elaboración propia.

La velocidad de agitación para un tanque homogeneizador de fluidos con agitador con paletas tipo pala es de 20 a 150 rpm, se tomará un valor promedio de 90 rpm para calcular la potencia requerida del agitador mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 16.** Cálculo de la eficiencia requerida.<sup>76</sup>

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

Donde:

K: constante equivalente a 1,70.

<sup>75</sup> CASTILLO, V. Diseño y cálculo de un agitador de fluidos. Tesis para optar por el grado de ingeniero de ejecución en mecánica. Universidad del Bio-Bio.2013. p.35

<sup>76</sup> CRISTANCHO Y NOY.Op.cit.,p.115.

$\rho$ : densidad del agua estándar 1.000 Kg/m<sup>3</sup>

N: velocidad de rotación en rps.

d: diámetro del impulsor en m

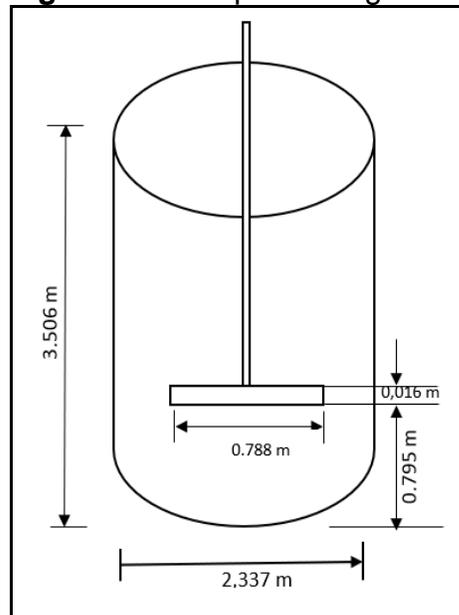
$$P = 1,7 * 1000 \frac{kg}{m^3} * 1,5 rps^3 * 0,788 m^5 = 1743,226 W$$

Tomado una eficiencia de agitación del 75% debido al 35% de pérdidas por fricción.<sup>77</sup>

$$P = \frac{1743,226W}{0,75 * 1000} = 2,324 KW \text{ es decir } 3,116 HP$$

A partir de los cálculos registrados en el Anexo H y relacionando el tanque con las especificaciones generales del tanque de igualación se muestra en la figura 13 las dimensiones del tanque y del agitador correspondiente a la etapa de homogeneización de fluidos, se excluyeron mediciones como J y F que se refieren a una placa deflectora que no es necesaria para este diseño<sup>78</sup>. Es importante mencionar que debido a que se trata de agua residual industrial (con carga inorgánica y orgánica en su mayoría) se pueden presentar fenómenos de corrosión por lo tanto se propone que el tanque y el agitador sean fabricados en acero inoxidable 314 o 316-L para evitar el desgaste temprano de la estructura.

**Figura 13.** Tanque homogeneizador.



Fuente: elaboración propia.

<sup>77</sup> Ibid., p.38.

<sup>78</sup> Ibid., p. 25.

## 5.2 DESBASTE

Según lo planteado en la sección 2.1.2 el montaje con mayor retención de sólidos fue el 2 con una doble filtración, con un porcentaje de remoción de 84,404% con rejillas de diámetro de 0,5 y 0,6 mm, dicho montaje se colocará después del tanque de homogenización y sobre el tanque de coagulación - floculación por lo tanto tendrá las mismas dimensiones (2,337 m), sin embargo, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones para adaptar el diseño:

- Las mallas deben estar fabricadas en el mismo material de los tanques, es decir acero inoxidable, debido a que están expuestas a los factores de corrosión causados por el agua sumado a la materia orgánica que esta contiene.
- Las dimensiones de las mallas deben ser las mismas que las del tanque homogeneizador y el tanque clarificador esto se debe a que por cuestiones de diseño una de las rejillas de mayor diámetro puede estar ubicada al final del primer tanque y la rejilla más pequeña al inicio del segundo.
- Las mallas deben ser fácilmente desmontables para efectos de lavado y remoción de sólidos periódicamente.

## 5.3 TANQUE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN

También llamado tanque clarificador o sedimentador, tiene como objetivo la remoción de compuestos contaminantes mediante la adición de sustancias químicas (coagulantes y floculantes) que hacen parte del primer tratamiento primario presente en esta propuesta. Debido a que el volumen de tratamiento es el correspondiente a producción alta se toman las dimensiones establecidas del tanque de homogenización para el tanque de coagulación-floculación, la forma cilíndrica del tanque permite la aglomeración de floc que puede afectar las condiciones de flujo del tanque, además permite una fácil separación por sedimentación. A continuación, se muestran los datos obtenidos del tanque homogeneizador.

- Volumen del tanque (m<sup>3</sup>): 15,04
- Diámetro del tanque (m): 2,34
- Altura del tanque (m): 3,51

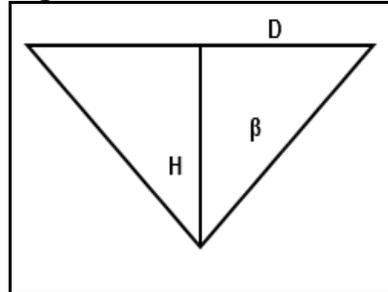
Según BRAVO Y HENAO<sup>79</sup> para completar la estructura del tanque sedimentador es necesario dimensionar una base cónica que permite la retención de sólidos por más tiempo y que represente un 10 % de lodos. Teniendo en cuenta que las

---

<sup>79</sup> BRAVO y HENAO.Op.,.cit. 116 p.

dimensiones geométricas de un cono se toman como se muestra en la figura 14, estableciendo un ángulo de 45° respecto a la horizontal<sup>80</sup>.

**Figura 14.** Sección cónica del tanque.



Fuente: elaboración propia.

Según la figura 14 se puede calcular la altura del cono mediante la ecuación 17 teniendo en cuenta los 45 ° de referencia que en radianes equivalen a 0,785<sup>81</sup> (\*).

**Ecuación 17.** Cálculo de las dimensiones de la sección cónica.

$$\text{Tan } \beta = \frac{\text{cateto opuesto (H cono)}}{\text{cateto adyacente (r)}}$$

$$\text{cateto opuesto (H cono)} = \text{tan } \beta * \text{cateto adyacente (r)}$$

$$\text{cateto opuesto (H cono)} = \text{Tan}(0,785) * \left(\frac{2,337\text{m}}{2}\right) = 1,168 \text{ m}$$

Conociendo la altura del cono es posible calcular el volumen del mismo mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 18.** Cálculo del volumen de la sección cónica.

$$V \text{ cono} = \frac{(\pi * r^2 * H \text{ cono})}{3}$$

$$V \text{ cono} = \frac{\pi * 1,1685^2 * 1,168}{3} = 1,67 \text{ m}^3$$

<sup>80</sup> HERNANDEZ, Diana y LEAL, Paola.paula. Ingeniería básica para una planta de tratamiento de aguas residuales en cárnicos rico jamón. Fundación Universidad de América. Ingeniería Química. 2009, p 86.

<sup>81</sup> \*1 grado sexagesimal equivale a 0,017 radianes

A partir del volumen (V) anteriormente obtenido es posible calcular la altura total correspondiente al tanque de clarificación como se muestra a continuación:

**Ecuación 19.** Cálculo del volumen total del cilindro

$$V_{cilindro} = V_{tanque} - V_{cono}$$

$$V_{cilindro} = 15,041 \text{ m}^3 - 1,67 \text{ m}^3 = 13,371 \text{ m}^3$$

**Ecuación 20.** Cálculo de la altura del cilindro.

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

$$H_{cilindro} = \frac{4 * 13,371 \text{ m}^3}{\pi * (2,337 \text{ m})^2} = 3,117 \text{ m}$$

Finalmente se calcula la altura total del tanque clarificador mediante la ecuación 21.

**Ecuación 21.** Cálculo de la altura del tanque clarificador.

$$H_{tanque\ clarificador} = H_{cilindro} + H_{cono}$$

$$H_{tanque\ clarificador} = 3,117 \text{ m} + 1,168 \text{ m} = 4,29 \text{ m}$$

Es importante mencionar que en el desarrollo experimental los tiempos de sedimentación para los diferentes ensayos fue de 20 min tomando muestras de 1000 mL de los cuales para el primer ensayo sedimentaron 200 mL y para el segundo 400 mL por tanto se establece este último valor para establecer la cantidad de lodos producidos ya que como se observó en el desarrollo experimental estos varían según la fruta procesada manteniéndose en dichas cantidades tal como se muestra en la imagen 38, donde para el beaker de la izquierda se tenía un agua compuesta por piña, guanábana, lulo y lavado de equipos y para el beaker de la derecha lavado de mora. Tomando entonces una cantidad de 400 mL de lodo se procede a calcular mediante la siguiente relación basada en la imagen 26.

$$1000 \text{ mL} \rightarrow 100 \%$$

$$400 \text{ mL} \rightarrow X \text{ porcentaje de SSED}$$

$$X \text{ porcentaje de SSED} = 40\%$$

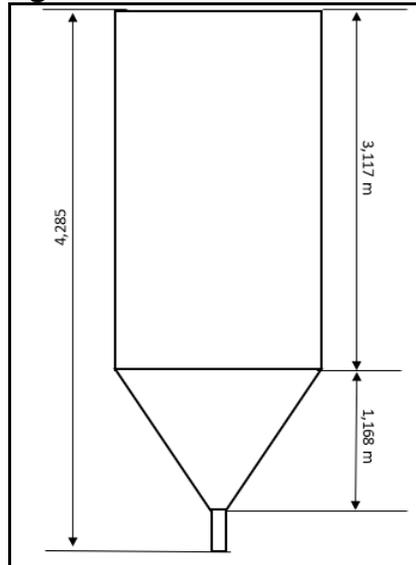
**Imagen 26.** Lodos obtenidos en los ensayos de clarificación.



Fuente: elaboración propia.

Con todas las consideraciones de diseño ya establecidas se muestra en la figura 15 las dimensiones que debería tener el tanque de clarificación.

**Figura 15.** Dimensiones del tanque de coagulación - floculación.



Fuente: elaboración propia.

### **5.3.1 Dosificación de coagulantes y floculantes al tanque de sedimentación.**

Debido a que se quieren establecer las especificaciones técnicas para una posible implementación de la propuesta evaluada a nivel laboratorio, es necesario estimar las cantidades y concentraciones de las sustancias usadas es decir, el (coagulante), el (floculante), NaOH y el ácido sulfúrico concentrado teniendo en cuenta el volumen final del tanque de sedimentación correspondiente a  $13,371 \text{ m}^3$ , los datos obtenidos en la curva de neutralización para el NaOH y la preparación de los coagulantes y floculantes en la sección 4.2.1.2 del test de jarras. Cabe resaltar que para establecer las dosificaciones y preparaciones a nivel de planta se hace uso de relaciones de proporcionalidad que permiten estimar las cantidades

requeridas para el tratamiento industrial de aguas residuales por tanto las cantidades se especificarán en cada reactivo.

**5.3.1.1 NaOH.** Para realizar la curva de neutralización a nivel laboratorio, el hidróxido se encontraba en una concentración de 1% por lo cual se necesitaron 30 mL para llevar de un pH de 4,5 a uno de 9,4 unidades con una concentración de 600 ppm, con el objetivo de neutralizar una muestra de 500 mL de AR. Según lo anterior son necesarios 401,13 L diarios de NaOH para tratamiento diario, lo cual puede ser mejorado tomando una concentración mayor de dicho compuesto. En cuanto a su preparación se determina un total de 4,01 Kg de NaOH. Las anteriores cantidades son necesarias también para el proceso de oxidación por lo tanto diariamente se necesitan 802,26 L de NaOH al 1% diarios y para su dilución 8,02 Kg.

**5.3.1.2 Ácido sulfúrico.** Para acidificar la muestra se hizo uso de ácido sulfúrico al 96% y como se observó experimentalmente se agregó 1 mL para un volumen de 1.000 mL para lograr el pH adecuado para la clarificación por lo que se necesitan 13,371 L de ácido sulfúrico diarios. En algunas pruebas realizadas en la empresa se utilizó ácido nítrico al 48% presentando el mismo volumen que el ácido sulfúrico, pero con la ventaja de un costo menor.

**5.3.1.3 Sulfato doble de aluminio y amonio.** Este tipo de coagulante fue elegido como el adecuado para la remoción de contaminantes, con una concentración de 10 %. Durante el test de jarras se determinó que la concentración adecuada de coagulante es de 1.400 ppm (14 mL) para tratar una muestra de 1.000 mL de agua residual, a partir de esto se establece una cantidad por tratamiento de 187,194 L, con respecto a la dilución en planta se necesitan 18,719 kg.

**5.3.1.4 Polímero.** Según la producción del día se agrega polímero aniónico (45 ppm es decir 9 mL) en caso de ser baja y polímero catiónico para el caso de producción alta (75 ppm es decir 15 mL), ambas sustancias con una concentración de 0,5%, y la dosificación adecuada de este reactivo fue de 75 ppm (15 mL) con lo cual se determina una cantidad necesaria de 120,339 L de polímero aniónico y 200,565 L de polímero catiónico, con respecto a la dilución en planta se necesitan 0,602 kg y 1,003 kg de polímero aniónico y catiónico respectivamente en estado puro. En la tabla 24 se registra la cantidad de cada uno de los reactivos ya mencionados que se consumen en un día de tratamiento.

**Tabla 24.** Cantidad de sustancias químicas utilizadas durante el tratamiento.

<b>Sustancia</b>	<b>Dosificación por tratamiento (diario)</b>	<b>Cantidad utilizada anual</b>
Soda Caustica (1%)	8,02 (kg)	2.887,2 (kg)
Ácido sulfúrico (96%)	13,371 (L)	4.813,56(L)
Coagulante	18,719 (kg)	6.738,84 (kg)
Floculante (aniónico)	0,602 (kg)	216,72 (kg)
Floculante (catiónico)	1,003 (kg)	361,08 (kg)

Fuente: elaboración propia.

#### 5.4 TANQUE DE OXIDACIÓN QUÍMICA

Finalmente se propone el dimensionamiento de un tanque para la aplicación del método Fenton planteado en la propuesta de tratamiento que según Florencia<sup>82</sup> basa el diseño en un caudal de diseño que en este caso, según los cálculos del anexo H es  $Q_c$  igual a 2,089 m<sup>3</sup>/h ( 50,133 m<sup>3</sup>/día) correspondiente al agua residual a tratar en un día producción, sin embargo esta cantidad disminuye debido a la cantidad de sólido retirado en la etapa de clarificación que fue de 40%, Según esto el caudal de entrada está definido por la siguiente ecuación:

**Ecuación 22.** Cálculo del caudal de entrada al tanque de oxidación.

$$Q \text{ entrada} * 0,60 = Q \text{ entrada del tanque 3}$$

$$50,133 \frac{m^3}{dia} * 0,60 = Q \text{ entrada del tanque 3} = 30,079 \frac{m^3}{dia}$$

También el autor menciona que el volumen del tanque depende del tiempo de reacción tal como lo muestra la ecuación 23, para la presente propuesta se tomó un tiempo de reacción de 45 min un tiempo promedio según lo planteado por los diferentes autores citados en el presente documento, sin embargo puede ser menor o mayor, según Florencia<sup>83</sup> varios estudios han demostrado que el tiempo de reacción depende del tipo y cantidad del contaminante .Es importante mencionar que este tanque no requiere un diseño con una base cónica debido a que para llevar a cabo el método Fenton la muestra de agua debe estar libre de sólidos ya que el peróxido puede degradarse, por tanto se propone un diseño cilíndrico fabricado en acero inoxidable debido a la presencia de agentes oxidantes y teniendo en cuenta que el peróxido de hidrógeno y el sulfato ferroso en contacto directo provocan una reacción exotérmica.

<sup>82</sup> FLORENCIA.Op.cit.,p. 56.

<sup>83</sup> Ibid.,p. 22.

**Ecuación 23.** Cálculo del volumen del tanque de oxidación avanzada

$$V_{del\ tanque} = 30,079 \frac{m^3}{dia} * 45 * \left(\frac{1día}{24\ h}\right) * \left(\frac{1h}{60min}\right) = 0,94\ m^3$$

Se establece un factor de seguridad de 15 % por lo cual el volumen del tanque es igual a 1,081 m<sup>3</sup>. Mediante el siguiente modelo se establecen las dimensiones correspondientes.

**Ecuación 24.** Cálculo del diámetro del tanque de oxidación avanzada

$$D = \left(\frac{4 * V_{tanque}}{1,5 * \pi}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$V_{Cilindro} = \frac{\pi}{4} * D^2 * hD = \left(\frac{4 * 1,081m^3}{1,5 * \pi}\right)^{\frac{1}{3}} = 0,971\ m$$

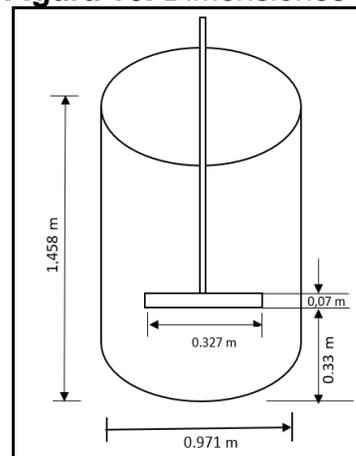
**Ecuación 25.** Cálculo de la altura del tanque mediante h/D = 1,5.

$$h = 1,5 * D$$

$$h = 1,5 * 0,971\ m = 1,458\ m$$

Para llevar a cabo el método es necesario contemplar un tiempo de agitación con una velocidad de 150 ppm para lograr un tiempo de retención suficiente con mayor rendimiento de reacción por tanto se diseña un agitador mediante el procedimiento matemático realizado en el tanque homogeneizador (Anexo H), según lo anterior el tanque necesitará una potencia de 0,177 HP, la figura 16 muestra las dimensiones del tanque agitado.

**Figura 16.** Dimensiones del tanque de oxidación.



Fuente: elaboración propia.

**5.4.1 Dosificación de los reactivos para la oxidación avanzada.** El método Fenton comprende la reacción entre una sal de hierro y peróxido de hidrógeno, esta puede ser homogénea es decir todos los componentes se encuentran en fase acuosa o heterogénea que presenta sustancias en diferentes fases, para la presente propuesta se evaluó la reacción heterogénea teniendo en cuenta los cálculos encontrados en el anexo H. A nivel experimental se obtuvo el mejor rendimiento agregando 5 mL de peróxido de hidrógeno con 0,5 g de sulfato ferrosos ambas cantidades para una muestra de 1.000 mL. Teniendo en cuenta que el peróxido de hidrógeno se encuentra al 50% se necesitan 5,973 L de peróxido de hidrógeno y 0,597 kg de sulfato ferroso. En la tabla 25 se registran la cantidad de reactivos que se utilizan por tratamiento de 8 horas y su proyección anual.

**Tabla 25.** Cantidad de sustancias químicas utilizadas durante el tratamiento.

<b>Sustancia</b>	<b>Dosificación por tratamiento (diario)</b>	<b>Cantidad utilizada anual</b>
Sulfato ferroso	0,597 (kg)	214,95 (kg)
Peróxido de hidrógeno	5,973 (L)	2.150,28 (L)

Fuente: elaboración propia.

## 5.5 FILTRACIÓN CON MATERIALES GRANULARES

Los materiales granulares se han convertido en una de las alternativas para tratamiento de agua ya que resultan ser económicos frente a filtraciones con membranas u ósmosis inversa además de resultar efectivos en la remoción de color, olor, DQO, DBO y material disuelto tal como se mencionó en la sección 3. Llevar a cabo un sistema de filtración no convencional requiere de los datos registrados en las tablas 7 (sección 3.2.4) y 26 la primera contiene los datos de coeficiente de uniformidad y tamaño efectivo, la segunda contiene la profundidad recomendada para cada una de las etapas de filtración teniendo en cuenta que el filtro escogido para la presente propuesta se conforma de gravilla, arena torpedo 20/40 y antracita con una tasa de filtración teórica de 120 m/d a 600 m/d<sup>84</sup>.

**Tabla 26.** Profundidad teórica del filtro con materiales granulares.<sup>85</sup>

<b>Material granular</b>	<b>Intervalo de profundidad (cm)</b>	<b>Profundidad típica (cm)</b>
Arena	15 - 30	30
Antracita	30 - 75	60
Grava	10 - 15	15

Fuente: elaboración propia.

<sup>84</sup> CRISTANCHO Y NOY. Op.cit.,p. 123.

<sup>85</sup> Ibid.,p. 123.

Conociendo las propiedades de los materiales filtrantes se tomará un promedio para realizar los cálculos de dimensionamiento tal y como enuncian Cristancho y Noy<sup>86</sup> además de establecer como caudal diario de agua tratada el valor de diseño 30,079 m<sup>3</sup>/día se procede al diseño del filtro no convencional.

**5.5.1 Lecho de Grava.** Siendo este el material se soporte del filtro y por consecuencia la primera etapa, se toman los datos registrados en la tabla 7 (sección 3.2.4) para estimar el tamaño efectivo y de la tabla 26 para estimar la profundidad de este.

**Ecuación 26.** Cálculo de tamaño efectivo de la grava.

$$\text{Tamaño efectivo} = \frac{0,7 \text{ mm} + 0,8\text{mm}}{2} = 0,75 \text{ mm}$$

**Ecuación 27.** Cálculo de la profundidad del lecho de grava.

$$\text{Profundidad del lecho} = \frac{10\text{cm} + 15\text{cm}}{2} = 12,5 \text{ cm}$$

**5.5.2 Lecho de arena.** El tipo de arena utilizada a nivel experimental fue arena sílice 20/40, considerada estándar y que conforma la segunda capa del filtro, por lo cual se toman los datos registrados en la tabla 7 (sección 3.2.4) para estimar el tamaño efectivo y de la tabla 26 para estimar la profundidad de este.

**Ecuación 28.** Cálculo de tamaño efectivo de la arena 20/40.

$$\text{Tamaño efectivo} = \frac{0,45 \text{ mm} + 0,65\text{mm}}{2} = 0,55 \text{ mm}$$

**Ecuación 29.** Cálculo de la profundidad del lecho de arena 20/40.

$$\text{Profundidad del lecho} = \frac{30 \text{ cm} + 15 \text{ cm}}{2} = 22,5 \text{ cm}$$

**5.5.3 Lecho de antracita.** Como capa superior del filtro se seleccionó antracita, según lo registrado en la tabla 21 el tamaño efectivo es de 0,70 cm por lo cual se estima a continuación la profundidad del lecho según la tabla 26.

**Ecuación 30.** Cálculo de la profundidad del lecho de antracita.

$$\text{Profundidad del lecho} = \frac{30\text{cm} + 75\text{cm}}{2} = 52,5 \text{ cm}$$

---

<sup>86</sup> Ibid.,p.124.

Teniendo en cuenta los cálculos anteriores la profundidad del lecho se conforma mediante las profundidades de cada una de las capas obteniendo un total de 87,5 cm a esta cantidad se debe sumar una capa denominada falso fondo que permite que al final del filtro se almacene el agua ya filtrada y mantiene la presión del agua de lavado constante, se recomienda que este espacio tenga 50 cm<sup>87</sup> de espesor como mínimo para obtener una buena filtración. Por lo anterior y para conformar un lecho combinado es necesario hallar un nuevo tamaño efectivo a partir del promedio de los tamaños efectivos ya calculados mediante la siguiente ecuación al igual que el coeficiente de uniformidad promedio.

**Ecuación 31.** Cálculo del tamaño efectivo promedio.

$$\text{Tamaño efectivo promedio} = \frac{0,617\text{mm} + 0,717\text{mm}}{2} = 0,667 \text{ mm}$$

**Ecuación 32.** Cálculo del coeficiente de uniformidad promedio.

$$\text{Coeficiente de uniformidad promedio} = \frac{1,083 \text{ mm} + 1,6 \text{ mm}}{2} = 1,342\text{mm}$$

Se hace uso del siguiente modelo matemático para calcular las dimensiones del filtro, la ecuación 33 para determinar el área de filtración.

**Ecuación 33.** Cálculo del área de filtración.

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

$$\text{Área de Filtración} = \frac{(49,632 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}})}{120 \frac{\text{m}}{\text{dia}}} = 0,414 \text{ m}^2$$

Debido a que el diseño del filtro comprende una relación  $1,5 = h/d$  mediante la cual se determina el diámetro del tanque teniendo en cuenta que la altura del mismo se determina mediante la suma de las capas más el falso fondo lo que da como resultado una altura de 137,5 cm y un diámetro de 0,726 m según lo anterior es posible calcular el volumen y el diámetro del filtro mediante la siguiente ecuación.

**Ecuación 34.** Cálculo del volumen del filtro.

$$\text{Volumen del filtro} = \text{Área} * \text{altura}$$

$$\text{Volumen del filtro} = 0,414 \text{ m}^2 * 1,375\text{m} = 0,569 \text{ m}^3$$

---

<sup>87</sup> PEREZ, Jorge.Op.cit.,p. 145.

A nivel de planta es necesario establecer las cantidades de material filtrante que deben conformar las capas del filtro esto también con el objetivo de mantener el espesor cuando sea necesario su mantenimiento, para esto se conoce que la densidad de la grava es 1500 a 1550 Kg/m<sup>3</sup> <sup>88</sup>, para arena 20/40 la densidad de 1.540 kg/m<sup>3</sup> <sup>89</sup> y para la antracita es de 800 kg/m<sup>3</sup> <sup>90</sup>. Mediante la ecuación 35 se determina las cantidades de material necesario para el filtro con un volumen de 0,645 m<sup>3</sup>.

**Ecuación 35.** Cálculo de la cantidad de materiales filtrantes para filtro

$$M = \rho * V$$

Donde:

$\rho$ : Densidad del material (kg/m<sup>3</sup>)

V: volumen del lecho (m<sup>3</sup>)

**Ecuación 36.** Cálculo de la cantidad de gravilla necesaria para la construcción del filtro.

$$M = \left( \frac{(1.500 + 1.550)kg/m^3}{2} \right) * 0,569 m^3 = 867,725 kg \text{ de gravilla}$$

**Ecuación 37.** Cálculo de la cantidad de arena necesaria para la construcción del filtro.

$$M = 1.540 \frac{kg}{m^3} * 0,596 m^3 = 876,26 kg \text{ de arena}$$

**Ecuación 38.** Cálculo de la cantidad de antracita necesaria para la construcción del filtro.

$$M = 800 \frac{kg}{m^3} * 0,596 m^3 = 455,2 kg \text{ de antracita}$$

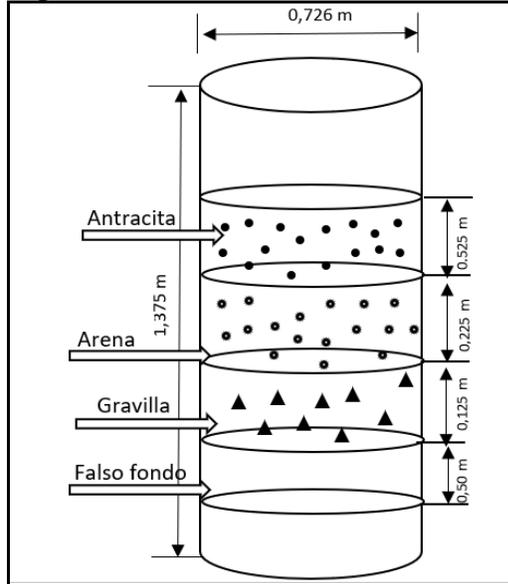
Hechas todas las consideraciones anteriores correspondientes al filtro con materiales granulares se muestra en la figura 17 las dimensiones del mismo.

<sup>88</sup> Tabla de densidad de los materiales. [en línea]. Disponible en: <http://www.aridsgarcia.com/es/la-oficina-virtual/tabla-de-densidad-de-los-materiales>

<sup>89</sup> Arena silica Natural. [en línea]. Disponible en: <http://grupodyasa.com/wp-content/uploads/2016/08/Silica-Ottawa.pdf>

<sup>90</sup> Ficha técnica de la antracita. [en línea]. Disponible en: <https://www.carbotecnia.info/PDF/medfiltrantes/Antracita.pdf>

**Figura 17. Dimensiones del filtro.**



Fuente: elaboración propia.

## 6. ANÁLISIS DE COSTOS PARA LA PROPUESTA DE TRATAMIENTO

En este capítulo se harán las consideraciones a nivel de costos referentes a la propuesta de tratamiento ya planteada, la cual comprende el diseño de equipos, reactivos utilizados, mano de obra e insumos estos contemplados con los precios para el año 2018 y para lo cual se tiene en cada año de proyección un incremento del 5 % anual, estos equipos y condiciones son necesarios para el tratamiento de las aguas residuales producidas por la empresa Alimentos SAS S.A.S; la empresa cuenta con recursos para implementar dicha propuesta si así lo desean ya que como se ha mencionado a lo largo del documento, estos se encuentran muy interesados en el tratamiento de sus aguas.

### 6.1 COSTOS DE LA PROPUESTA

La inversión inicial es el primer paso para lograr una implementación exitosa, si fuera el caso, teniendo como base el capítulo 4 correspondiente al dimensionamiento se plantean los costos de inversión de la propuesta enunciada.

#### 6.1.1 Equipos

**6.1.1.1 Bombas.** como se muestra en el diagrama de flujo de proceso, para la propuesta enunciada se hace necesario la instalación de bombas para transportar el agua a tratar durante todo el proceso, en este caso se propone el uso de 4 bombas autocebantes que son generalmente utilizadas en plantas de tratamiento de aguas residuales, se realizó una cotización con la empresas Pedrollo S.p.A y Acuabombas como se muestra en la tabla 27, para el caso de la primera empresa las bombas se utilizan para después del proceso de clarificación y filtración ya que no cuentan con carga contaminante relevante que pueda afectar el funcionamiento de la bomba, mientras que el equipo ofrecido por la segunda empresa impulsa el agua residual. Las bombas son superficiales y cuentan con un voltaje de 110 - 220 V con una potencia de 1HP para un caudal de 180 L/min.

**Tabla 27.** Costos de las bombas.

<b>Equipo</b>	<b>Marca</b>	<b>Costo (COP)</b>
Bomba (AR)	Acuabombas	1.600.000
Bomba (AR)	Acuabombas	1.600.000
Bomba (AT)	Pedrollo	1.870.000
Bomba (AT)	Pedrollo	1.870.000
<b>Total</b>		<b>6.940.000</b>

Fuente: Pedrollo S.p.A y Acuabombas

**6.1.1.2 Tanque de homogenización.** Debido a que la empresa Alimentos SAS S.A.S cuenta con 2 tanques de capacidad similar a la establecida en el capítulo 5 donde se definió un volumen de 15,04 m<sup>3</sup> para este y en pro del uso de estos la

empresa no incurrirá en gastos para la adquisición de un tanque homogeneizador por lo tanto no se contemplan en los costos.

**6.1.1.3 Tanque clarificador.** Para este equipo tampoco se hace necesaria la inversión por parte de la empresa ya que se haría uso del tanque disponible controlando los volúmenes máximos contemplados en el capítulo 5 con capacidad de 16,711 m<sup>3</sup>, este tanque también está fabricado en acero inoxidable y cuenta con un agitador que trabaja a la velocidad establecida.

**6.1.1.4 Tanque de oxidación química.** Debido a que la empresa no cuenta con más tanques disponibles se realiza la cotización, vía telefónica, del tanque de oxidación con un volumen de 1,09 m<sup>3</sup> en acero inoxidable con la empresa Acetanques quien bajo las especificaciones de dimensionamiento para este tanque ofreció un valor de \$6.000.000 COP sin contemplar el sistema de agitación, por esto se cotizó dicho sistema con la empresa ABC Ingeniería con un valor de \$3.500.000.

**6.1.1.5 Filtro.** La empresa Tecsaam<sup>91</sup> se caracteriza por la fabricación de filtros para aguas residuales tanto domésticas como industriales. Según las dimensiones de la figura 13 la empresa ofrece un valor de \$340.000 COP en un tubo PVC de 4 pulgadas.

**6.1.1.6 Mallas para filtración.** Esta rejillas deben fabricarse en acero inoxidable y deben ser desmontables para facilitar el mantenimiento de los tanques como de las rejillas en sí, se realizó una cotización vía telefónica con la empresa Mallas especiales LTDA para las mallas mesh de referencia 10 y 12 las cuales se utilizaron en el capítulo 4 el costo de 1 m<sup>2</sup> de estas respectivamente es de \$60.800 COP y \$49.500 COP según lo establecido se necesitan aproximadamente 2,10 m para cubrir el diámetro de los tanques por lo cual el total de cada una de las mallas 10 y 12 es \$121.600 COP y \$ 99.000 COP respectivamente para un total de \$220.600 COP.

## **6.1.2 Reactivos y materiales**

**6.1.2.1 Agentes neutralizantes.** Según la naturaleza del agua homogenizada se hace necesario la adición de hidróxido de sodio al 1% o de ácido sulfúrico al 96 % tal y como se mostró en la sección 4, a partir de esto se realizó la cotización de ambos reactivos registrando los costos asociados a la propuesta como se muestra en la tabla 28, teniendo en cuenta que se realiza tratamiento diario de 8 h que equivalen a 2.304 h anuales.

---

<sup>91</sup> Tecsaam. Fabricacion de filtros.[en línea]. Disponible en: <http://www.tecsaam.com/servicios>

**Tabla 28.** Relación de costos para agentes neutralizantes.

Reactivo	Estado	Proveedor	Costo unitario (COP)	Cantidad requerida para la propuesta	Costo total por tratamiento (COP)
NaOH	Sólido (100%)	Químicos Campota x 1 kg	5.600	8,02 kg	\$44.912
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Líquido (96%)	N/A por kg	309	13,371 L	\$ 7.615
C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	Líquido (40%)	Químicos Campota x 1 gal	13.000	13,371 L	\$ 173.823

Fuente: elaboración propia.

Según la tabla anterior y teniendo en cuenta el tratamiento de agua residual diario durante un año el costo total de inversión de soda cáustica es de \$16.168.320 COP, con respecto al ácido sulfúrico estas cantidades varían según el tipo de agua y según las cantidades experimentales a nivel laboratorio anualmente tendría un costo de \$2.741.137 COP tomando como referente la proyección de precios regulada por la resolución Colombiana de disposición de sustancias e insumos peligrosos<sup>92</sup> que establece un precio mínimos de referencia que debe tener el ácido sulfúrico, ya que su adquisición en Colombia es regulada.

**6.1.2.2 Coagulante y floculante.** Para lograr la clarificación de las aguas residuales producidas por la empresa Alimentos SAS S.A.S se establecieron como sustancias coagulantes y floculantes, alumbre al 30% y polímero catiónico al 1% respectivamente, para los cuales se registraron los costos de la tabla 29.

**Tabla 29.** Costos unitarios de las sustancias para clarificación.

Compuesto	Proveedor	Costo (COP)
Alumbre	Dimapre S.A.S x Kg	\$ 4.000
Polímero catiónico	Asequímicos x 1 kg	\$ 13.500
Polímero aniónico	Asequímicos x Kg	\$ 12.500
<b>Total</b>		<b>\$ 20.000</b>

Fuente: elaboración propia.

Según lo evaluado en el capítulo 3 se tomó la cantidad de agua residual producida en un ciclo de producción baja, media y alta correspondiente a 3,672 m<sup>3</sup>/día, 6,1216 m<sup>3</sup>/día y 10,248 m<sup>3</sup>/día, la empresa cuenta con cualquiera de estas

<sup>92</sup> Resolución de referente de precios para insumos peligrosos. Disponible en: [http://www.mamacoca.org/docs\\_de\\_base/Legislacion\\_tematica/resolPreciosRefSus\\_330\\_28fb08.pdf](http://www.mamacoca.org/docs_de_base/Legislacion_tematica/resolPreciosRefSus_330_28fb08.pdf)

cantidades diariamente pues está sujeta a la demanda que se presente por tanto el tratamiento de agua residual se realizan diariamente cambiando las dosificaciones tal y como se especificó en el capítulo 4, sin embargo para efectos de costos de tomará la cantidad de agua residual resultante de producción alta, los costos con respecto al coagulante y floculante necesarios anualmente se resumen en la tabla 30. En cuanto al agua destilada se preparan 3 reactivos en todo el tratamiento lo cual requiere un volumen constante de la misma que se estima en 7 L que para cada tratamiento diario.

**Tabla 30.** Costo anual de las sustancias para clarificación.

<b>Compuesto</b>	<b>Cantidad Anual</b>	<b>Costo Anual</b>
Coagulante (kg)	6.738,84	\$ 26.955.360
Floculante aniónico (L)	216,62	\$ 2.702.500
Floculante catiónico (L)	361,8	\$ 4.884.300
<b>Total</b>		<b>\$ 31.839.660</b>

Fuente: elaboración propia.

**6.1.2.3 Reactivos de oxidación avanzada.** Como tratamiento complementario a la clarificación se propuso la oxidación mediante el método Fenton que se adapta a la producción baja, media y alta en las cantidades establecidas en el capítulo 9 correspondientes a 0,597 Kg de sulfato ferroso y 5,973 L cantidades que se requieren diariamente según lo expuesto anteriormente. Los costos comerciales de estos reactivos se registran en la tabla 31.

**Tabla 31.** Costos comerciales de reactivos para oxidación química.

<b>Compuesto</b>	<b>Proveedor</b>	<b>Costo (COP)</b>
Peróxido de hidrógeno (50%)	Químicos Campota (1 gal)	\$14.700
Sulfato ferroso	Químicos Campota x Kg	\$ 5.000
<b>Total</b>		<b>\$ 19.700</b>

Fuente: elaboración propia.

Según los costos anteriormente mencionados se puede realizar una proyección de estos en un año tal y como se muestra en la tabla 32.

**Tabla 32.** Costos anuales del proceso de oxidación química.

<b>Compuesto</b>	<b>Cantidad Anual</b>	<b>Costo Anual (COP)</b>
Peróxido de Hidrógeno (50%)	2.150,28 L	\$ 8.350.249
Sulfato ferroso x Kg	214,2 (kg)	\$ 1.071.000
<b>Total</b>		<b>\$ 9.421.249</b>

Fuente: elaboración propia.

**6.1.2.4 Materiales granulares.** A nivel experimental el filtro seleccionado está compuesto de gravilla, arena 20/40 y antracita, materiales que según la empresa medios filtrantes e ingeniería S.A.S tienen los costos registrados en la tabla 33. Con respecto a la vida útil de dichos materiales se consultó al proveedor estableciendo que para cada material esta es de 5 años sin embargo se han presentado casos en que la duración del material es de 15 años<sup>93</sup> pero esto depende del cuerpo de agua que se esté tratando, es decir, con aguas más contaminadas la vida útil disminuye del valor promedio, sin embargo, se aconseja hacer lavados constantes para mantener las propiedades de cada uno de los materiales.

**Tabla 33.** Costos asociados a materiales granulares.

<b>Material</b>	<b>Cantidad comercial (Kg)</b>	<b>Costo comercial (COP)</b>	<b>Cantidad necesaria para la propuesta (Kg)</b>	<b>Costo según la propuesta</b>
Gravilla	50	\$ 13.000	867,725	225.680
Arena	50	\$ 13.000	876,26	227.760
Antracita	50	\$ 30.000	455,2	118.300
		<b>Total</b>		<b>571.740</b>

Fuente: elaboración propia.

## 6.2 COSTOS DE OPERACIÓN

Es importante contemplar los costos asociados al consumo energético que tienen cada uno de los equipos en el diagrama de flujo de proceso, en la tabla 34 se encuentran registrados los costos según la potencia requerida determinada en el capítulo 5 y lo consultado en las empresas de fabricación de tanques. Se estima una operación diaria de la planta durante 8 horas lo que anualmente equivale a 2.304 horas de operación.

<sup>93</sup> Medios filtrantes e ingeniería S.A.S.[en línea]. Disponible en:<http://www.mediosfiltrantesing.com/>

**Tabla 34.** Costos de operación.

<b>Equipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Consumo (KW/h)</b>	<b>Horas de operación anual</b>	<b>Costo (KW/h)</b>	<b>Costo anual (COP)</b>
Bombas	4	0,755	2.304	498,15 <sup>94</sup>	\$ 866.542
Tanque homogeneizador	1	2,334	2.304	498,15	\$ 2.678.820
Tanque Clarificador	1	2,334	2.304	498,15	\$ 2.678.820
Tanque de oxidación	1	0,177	2.304	492,15	\$ 200.702
Filtración	1	N/A	N/A	N/A	N/A
<b>Total</b>					<b>\$ 6.424.884</b>

Fuente: elaboración propia.

### 6.3 COSTOS DE INSTALACIÓN

Estos costos se refieren a las tuberías, soldadura, mano de obra y los soportes metálicos asociados a la instalación de toda la planta. Con respecto a las tuberías deben fabricarse en acero con una pulgada ya que corresponde a la salida y entrada de las bombas y de acuerdo con lo presentado en el capítulo de dimensionamiento, según esto se deben hacer 2 soldaduras a cargo de 2 operarios. Se tiene en cuenta 1 soporte metálico y escaleras cotizadas en la empresa Taesmet<sup>95</sup> que ofrece dimensiones de 2,5 m x 3 en lámina de acero. Para las tuberías se establece una medida de 4 pulgadas con un costo de \$ \$38.900 COP con 1 metro de largo por lo que se necesitarán 3 al igual que los codos con un costo unitario de \$40.900 COP finalmente los datos se registran en la tabla 35.

**Tabla 35.** Costos de instalación.

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo por unidad (COP)</b>
Pasarela y escaleras	1	\$ 5.508.000
Tubería	3 m	\$ 116.700
Codos	3	\$ 122.700
<b>Total</b>		<b>\$ 5.747.400</b>

Fuente: elaboración propia.

<sup>94</sup> Tarifas de energía Codensa.[en línea]. Disponible en: <https://www.codensa.com.co/hogar/tarifas>

<sup>95</sup> Taesmet, Tecnología de alta estabilidad metálica. [en línea]. Disponible en: <http://www.taesmet.com/tipos-productos/escaleras>

Teniendo en cuenta los costos establecidos anteriormente se obtiene como inversión inicial el valor registrado en la tabla 36 que asocia los costos de instalación y el costo de los equipos, ya que son los gastos referentes al año 0, en el cual se incurre inicialmente en dichos valores para dar como resultado una inversión de **\$ 22.748.000 COP.**

**Tabla 36.** Inversión total.

<b>Parámetro</b>	<b>Costo (COP)</b>
Costo de inversión en equipos	\$17.000.600
Costo de instalación	\$ 5.747.400
<b>Total</b>	<b>\$ 22.748.000</b>

Fuente: elaboración propia.

Con respecto al año 1 de implementación total de la propuesta se presentan los costos asociados a las sustancias químicas y los costos de operación que suman un total de \$ 100.832.582 COP tal y como se muestra en la tabla 37.

**Tabla 37.** Costos de operación para el año 1.

<b>Parámetro</b>	<b>Costo (COP)</b>
Costo de inversión de sustancias químicas	\$ 63.444.582
Costo de operación	\$ 20.387.400
<b>Total</b>	<b>\$ 83.831.982</b>

Fuente: elaboración propia.

#### **6.4 SANCIÓN SEGÚN EL MARCO LEGAL**

Según lo contemplado en el marco legal de la propuesta es necesario contemplar el valor de la sanción en la que incurre Alimentos SAS S.A.S al realizar el vertimiento de AR fuera de lo establecido en la resolución 0631 de 2015 como lo mencionan CRUZ Y SIERRA<sup>96</sup>, según el código penal se sanciona de 140 a 50.000<sup>97</sup> salarios mínimos legales vigentes que varía según la gravedad de la infracción, para calcular el monto de la misma se toma en cuenta la resolución 2086 de 2010 que evalúa la afección ambiental mediante el siguiente la ecuación 39.

<sup>96</sup> CRUZ, Aura y SIERRA, Marcela. Propuesta de una alternativa de tratamiento de aguas residuales en la salsamentaria El Bohemio. Tesis para optar por el título de ingeniero químico. Bogotá. Universidad de América. 2016. 150 p.

<sup>97</sup> COLOMBIA. Senado de la república de Colombia. Código penal colombiano. Ley 599 de 2000. [en línea]. Disponible en: [https://oig.cepal.org/sites/default/files/2000\\_codigopenal\\_colombia.pdf](https://oig.cepal.org/sites/default/files/2000_codigopenal_colombia.pdf)

**Ecuación 39.** Cálculo de la importancia de la afección.

$$I = (3 * IN) + (2 * EX) + PE + RV + MC$$

Donde:

I: Importancia de la afección.

IN: Intensidad.

EX: Extensión.

PE: Persistencia.

RV: Reversibilidad.

MC: Recuperabilidad.

Los anteriores parámetros evalúan el impacto que puede tener la contaminación en distintos periodos de tiempo al igual que el nivel de recuperación o de evasión de la afección, según esto se procede a evaluar cada uno de los ítems obteniendo así el nivel de importancia.

$$I = (3 * 4) + (2 * 1) + 1 + 1 + 1 = 17$$

La resolución 2086 de 2010 establece los rangos de importancia registrados en el cuadro 12, para posteriormente determinar la multa asociada a las malas prácticas ambientales de la empresa.

**Cuadro 12.** Calificación de la importancia de la afección.

Calificación	Descripción	Medida cualitativa	Rango
Importancia (I)	Medida cualitativa del impacto a partir del grado de incidencia de la alteración producida y de sus efectos.	Irrelevante	8
		Leve	9-20
		Moderado	21-40
		Severo	41-60
		Crítico	61-80

Fuente: Ministerio de ambiente<sup>98</sup>

Según lo anterior el nivel de importancia clasifica la afección producida por la empresa Alimentos SAS S.A.S como leve, a partir de esto se hace uso de la ecuación 40, que determina el monto de la multa que debe ser cancelada según los efectos ya evaluados.

<sup>98</sup> Resolución 2086 de 2010. [en línea]. Disponible en: [http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Regime\\_n-Sancionatorio-Ambiental/res\\_2086\\_251010.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Regime_n-Sancionatorio-Ambiental/res_2086_251010.pdf)

**Ecuación 40.** Cálculo del valor de la multa por vertimiento.

$$i = (22,06 * SMMLV) * I$$

Donde:

i: Valor monetario de la importancia de la afectación.

SMMLV: Salario mínimo mensual legal vigente (\$781.242 COP)

I: importancia de la afectación.

$$i = (22,06 * \$781.242) * 17 = \$292.981.374,84 \text{ COP}$$

Lo anterior representa la multa a la que debe enfrentarse la empresa si no cumple con la resolución 0631 de 2015 que tiene un costo de \$ 292.981.374,84 COP, si se presenta el incumplimiento de esta, según la ley 1333 de 2009<sup>99</sup> artículo 39 se suspenderán las actividades de la empresa. En base a los costos calculados anteriormente y el valor de la multa encontrado es posible a través del CAUE<sup>100</sup> establecer la cantidad monetaria retribuida a la empresa por la implementación de la propuesta. En la tabla 38 se registran el análisis de costos con los valores totales encontrados en las tablas 36 y 37 en un periodo de 5 años de operación.

**Tabla 38.** Planteamiento de costos para el análisis del CAUE.

	Inversion (año 0)	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	VPN	VPN con inversión	CAUE
Proyecto	\$ 22.748.000	\$ 84.509.466	\$ 84.509.466	\$ 84.509.466	\$ 84.509.466	\$ 84.509.466	\$297.239.335,71	\$274.491.335,71	\$78.041.878,77
Sin proyecto		\$ 292.981.375	\$ 292.981.375	\$ 292.981.375	\$ 292.981.375	\$ 292.981.375	\$1.030.483.250,64	\$1.007.735.250,64	\$286.513.787,61

Fuente: elaboración propia.

Para el análisis del CAUE se tomará en cuenta una tasa de oportunidad del 13% calculada mediante la ecuación 41.

**Ecuación 41.** Cálculo de la tasa de oportunidad.

$$TIO (\%) = (1 + DTF) + (1 + \%inflación) + (1 + \% \text{ de riesgo})$$

Donde

TIO: tasa de oportunidad

DTF: depósitos a término fijo, valor de 5 % según la tasa promedio del banco de la república de Colombia.

% inflación: se toma el valor actual de 3%

<sup>99</sup> Ley 1333 de 2009. [en línea]. Disponible en:

<http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/intranet.bogotaturismo.gov.co/files/LEY%201333%20DE%202009.pdf>

<sup>100</sup> Costo anual uniforme

% de riesgo: Según un profesional en la materia el riesgo del presente proyecto representa el 5 %

$$TIO (\%) = (1 + 5\%) + (1 + 3\%) + (1 + 5\%) = 0,13 * 100 = 13 \%$$

Según lo anterior y mediante la herramienta de cálculo excel es posible evaluar el CAUE de tal manera que para la implementación de la propuesta este valor corresponde a \$ 78.041.878 COP y para el caso de no tener en cuenta el proyecto de \$ 286.513.787 (**Anexo I**), la diferencia entre estos dos valores representa la cantidad que la empresa se ahorra al considerar la inclusión de la propuesta de tratamiento de sus aguas residuales.

## 7. CONCLUSIONES

- A partir del diagnóstico de las aguas provenientes del proceso de producción de pulpas de fruta de la empresa Alimentos SAS S.A.S, se logra determinar que los contaminantes orgánicos dependen del tipo de producción (baja, media y alta) y del lavado de los equipos, llevando como consecuencia que el comportamiento de todas las muestras de AR sea diferente durante la aplicabilidad del tratamiento.
- La propuesta de tratamiento de aguas residuales planteada resultó efectiva para los diferentes cuerpos de agua manejados, resaltando las ventajas que tiene este sobre tratamientos biológicos, puesto que se logró la reducción en los parámetros evaluados presentes en la resolución 0631 de 2015; destacando un porcentaje de remoción de 98% para producción baja y de un 70% para producción alta. De igual manera, se realizó la evaluación de la etapa de filtración omitiendo la etapa de oxidación lo que permitió un resultado de parámetros dentro de la resolución 0631 de 2015.
- Se realizaron diferentes test de jarras para determinar qué sustancias químicas provocan una mayor remoción de los contaminantes presentes en el efluente, tomando como coagulante alumbre al 10% y como floculante polímero catiónico al 0,1%.
- Mediante el balance hídrico, las condiciones actuales del agua y el comportamiento del efluente según el tipo de producción, se establecieron las especificaciones técnicas de la propuesta planteada al igual que el dimensionamiento del homogeneizador, tanque de clarificación, tanque de oxidación y filtro natural (antracita, arena 20/40 y grava).
- Se realizó un análisis de costos para la propuesta planteada presentando una inversión de \$100.832.582 COP, estos costos están asociados a la operación, instalación, elaboración de equipos y uso de reactivos necesarios para la propuesta planteada, teniendo en cuenta el año 0 y el año 1 de operación.
- Las etapas de homogenización, neutralización y desbaste resultan indispensables para la preparación del cuerpo de agua debido a la variación de sus características, las frutas procesadas y la cantidad de sólidos que se presentan.

## 8. RECOMENDACIONES

- Evaluar la inclusión de tratamientos alternativos en el proceso de desbaste para lograr mejores labores de limpieza y funcionamiento para la implementación del tratamiento.
- Evaluar la inclusión de tratamientos alternativos posteriores al filtro natural que mejoren aún más las características del cuerpo de agua y pueda ser implementado un sistema de recirculación a futuro para el uso del agua en zonas comunes de la planta.
- Hacer uso de la relación entre la carga orgánica y dosificación de peróxido con el objetivo de optimizar los resultados obtenidos en esta etapa de tratamiento.
- Considerar otras sustancias para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la producción de naranja y mango que presentan un comportamiento diferente en la etapa de coagulación - floculación que afectan la separación de agua y lodos.
- Evaluar la implementación de filtros tradicionales que permitan la remoción de sólidos en menos tiempo.
- Evaluar según la relación planteada en el método Fenton el tiempo de reacción para dicho proceso teniendo en cuenta un tiempo mínimo de 2 horas.
- Evaluar el sistema de desbaste propuesto teniendo en cuenta operaciones de desbaste, comúnmente usados en tratamientos de agua residual proveniente de la industria alimenticia, además de adaptar todo el sistema según el dimensionamiento de los equipos.

## BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR. M, *et al.* Tratamiento de aguas residuales: Coagulación-floculación. Murcia: Universidad de Murcia, Servicio de publicaciones.2002.151 p.ISBN 84-8371-308-X. [En línea] [Fecha de consulta: 27 de noviembre de 2017]. Disponible en:

[https://books.google.com.co/books?id=8vIQBXPvhAUC&printsec=frontcover&dq=cogulacion+agua&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwi27L7n5vDXAhVGUd8KHTi\\_BaUQ6AEIJjAA#v=onepage&q=cogulacion%20agua&f=false](https://books.google.com.co/books?id=8vIQBXPvhAUC&printsec=frontcover&dq=cogulacion+agua&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwi27L7n5vDXAhVGUd8KHTi_BaUQ6AEIJjAA#v=onepage&q=cogulacion%20agua&f=false)

AINOA. Clemente, CHICA. Edwin y PEÑUELA. Gustavo. Aplicación del proceso Fenton en el tratamiento de aguas residuales de origen petroquímico. Ingeniería y Competitividad, Volumen 16, No. 2, p. 211 - 223 (2014).

ALARCON, Eliana y NEITA, Laura. Propuesta para la reutilización del agua residual tratada en una empresa de cereales en la ciudad de Bogotá. Tesis de grado. Universidad de América. Bogotá D.C.2017.107 p.

ARANA, José. Evaluación de la aplicación de carbón activado granular en la filtración del agua clarificada del río Cauca. Proyecto de grado para optar por el título de ingeniero Sanitario y Ambiental. Universidad del Valle. Santiago de Cali. p. 57

ARAQUE, Mariana. Propuesta de diseño de un módulo de tratamiento de aguas residuales para pequeñas empresas de jugos cítricos en Bogotá. Trabajo de grado (profesional de ingeniería industrial). Bogotá D.C. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de ingeniería industrial, 30 a 40 p.

ARIZA, Zulay. Propuesta de un sistema para el tratamiento de agua residual industrial en la fábrica R.F.G. Bonny LTDA. Tesis de grado. Bogota D.C. Universidad de América,2017.150p.

AVENDAÑO. Gerardo y REYES, Maritza.Evaluación del método Fenton para tratamiento de aguas industriales en ingeniería. Cuaderno de investigación. Bogotá. Universidad EAN, 2012.ISBN:978-958-756-192-0. p.44.

\_\_\_\_\_. Evaluación del método Fenton para tratamiento de aguas industriales en ingeniería. Cuaderno de investigación. Bogotá. Universidad EAN, 2012.ISBN:978-958-756-192-0. p.15.

BAUTISTA, Patricia. Tratamiento de aguas residuales de la industria cosmética mediante el proceso Fenton y con el sistema  $Fe/\gamma-Al_2O_3/H_2O_2$ . Doctor en ciencias químicas.Madrid.Universidad Autónoma de Madrid.2008.239 p

BECERRA, Marco y CADENA, Sebastián. Evaluación de la aplicación del método Fenton a nivel laboratorio en la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa Aguas San Juan S.A.S ESP. Proyecto para optar por el grado de Ingeniero químico. Universidad de América.p.64

\_\_\_\_\_. Evaluación de la aplicación del método Fenton a nivel laboratorio en la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa Aguas San Juan S.A.S ESP. Proyecto para optar por el grado de Ingeniero químico. Universidad de América.p.36

BRAVO, David y HENAO, Zulysmileth. Desarrollo de una propuesta de mejora en el sistema de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de lácteos Levelma municipio de Cajicá. Trabajo de grado, ingeniero químico. Bogotá D.C. Fundación universidad de América, 2016, p. 209

\_\_\_\_\_. Desarrollo de una propuesta de mejora en el sistema de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de lácteos Levelma municipio de Cajicá. Trabajo de grado, ingeniero químico. Bogotá D.C. Fundación universidad de América, 2016, p. 150.

\_\_\_\_\_. Desarrollo de una propuesta de mejora en el sistema de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de lácteos Levelma municipio de Cajicá. Trabajo de grado, ingeniero químico. Bogotá D.C. Fundación universidad de América, 2016, p. 64

\_\_\_\_\_. Desarrollo de una propuesta de mejora en el sistema de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de lácteos Levelma municipio de Cajicá. Trabajo de grado, ingeniero químico. Bogotá D.C. Fundación universidad de América, 2016, p. 30

\_\_\_\_\_. Desarrollo de una propuesta de mejora en el sistema de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de lácteos Levelma municipio de Cajicá. Trabajo de grado, ingeniero químico. Bogotá D.C. Fundación universidad de América, 2016, p. 105

\_\_\_\_\_. Desarrollo de una propuesta de mejora en el sistema de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de lácteos Levelma municipio de Cajicá. Trabajo de grado, ingeniero químico. Bogotá D.C. Fundación universidad de América, 2016, p. 65

\_\_\_\_\_. Desarrollo de una propuesta de mejora en el sistema de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de lácteos Levelma municipio de Cajicá. Trabajo de grado, ingeniero químico. Bogotá D.C. Fundación universidad de América, 2016, p. 114

\_\_\_\_\_. Desarrollo de una propuesta de mejora en el sistema de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de lácteos Levelma municipio de Cajicá. Trabajo de grado, ingeniero químico. Bogotá D.C. Fundación universidad de América, 2016, p. 116

CASAS, Ana. Estimación del consumo requerido de agua para un subsector del sector agroalimentario de la ciudad de Bogotá. Tesis de grado (Magíster en ingeniería. Bogotá D.C. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de ingeniería química y ambiental.2012, 10 p.

CASTAÑEDA, Amparo. Procesos de oxidación avanzada aplicados en el tratamiento de aguas de la industria del petróleo. Tesis de grado: Especialista en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente. Bogotá D.C. Escuela Colombiana de ingeniería "Julio Garavito". 2014, 21-22 p.

CASTILLO, V. Diseño y cálculo de un agitador de fluidos. Tesis para optar por el grado de ingeniero de ejecución en mecánica. Universidad del Bio-Bio.2013. p.79

\_\_\_\_\_. Diseño y cálculo de un agitador de fluidos. Tesis para optar por el grado de ingeniero de ejecución en mecánica. Universidad del Bio-Bio.2013. p.38

\_\_\_\_\_. Diseño y cálculo de un agitador de fluidos. Tesis para optar por el grado de ingeniero de ejecución en mecánica. Universidad del Bio-Bio.2013. p.35

COLOMBIA. DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE MEDIO AMBIENTE. Resolución 1391 de 2003. Por la cual se establecen los formatos de solicitud de trámites administrativos ambientales y los formatos que apoyan el proceso de contratación. Registro Distrital 2971. Bogotá D.C. Octubre 20 de 2003. Anexos.

CRISTANCHO, Angie y NOY, Andrés. Diseño conceptual de una planta de tratamiento de agua residuales para Pelikan Colombia S.A.S. Tesis de grado. Bogotá D.C. Fundación Universidad de América. Facultad de ingeniería., 2016. 203 p.

\_\_\_\_\_. Diseño conceptual de una planta de tratamiento de agua residuales para Pelikan Colombia S.A.S. Tesis de grado. Bogotá D.C. Fundación Universidad de América. Facultad de ingeniería., 2016. 31 p.

\_\_\_\_\_. Diseño conceptual de una planta de tratamiento de agua residuales para Pelikan Colombia S.A.S. Tesis de grado. Bogotá D.C. Fundación Universidad de América. Facultad de ingeniería., 2016. 32 p.

\_\_\_\_\_. Diseño conceptual de una planta de tratamiento de agua residuales para Pelikan Colombia S.A.S. Tesis de grado. Bogotá D.C. Fundación Universidad de América. Facultad de ingeniería., 2016. 55 p.

\_\_\_\_\_. Diseño conceptual de una planta de tratamiento de agua residuales para Pelikan Colombia S.A.S. Tesis de grado. Bogotá D.C. Fundación Universidad de América. Facultad de ingeniería., 2016. 115 p.

\_\_\_\_\_. Diseño conceptual de una planta de tratamiento de agua residuales para Pelikan Colombia S.A.S. Tesis de grado. Bogotá D.C. Fundación Universidad de América. Facultad de ingeniería., 2016. 123 p.

CRUZ, Aura y SIERRA, Claudia. Propuesta de una alternativa de tratamiento de aguas residuales en la salsamentaria el Bohemio. Tesis de grado. Bogota D.C. Fundación Universidad de América. Facultad de ingeniería. 2016. 150 p.

Da Camara, L.; Hernández, M.; Paz, L. (2012). Manual de Diseño para Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Alimenticias. Buenos Aires. <http://uniciencia.ambientalex.info/infoCT/Mandisplatraaquaresaliar.pdf>

DANE. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/precios-y-costos/indice-de-precios-al-consumidor-ipc/grupos-ipc-2012>

DÍAZ, José. Coagulantes-floculantes orgánicos e inorgánicos elaborados de plantas y del reciclaje de la chatarra, para el tratamiento de aguas contaminadas. Tesis de maestría. Universidad Pedagógica Nacional Francisco Morazán. San Pedro Sula Cortés.p.28

Diccionarios Oxford-complutense Ciencias de la Tierra. 2000. Editorial complutense. Página 218. DQO Y DBO [Libro en línea] [Fecha de consulta: 04 de diciembre de 2017] disponible en: <https://books.google.com.co/books?id=1XKXQqUGDnoC&pg=PA218&dq=demanda+bioquimica+de+oxigeno&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiftoOnvuTMAhXB1h4KH T5-AfsQ6AEIITAC#v=onepage&q=demanda%20bioquimica%20de%20oxigeno&f=false>

FLORENCIA, Eduardo. Diseño de una instalación para tratar un agua residual textil combinando tratamiento fisicoquímico y oxidación avanzada (Qdiseño = 100 m<sup>3</sup>/d). Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero químico. Valencia. Universidad politécnica de Valencia. 2015. 105 p.

\_\_\_\_\_. Diseño de una instalación para tratar un agua residual textil combinando tratamiento fisicoquímico y oxidación avanzada (Qdiseño = 100 m<sup>3</sup>/d).

Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero químico. Valencia. Universidad politécnica de Valencia. 2015. 23 p.

\_\_\_\_\_. Diseño de una instalación para tratar un agua residual textil combinando tratamiento fisicoquímico y oxidación avanzada ( $Q_{\text{diseño}} = 100 \text{ m}^3/\text{d}$ ). Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero químico. Valencia. Universidad politécnica de Valencia. 2015. 56 p.

\_\_\_\_\_. Diseño de una instalación para tratar un agua residual textil combinando tratamiento fisicoquímico y oxidación avanzada ( $Q_{\text{diseño}} = 100 \text{ m}^3/\text{d}$ ). Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero químico. Valencia. Universidad politécnica de Valencia. 2015. 22 p.

GARCÉS GIRALDO, Luis Fernando, et al. La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales Revista Lasallista de Investigación, vol. 1, núm. 1, junio, 2004, pp. 83-92 Corporación Universitaria Lasallista Antioquia, Colombia.

GARCÍA, Fabián y RODRÍGUEZ, Víctor. Evaluación del tratamiento de A.R.D del municipio de Une, mediante coagulación con hidróxido de aluminio y oxidación química con peróxido y reactivo Fenton. Ingeniero ambiental. Bogotá D.C. Universidad de la Salle. 2015. 118 p.

GUARIN, Laura y ZAMBRANO, Juan. Evaluación técnica de la remoción de ión cianuro a través de la fotocatalisis y el reactivo fenton en las aguas residuales de industrias Tiner S.A a nivel laboratorio. Tesis de grado. Universidad América 2013. 120p.

\_\_\_\_\_. Evaluación técnica de la remoción de ión cianuro a través de la fotocatalisis y el reactivo fenton en las aguas residuales de industrias Tiner S.A a nivel laboratorio. Tesis de grado. Universidad América 2013. 81 p.

GUERRA, Jayrth y TOVAR, Julia. Manual de laboratorio de química industrial inorgánica experimental. Fundación Universidad de América. Bogotá D.C. 2011. 84 p.

GUTIERREZ. Nelson, VALENCIA. Eduardo y ARAGÓN. Renso. (2014). Eficiencia de remoción de  $\text{DBO}_5$  y SS en sedimentados y lecho filtrante para el tratamiento de aguas residuales del beneficio de café (*Coffea arábica*). Colombia Forestal, 17(2), 151-159.

HERNANDEZ, Diana y LEAL, Paola. Ingeniería básica para una planta de tratamiento de aguas residuales en cárnicos rico jamón. Fundación Universidad de América. Ingeniería Química. 2009, p 86.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Bogotá D. C.: El instituto, 2008. 36p. 2008.

\_\_\_\_\_. Referencias bibliográficas. Contenido, forma y estructura. NTC 5613. Bogotá D.C.: El instituto, 2008. 33p. c.

\_\_\_\_\_. Referencias documentales para fuentes de información electrónicas. NTC 4490. Bogotá D.C.: El instituto, 1998. 23p.

LEITON, Miguel y SEDANO, Paula. Desarrollo de una propuesta de mejora para la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa de lácteos inversiones Fasulac Ltda. Tesis de grado. Universidad de América. Bogotá D.C. 2017. 196 p.

LIZARAZO, Jenny y ORJUELA, Martha. Sistema de plantas de tratamiento en Colombia. Especialización en administración pública. Bogotá D.C. Universidad Nacional de Colombia, 2013. 67 p.

LOPEZ, Alberto et al, Carlos. Comparative study between A physicochemical and A biological process to treat slaughterhouse wastewater. *INC/* [online]. 2008, vol.33, n.7 [citado 2018-03-26], pp. 490-496. Disponible en: <[http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442008000700006&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442008000700006&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 0378-1844.

LLANEZA, Adrián. Tratamiento de aguas residuales en la industria del zumo de manzana. Tesis de máster. Universidad de Oviedo. España. 2012. 141 p.

MOLANO, Jazmin. Tratamiento de efluentes de la industria alimentaria por coagulación-floculación utilizando almidón de *Solanum tuberosum* L. 'papa' como alternativa al manejo convencional. Tesis para optar el Título Profesional de Licenciada en Biología. Universidad Ricardo Palma. Perú. p. 88.

RAMALHO, Rubens. Tratamiento de aguas residuales. Reverté S.A. 2003. 92 p. [en línea]. Disponible en: [https://books.google.com.co/books/about/Tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales.html?id=30etGjzPXyWC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.co/books/about/Tratamiento_de_aguas_residuales.html?id=30etGjzPXyWC&redir_esc=y)

RIGOLA, Miguel. Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales. Marcombo, 1989. 65 p. ISBN 8426707408, 9788426707406

\_\_\_\_\_. Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales. Marcombo, 1989. 65 p. ISBN 8426707408, 9788426707406. 67.p.

RODRIGUEZ, Tatiana, BOTELHO, Diego y CLETO, Eduardo. Tratamiento de efluentes industriales de naturaleza recalcitrante usando ozono, peróxido de hidrógeno y radiación ultravioleta. En: Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia. Diciembre, 2008. N.º

46. Diciembre, 2008 p. 24-38.

ROMERO, Jairo. Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño. ISBN:9789588060132. Disponible

en: [\(https://books.google.com.co/books?id=a94mHAAACAAJ\)](https://books.google.com.co/books?id=a94mHAAACAAJ). (2000). Escuela Colombiana de Ingeniería.

ROMERO, Leidy. Diseño de un sistema de Biofiltros para el tratamiento de aguas residuales que llegan de manera directa al humedal Neuta en el municipio de Soacha. Tesis para optar por el grado de Ingeniero ambiental. Universidad Libre. Bogotá D.C. p.11.

SALAS, Gilberto y NEPTALI, Ale. Tratamiento de las aguas residuales de una refinería de petróleo por oxidación avanzada (AOX) usando el reactivo Fenton ( $H_2O_2/Fe^{+2}$ ). Revista Peruana de química e ingeniería química. [en línea] 2008. Vol.11, No 2. [Fecha de consulta: 04 de diciembre de 2017], pp 12 a 18. Disponible en: <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/4551>. ISSN: 1609-7599.

TORRES, Guillermo. Tratamiento de agua residuales mediante la combinación de técnicas avanzadas de oxidación y biofiltros. Tesis para doctorado en Ingeniería Ambiental y desalinización. España. Universidad de las palmas de gran canaria. 2014. 525 p.

WHITTEN, Kenneth W., et al. Química General. pH. México: Cengage Learning, 2008. 9789706867

**ANEXO A**  
**CONSUMO DE AGUA PARA LOS AÑOS 2015, 2016 Y 2017**

**1. CONSUMO DE AGUA PARA LOS AÑOS 2015, 2016 Y 2017**

**Tabla 39.** Consumo de agua total durante los años 2015, 2016 y 2017.

<b>Mes</b>	<b>Año</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
		<b>Consumo total (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Consumo total (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Consumo total (m<sup>3</sup>)</b>
Enero		455,5	720,8	845
Febrero		455,5	768	640
Marzo		251,25	673,6	808
Abril		251,25	775,4	768
Mayo		366,75	950,9	1301
Junio		366,75	1033,3	1025
Julio		290	803,2	795
Agosto		290	856,3	781
Septiembre		308	813,8	907
Octubre		308	879	848
Noviembre		354,5	1.048	838
Diciembre		354,5	768	1011
<b>Total</b>		<b>3596,5</b>	<b>9139,4</b>	<b>10567</b>

Fuente: Alimentos SAS S.A.S

**Tabla 40.** Balance hídrico año 2015.

<b>Mes</b>	<b>Consumo total (m<sup>3</sup>)</b>	<b>AD (m<sup>3</sup>)</b>	<b>AR (m<sup>3</sup>)</b>
Enero	455,5	17,567	437,933
Febrero	455,5	17,567	437,933
Marzo	251,25	17,567	233,683
Abril	251,25	17,567	233,683
Mayo	366,75	17,567	349,183
Junio	366,75	17,567	349,183
Julio	290	17,567	272,433
Agosto	290	17,567	272,433
Septiembre	308	17,567	290,433
Octubre	308	17,567	290,433
Noviembre	354,5	17,567	336,933
Diciembre	354,5	17,567	336,933

Fuente: elaboración propia.

## 2. Balance hídrico para los años 2015, 2016 y 2017

**Tabla 41.** Balance hídrico 2016.

<b>Mes</b>	<b>Consumo total (m<sup>3</sup>)</b>	<b>AD (m<sup>3</sup>)</b>	<b>AR (m<sup>3</sup>)</b>
Enero	720,8	24,556	696,244
Febrero	768	24,556	743,444
Marzo	673,6	24,556	649,044
Abril	775,4	24,556	750,844
Mayo	950,9	24,556	926,344
Junio	1033,3	24,556	1008,744
Julio	803,2	24,556	778,644
Agosto	856,3	24,556	831,744
Septiembre	813,8	24,556	789,244
Octubre	879	24,556	854,444
Noviembre	1048	24,556	1023,444
Diciembre	768	24,556	743,444

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 42.** Balance hídrico 2017.

<b>Mes</b>	<b>Consumo total (m<sup>3</sup>)</b>	<b>AD (m<sup>3</sup>)</b>	<b>AR (m<sup>3</sup>)</b>
Enero	845	24,933	820,067
Febrero	640	24,933	615,067
Marzo	808	24,933	783,067
Abril	786	24,933	761,067
Mayo	1301	24,933	1276,067
Junio	1025	24,933	1000,067
Julio	795	24,933	770,067
Agosto	781	24,933	756,067
Septiembre	907	24,933	882,067
Octubre	848	24,933	823,067
Noviembre	838	24,933	813,067
Diciembre	1011	24,933	986,067

Fuente: elaboración propia.

**ANEXO B**  
**DATOS OBTENIDOS DE pH, CAUDAL Y TEMPERATURA EN PRODUCCIÓN**  
**BAJA MEDIA Y ALTA**

**Tabla 43.** Datos tomados para una producción baja.

<b>Hora</b>	<b>Volumen (L)</b>	<b>Tiempo de llenado (s)</b>	<b>Caudal (L/s)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>pH</b>
9:35 am	1	17,55	0,05698006	19,6	4,03
9:50 am	1	15,36	0,06510417	19,5	3,88
10:05 am	1	13,89	0,07199424	20,8	4,09
10:20 am	1	15,06	0,06640106	19,3	4,24
10:35 am	1	16,15	0,0619195	19,4	3,83
10:50 am	1	14,66	0,06821282	19,7	4,01
11:05 am	1	16,62	0,06016847	19,7	4,06
11:20 am	1	18,14	0,05512679	19,49	3,80
11:35 am	1	20,14	0,04965243	19,9	4,13
11:50 am	1	20,56	0,04863813	20,6	4,26

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 44.** Datos tomados para una producción media.

<b>Hora</b>	<b>Volumen (L)</b>	<b>Tiempo de llenado (s)</b>	<b>Caudal (L/s)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>pH</b>
12:25 pm	1	26,21	0,03815338	22,4	4,74
12:40 pm	1	28,20	0,035461	21	4,50
12:55 pm	1	27,10	0,0369004	21	4,41
1:10 pm	1	26,15	0,0382409	21,1	4,48
1:25 pm	1	27,33	0,0365898	20,9	4,52
1:40 pm	1	26,53	0,0376932	20,6	4,53
1:55 pm	1	23,48	0,0425894	20,7	4,62
2:10 pm	1	25,38	0,0394011	20,7	4,69
2:25 pm	1	24,58	0,0406835	21,1	4,77
2:40 pm	1	23,50	0,0425532	21,2	4,79

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 45.** Datos tomados para una producción alta.

<b>Hora</b>	<b>Volumen (L)</b>	<b>Tiempo de llenado (s)</b>	<b>Caudal (L/s)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>pH</b>
11:03 am	1	9,52	0,105042	19,4	6,67
11:18 am	1	9,64	0,10373444	19,9	6,48
11:33 am	1	8,95	0,11173184	20,6	6,43
11:48 am	1	10,95	0,0913242	19,9	6,28
12:03 pm	1	8,50	0,11764706	21	6,43
12:18 pm	1	11,15	0,0896861	20,3	6,36
12:33 pm	1	10,07	0,09930487	20	6,36
12:48 pm	1	8,42	0,11876485	20,3	6,34
01:03 pm	1	9,50	0,10526316	20,2	6,37
01:18 pm	1	8,80	0,11363636	20,6	6,43

Fuente: elaboración propia.

**ANEXO C**  
**HISTORIALES DE CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE**  
**ALIMENTOS SAS S.A.S**

**1. Pruebas de caracterización realizadas por BIOTRENDS S.A.S**

**Figura 18.** Certificado de análisis de BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S tomado como historial

REVISION 02	CERTIFICADO DE ANALISIS						
FECHA DE ACTUALIZACION 01-ENE-2014	CERTIFICADO DE ANALISIS No. A-17-22343						
<b>INFORMACION DEL CLIENTE</b> CLIENTE: ALIMENTOS SAS S.A.S. NIT/CC: 800195623-7 DIRECCION: Diagonal 19D No. 39-20 TELEFONO: 4068899 Ext 217 MAIL: CALIDAD@SAS.COM.CO CIUDAD: BOGOTA D.C. CONTACTO: MYRIAM ROCIO DUQUE JAMAICA CARGO: DIRECTORA DE CALIDAD			<b>INFORMACION DE TOMA DE ITEM DE ENSAYO</b> LUGAR DE TOMA DE ITEM: N.E RESPONSABLE DE TOMA DE ITEM: ALIMENTOS SAS S.A.S. FECHA DE TOMA DE ITEM: N.E HORA: N.E FECHA DE RECEPCION: 2017-06-24 HORA: 08:55:00 FECHA DE ANALISIS: 2017-06-27 FECHA DE INFORME: 2017-07-06 PROCEDIMIENTO DE TOMA DE ITEM: ALEATORIO				
<b>IDENTIFICACION DEL ITEM DE ENSAYO</b>							
ITEM DE ENSAYO NO.	IDENTIFICACION			FABRICANTE Y/O PROVEEDOR			
17-22343	AGUA RESIDUAL			N.E			
PRESENTACION DURANTE LA RECEPCION	CANT. ENTREG. (UN)	FECHA DE PROD	FECHA VENC	LOTE	T. MUESTREO	T. RECEPCION	
FRASCO PLASTICO X 2000 mL-FRASCO PLASTICO X 1000 mL	2	N.E	N.E	N.E	N.E	3.5°C	
OBSERVACIONES							
<b>TABLA DE RESULTADOS</b>							
PARAMETRO	METODO UTILIZADO		RESULTADOS	ESPECIFICACION	CUMPLIMIENTO		
DBO5(mgO2/L)	SM 5210 B, 5-Day BOD Test y SM 4500-O G, Membrane Electrode Method, Ed. 22:2012		5080,27	*	NO APLICA		
DQO(mgO2/L)	SM 5220 C, Closed Reflux, Titrmetric Method, Ed. 22:2012		6289,75	*	NO APLICA		
Solidos Suspendidos Totales(mg/L)	Standard Method 2540 D, Total Suspended Solid Dried at 103-105°C, Ed. 22:2012. Validado.		282,5	*	NO APLICA		
Solidos Sedimentales (SSED)(mL/L)	SM 2540 F, Settleable Solids, Ed. 22:2012		20	*	NO APLICA		
Analizado por: C52							
Revisado por: C60AMB							
<b>INTERPRETACION DE RESULTADO</b> "PARA LOS PARAMETROS SOLICITADOS NO EXISTE NORMA DE COMPARACION"							
BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S.							
REVISO: DIRECTOR TECNICO				APROBO: GERENTE			

Fuente: Biotrends laboratorios S.A.S

## 2. Registros históricos para una semana de noviembre del 2017.

**Tabla 46.** Registros de pH, conductividad y estimación de STD en una semana de producción.

Fecha	Fruta lavada	pH	Conductividad ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	STD (ppm)
15/11/17	Guayaba	4,36	1208	604
16/11/17	Mora	7,5	2369	2132,1
17/11/17	Guayaba	4,3	1458	729
18/11/17	Maracuyá	8	3562	3205,8
20/11/17	Limón, piña y maracuyá	5,66	638	319
21/11/17	Lulo	8,5	1458	729
22/11/17	Feijoa	4,23	544	272
23/11/17	Guayaba	5,6	1478	739
24/11/17	Piña, fresa y mora.	7,8	2458	2212,2
25/11/17	Maracuyá y guayaba	8,5	3569	3212,1

Fuente: Alimentos SAS S.A.S

### **Ecuación 42.** Cálculo aproximado de los STD en aguas residuales

$$STD = k * EC$$

Donde,

STD: sólidos totales disueltos (siglas en inglés total Dissolved Solids) (mg/L)

k= 0,5 para conductividades menores a 2000  $\mu\text{s}/\text{cm}$  y 0,9 para conductividades mayores a 2000  $\mu\text{s}/\text{cm}$

EC: Conductividad eléctrica (siglas en inglés electric conductivity)

**ANEXO D**  
**PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA EL CÁLCULO DE SÓLIDOS Y DBO**  
**DE LA MUESTRA DE AR**

**1. Equipo HANNA DQO HI83099.**

**Imagen 27.** Equipo HANNA DQO HI83099.



Fuente: elaboración propia.

**2. Perfil de sólidos**

**Tabla 47.** Datos experimentales para la obtención de SST

<b>Magnitud</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor (Producción Baja)</b>	<b>Valor (Producción Media)</b>
Masa del papel filtro	g	1,4874	1,186
Masa del papel filtro más residuo	g	1,5416	1,456
Volumen de la muestra	mL	60	60

Fuente: elaboración propia.

Después de la experimentación, se realizaron los cálculos correspondientes para saber la cantidad total de SST que hay en cada muestra AR de cada tipo de producción de Alimentos SAS S.A.S, mostrados en las ecuaciones 46 y 47 respectivamente.

**Ecuación 43.** Cálculo de SST

$$SST \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(masa\ del\ papel\ filtro\ más\ el\ residuo - masa\ del\ papel\ filtro) * 1000}{Volumen}$$

Para el cálculo de los SSED se realiza por medio de un cono Imhof en el cual se vierte 1 L de agua y se realizan medidas cada hora como se muestra en la imagen 21.

**Imagen 28.** Medida de los SSED en un cono Imhoff.



Fuente: elaboración propia.

### 3. Determinación de la DBO

En la ecuación 44 se muestra la obtención de la DBO a partir de OD

**Ecuación 44.** Cálculo de la DBO a partir del OD

$$DBO = \frac{D1 - D2}{P}$$

donde,

D1= Oxígeno disuelto inicial de la muestra de AR (mg/L)

D2= Oxígeno disuelto de la muestra de AR después de 5 días a 20°C (mg/L)

$$P = \frac{\text{Volumen de la muestra de AR (mL)}}{\text{Volumen del frasco para DBO (mL)}}$$

**Tabla 48.** Medida de OD para cada tipo de muestra

Magnitud	Unidades	Valor (Producción Baja)	Valor (Producción Media)
D1	mg/L		53
D2	mg/L		10

Fuente: elaboración propia.

## ANEXO E NEUTRALIZACIÓN

### 1. Neutralización con NaOH

**Tabla 49.** Datos para la curva de neutralización con NaOH

<b>NaOH (mL)</b>	<b>NaOH (ppm)</b>	<b>pH</b>
0	0	4,34
3	60	4,60
6	120	4,81
9	180	5,08
12	240	5,39
15	300	5,71
18	360	6,02
21	420	6,46
24	480	6,76
27	540	7,56
30	600	9,19

Fuente: elaboración propia.

### 2. Neutralización con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

**Tabla 50.** Datos para la curva de neutralización con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (mL)</b>	<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ppm)</b>	<b>pH</b>
0	0	8,85
0,2	192	7,32
0,4	384	6,63
0,6	576	5,65
0,8	768	3,98
1,0	960	3,01

Fuente: elaboración propia.

### 3. Neutralización con NaOH

**Tabla 51.** Datos para la curva de neutralización con NaOH

<b>NaOH (mL)</b>	<b>NaOH (ppm)</b>	<b>pH</b>
0	0	2,55
3	60	2,81
6	120	3,24
9	180	3,62
12	240	3,95
15	300	4,15
18	360	4,34
21	420	5,03
24	480	5,25
27	540	6,32
30	600	6,89

Fuente: elaboración propia.

**ANEXO F**  
**MÉTODO EXPERIMENTAL DE JARRAS PARA COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN**

1. Primer ensayo de jarras para la elección del floculante.

**Tabla 52.** Primer ensayo de jarras

<b>Parámetro</b>	<b>Jarra 1</b>	<b>Jarra 2</b>	<b>Jarra 3</b>	<b>Jarra 4</b>
Dosificación de polímero Aniónico (ppm)	45	25	-	-
Dosificación de polímero Catiónico (ppm)	-	-	45	25
Dosificación de SDAA (ppm)	1500	1500	1500	1500
Turbidez (NTU)	2,93	4,60	34,78	15,39
Conductividad ( $\mu\text{s/cm}$ )	1294	1315	1929	1897
% Remoción	98,10%	97,01%	77,43%	90,01%

Fuente: elaboración propia.

2. Segundo ensayo de jarras. Selección de coagulante

**Tabla 53.** Coagulante PROAQ 1941

<b>Parámetro</b>	<b>Jarra 1</b>	<b>Jarra 2</b>	<b>Jarra 3</b>	<b>Jarra 4</b>
Dosificación de PROAQ 1941 (ppm)	1000	1200	1500	1700
Dosificación de polímero aniónico (ppm)	45	45	45	45
Turbidez (NTU)	151,2	140,8	151	153,8
Conductividad ( $\mu\text{s/cm}$ )	1623	1769	1868	1952
% Remoción	1,88%	8,63%	2,01%	0,19%

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 54.** Coagulante sulfato de aluminio tipo A

<b>Parámetro</b>	<b>Jarra 1</b>	<b>Jarra 2</b>	<b>Jarra 3</b>	<b>Jarra 4</b>
Dosificación de sulfato de sodio (ppm)	530	550	570	600
Dosificación de polímero aniónico (ppm)	45	45	45	45
Turbidez (NTU)	152,5	153,8	-	-
Conductividad ( $\mu\text{s/cm}$ )	1536	1867	-	-
% Remoción	1,90%	0,19%	-	-

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 55.** Coagulante PAC

<b>Parámetro</b>	<b>Jarra 1</b>	<b>Jarra 2</b>	<b>Jarra 3</b>	<b>Jarra 4</b>
Dosificación de PAC (ppm)	1000	1200	1500	1700
Dosificación de polímero aniónico (ppm)	45	45	45	45
Turbidez (NTU)	160,3	164,3	183,3	202,3
Conductividad ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	1674	1954	1627	2250
% Remoción	-4,02%	-6,62%	-18,95%	-31,28%

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 56.** Coagulante SDAA

<b>Parámetro</b>	<b>Jarra 1</b>	<b>Jarra 2</b>	<b>Jarra 3</b>	<b>Jarra 4</b>
Dosificación de SDAA (ppm)	600	1000	1200	1400
Dosificación de polímero aniónico (ppm)	45	45	45	45
Turbidez (NTU)	7,60	4,06	5,38	2,93
Conductividad ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	1229	1315	1321	1294
% Remoción	95,97%	97,37%	96,51%	98,10%

Fuente: elaboración propia.

**ANEXO G**  
**FICHAS DE SEGURIDAD (MSDS) DE LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS**  
**NECESARIAS PARA LA PROPUESTA DE TRATAMIENTO**

**Figura 19.** MSDS del peróxido de hidrógeno

**PEROXIDO DE HIDROGENO EN SOLUCION >60%** ICSC: 0164




**PEROXIDO DE HIDROGENO EN SOLUCION >60%**  
 Agua oxigenada 60%  
 Hidroperóxido  
 Perhidrol  
 $H_2O_2$   
 Masa molecular: 34.0

**INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO**

Nº CAS 7722-84-1  
 Nº RTECS MX0900000  
 Nº ICSC 0164  
 Nº NU 2015  
 Nº CE 008-003-00-9

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO</b>	No combustible pero facilita la combustión de otras sustancias. Muchas reacciones pueden producir incendio o explosión.	NO poner en contacto con combustibles, agentes reductores o superficies calientes.	En caso de incendio en el entorno: agua en grandes cantidades, agua pulverizada.
<b>EXPLOSION</b>	Riesgo de incendio y explosión en contacto con calor o catalizadores metálicos.		En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua. (véanse Notas).
<b>EXPOSICION</b>		¡EVITAR LA FORMACION DE NIEBLA DEL PRODUCTO! ¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MEDICO EN TODOS LOS CASOS!
<b>• INHALACION</b>	Corrosivo. Tos, vértigo, dolor de cabeza, dificultad respiratoria, náuseas, jadeo, dolor de garganta. (Síntomas no inmediatos: véanse Notas).	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, posición de semincorporado y proporcionar asistencia médica.
<b>• PIEL</b>	Corrosivo. Enrojecimiento, quemaduras cutáneas, dolor.	Guantes protectores y traje de protección.	Aclarar con agua abundante, después quitar la ropa contaminada, aclarar de nuevo y proporcionar asistencia médica.
<b>• OJOS</b>	Corrosivo. Enrojecimiento, dolor, visión borrosa, quemaduras profundas graves, ulceración de la cornea, perforación.	Gafas ajustadas de seguridad o pantalla facial.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
<b>• INGESTION</b>	Dolor abdominal, náuseas, dolor de garganta, vómitos, distensión abdominal.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca, NO provocar el vómito, dar a beber agua abundante y proporcionar asistencia médica.
DERRAMAS Y FUGAS		ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
Ventilar. Eliminar el líquido derramado con agua abundante, NO absorber en serrín u otros absorbentes combustibles. (Protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración).		Separado de sustancias combustibles y reductoras, bases fuertes y metales. Mantener en lugar fresco y oscuro. Almacenar en contenedor con un sistema de venteo. Almacenar solamente si está estabilizado.	Material especial, símbolo O, símbolo C, R: 8-34, S: (1/2-13-28-36/38-45), Nota: B, 4, Clasificación de Peligros NU: 5.1, Riesgos Subsidiarios NU: 8, Grupo de Envasado NU: I, CE:
<b>VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE</b>			
ICSC: 0164		Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994	

Fuente: UACJ

**Figura 20. MSDS del sulfato ferroso**

<b>NOMBRE DE LA EMPRESA: QUÍMICA MAVAR S.A.</b>			
FECHA DE REVISIÓN: 4 de septiembre de 2009			
<b>1. DATOS GENERALES DEL RESPONSABLE DE LA SUSTANCIA QUÍMICA</b>			
1.- NOMBRE DEL FABRICANTE O IMPORTADOR: Química Mavar S.A.		2.- EN CASO DE EMERGENCIA COMUNICARSE A: +56 2 623 6363	
3.- DOMICILIO COMPLETO			
CALLE: EL TRABAJO	No. 2610	COMUNA: CONCHALI	CIUDAD: SANTIAGO
<b>2. DATOS GENERALES DE LA SUSTANCIA QUÍMICA</b>			
1. NOMBRE COMERCIAL: Sulfato Ferroso Heptahidratado.		2.- NOMBRE QUÍMICO: Sulfato Ferroso Heptahidratado.	
3.- PESO MOLECULAR: 278.01 g/mol		4.- FAMILIA QUÍMICA: Sales Inorgánicas	
5.- SINÓNIMOS: Sulfato de Hierro (II) Heptahidratado.		6.- FORMULA QUÍMICA: FeSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	
<b>3. COMPONENTES RIESGOSOS</b>			
1.- % COMPONENTES: Sulfato Ferroso Heptahidratado 98-99% Inertes (1-2%)	2.- N° CAS: 7782-63-0 N.A.	3.- N° UN: N.A. N.A.	4.- CANCERIGENOS O TERATOGENICOS: NO N.A.
5.- LIMITE MÁXIMO PERMISIBLE DE CONCENTRACIÓN: N.D.	6.-IDLH/PPVS (ppm) N.D.	7.- GRADO DE RIESGO	
		7.1 SALUD 1	7.2 INFLAMABILIDAD 0
			7.3 REACTIVIDAD 0
N.A.	N.A.		
TRANSPORTE	ENVASE	ALMACENAMIENTO	

Fuente: Química Marvar S.A.

Figura 21. Ficha técnica del SDAA

		<b>HOJA DE SEGURIDAD PQP</b> <b>BANALUM – ALUMBRE</b>	<small>DOCPLAYER</small>								
<b>1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y LA COMPAÑÍA</b>											
Sinónimos:	Sulfato de Aluminio y Amonio 12-Hidrato - Alumbre de Amonio										
Fórmula Química:	$AlNH_4(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$										
Peso molecular:	453,33										
Grupo químico:	Compuesto de Aluminio Inorgánico										
Numero UN:	No tiene										
Código PQP:	BANAL001 ALBAN001										
Empresa:	Productos Químicos Panamericanos S.A.										
Dirección y teléfono:	Km 28 vía Cali – Popayán Tel. 590 28 12/06/07 – 590 1717										
<b>2. COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN SOBRE COMPONENTES</b>											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">INGREDIENTES</th> <th style="width: 20%;">No. CAS</th> <th style="width: 30%;">Concentración</th> <th style="width: 20%;">Peligroso</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Alumbre de Amonio</td> <td style="text-align: center;">7784-26-1</td> <td style="text-align: center;">99,0%</td> <td style="text-align: center;">No</td> </tr> </tbody> </table>				INGREDIENTES	No. CAS	Concentración	Peligroso	Alumbre de Amonio	7784-26-1	99,0%	No
INGREDIENTES	No. CAS	Concentración	Peligroso								
Alumbre de Amonio	7784-26-1	99,0%	No								
<b>3. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS</b>											
Inhalación:	Irritaciones leves en nariz y garganta										
Contacto con la piel:	Inflamación e irritación leve										
Contacto con los ojos:	Inflamación e irritación leve										
Ingestión:	Nocivo en grandes dosis. Grandes dosis pueden causar irritación y posibles quemaduras leves. Dolor abdominal. Náuseas. Vómitos. Diarrea.										
Cancerígeno:	No hay evidencia										
Mutagénico:	No hay evidencia										
Teratógeno:	No hay evidencia										
<b>4. MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS</b>											
Inhalación:	Trasladar a la persona donde exista aire fresco. En caso de paro respiratorio emplear método de reanimación cardiopulmonar (RCP). Si respira dificultosamente se debe suministrar oxígeno. Conseguir asistencia médica.										
Contacto con la piel:	Lave con abundante agua, a lo menos por 5 minutos. Use de preferencia una ducha de emergencia. Sacarse la ropa contaminada y lavarla. Solicitar ayuda médica en caso de persistir la irritación.										
Contacto con los ojos:	Lavarse con abundante agua en un lavadero de ojos, durante 5 minutos como mínimo o hasta remover la sustancia química de los ojos. Recurrir a una asistencia médica en caso de mantenerse la irritación.										
Ingestión:	Lavar la boca con bastante agua. Dar a beber abundante agua. No inducir al vómito. Derivar a un centro de atención médica de persistir alguna molestia.										

## 5. RIESGO DE INCENDIO

Condición de inflamabilidad:	No combustible.
Temperatura de inflamación:	No aplicable.
Temperatura de autoignición:	No aplicable.
Límites de inflamabilidad:	No aplicable.
Productos de combustión:	Amoniaco, Óxidos de Azufre y Óxidos de Aluminio
Medios de extinción:	En general, uso de extintores de Polvo Químico Seco y Anhídrido Carbónico.

## 6. MEDIDAS PARA EL CONTROL DE DERRAMES O FUGAS

### PROCEDIMIENTO

Contener el derrame o fuga.  
Ventilar el área.  
Recoger el residuo con precaución.  
Utilizar elementos de protección personal.  
Lavar la zona contaminada con Agua.  
Solicitar ayuda especializada si es necesaria.

## 7. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Área de almacenamiento:	Zona de almacenaje general. Almacenamiento en bodegas y/o cabinas. Lugar fresco y con buena ventilación.
Precauciones especiales:	Almacenar alejado de productos incompatibles. Mantener los sacos cerrados y debidamente rotulados.

## 8. CONTROL DE EXPOSICION

Medidas de control:	Trabajar en un lugar con buena ventilación. Aplicar procedimientos de trabajo seguro. Respetar prohibiciones de no fumar, comer y beber algún tipo de bebida en el lugar de trabajo.
Límite permisible ponderado:	1.6 mg/m <sup>3</sup> (expresado como Aluminio)
Límite permisible absoluto:	8.0 mg/m <sup>3</sup> (expresado como Aluminio)

## 9. EQUIPOS DE PROTECCION PERSONAL

Ropa de trabajo:	En general, uso de indumentaria de trabajo resistente a productos químicos.
Protección respiratoria:	Uso de protección respiratoria en caso de sobrepasarse los límites permisibles ponderado o absoluto. Debe ser específica para polvos.
Guantes de protección:	Utilización de guantes impermeables.
Lentes protectores:	Uso de lentes de seguridad resistentes contra proyecciones de la sustancia química.

## 10. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Estado físico:	Sólido
Apariencia:	Polvos o cristales blancos
Olor:	Sin olor
pH:	4.6 (solución 0.05M)
Temperatura de ebullición:	280 °C (se descompone)
Temperatura de fusión:	94 °C
Densidad a 20°C:	1.65 kg/L
Presión de vapor a 20°C:	No disponible
Densidad de vapor:	No disponible
Solubilidad:	Solubilidad apreciable en Agua (> 10%)

## 11. INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTE

Riesgo principal:	Irritante
Rótulo de transporte:	<b>No tiene</b>
Rombo para almacenamiento:	

■

		SALUD INFLAMABLE REACTIVIDAD CONTACTO
0 = Ninguno 1 = Ligero 2 = Moderado 3 = Severo 4 = Extremo		

Fuente: Docplayer

## ANEXO H CÁLCULO DE PARÁMETROS PARA DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS

### 1. Diseño del agitador para el tanque de clarificación

Teniendo en cuenta que el tanque tiene una altura de 3,506 m y un diámetro de 2,337 m.

**Ecuación 45.** Cálculo de la distancia fondo a base del impulsor (E)

$$\frac{E}{Dt} = 0,34$$

$$E = 0,34 \times 2,337 = 0,795 \sim 80 \text{ cm}$$

**Ecuación 46.** Cálculo del diámetro impulsor (Da)

$$\frac{Da}{Dt} = 0,337$$

$$E = 0,337 \times 2,337 = 0,788 \sim 79 \text{ cm}$$

**Ecuación 47.** Cálculo del ancho de paleta (W)

$$\frac{W}{Da} = 0,2$$

$$E = 0,2 \times 79 = 15,8 \sim 16 \text{ cm}$$

### 2. Cálculo de remoción de sólidos y porcentaje de remoción para las rejillas de desbaste.

**Tabla 57.** Características de las mallas.

Montaje	Descripción	Diámetro (mm)	Material
1	Malla mesh 12	0,5	Acero
2	Malla mesh 12 + malla mesh 10	0,6 + 0,5	inoxidable
3	Malla mesh 10	0,6	

Fuente: elaboración propia.

**Ecuación 48.** Cálculo de los ST.

$$ST = \frac{(m_2 - m_3) * \frac{1000 \text{ mL}}{L}}{V} = 19.150 \text{ mg/L}$$

Donde:

ST= Sólidos totales (mg)

m<sub>2</sub>= Masa cápsula más residuo (mg)

m<sub>1</sub>= Masa cápsula preparada (mg)

V= Volumen muestra (mL)

Mediante la ecuación anterior se calculan los sólidos totales para cada capsula:

Cápsula 1:

$$ST = \frac{(87.934,2 - 87.550,7) * \frac{1000 \text{ mL}}{L}}{20} = 19.150 \text{ mg/L}$$

Cápsula 2:

$$ST = \frac{(88.321,8 - 87.163,1) * \frac{1000 \text{ mL}}{L}}{20} = 57.935 \text{ mg/L}$$

Cápsula 3:

$$ST = \frac{(88.070 - 87.855,8) * \frac{1000 \text{ mL}}{L}}{20} = 10.710 \text{ mg/L}$$

Cápsula 4:

$$ST = \frac{(86.785,5 - 86.623,5) * \frac{1000 \text{ mL}}{L}}{20} = 8.100 \text{ mg/L}$$

Cápsula 5:

$$ST = \frac{(29.406 - 29.225,4) * \frac{1000 \text{ mL}}{L}}{20} = 9.030 \text{ mg/L}$$

Cápsula 6:

$$ST = \frac{(54.034 - 53.878,4) * \frac{1000 \text{ mL}}{L}}{20} = 7780 \text{ mg/L}$$

En las tablas 59 y 60 se consignan los datos obtenidos por medio del pesaje de las cápsulas pre y post procedimiento experimental y mediante la ecuación anterior la cantidad de sólidos totales finales.

**Tabla 58.** Datos obtenidos de la muestra de agua sin filtrar.

Magnitud	Simbología	Cápsula 1	Cápsula 2	Cápsula 3
Masa de capsula preparada	m1	87.551	87.163	87.855,8
Masa cápsula más residuo a 103-105°C (mg)	M2	87.934	88.321,8	88.070
Volumen de la muestra (mL)	V	20	20	20
Sólidos Totales (mg/L)	ST	19.150	57.900	10.710

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 59.** Datos obtenidos de la muestra de agua filtrada.

Magnitud	Simbología	Cápsula 3 Montaje 1	Cápsula 4 Montaje 2	Cápsula 5 Montaje 3
Masa de capsula preparada	m1	86.623,5	29.225,4	53.878,4
Masa cápsula más residuo a 103-105°C (mg)	m2	86.785,5	29.406	54.034
Volumen de la muestra (mL)	V	20	20	20
Sólidos Totales (mg/L)	ST	8.100	9.030	7.780

Fuente: elaboración propia.

Por cada montaje se analiza un 20 mL de muestra homogeneizada para un total de 120 mL en total. Para determinar el porcentaje de remoción se hace uso de la ecuación 53, con el fin de establecer la cantidad de sólidos removidos por cada uno de los ensayos realizados.

**Ecuación 49.** Cálculo del porcentaje de remoción de sólidos.

Montaje 1:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{19.150 - 8.100}{19.150} * 100\% = 57,702\%$$

Montaje 2:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{57.900 - 7.780}{57.900} * 100\% = 84,404\%$$

Montaje 3:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{10.710 - 7.780}{10.710} * 100\% = 27,35\%$$

### 3. Potencia del agitador del tanque de clarificación.

**Ecuación 50.** Cálculo de la eficiencia requerida.<sup>101</sup>

$$P = K\rho N^3 d^5$$

<sup>101</sup> BRAVO, A y HENAO, Z. Desarrollo de una propuesta de mejora en el sistema de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de lácteos Levelma municipio de Cajicá.

Donde:

K: Constante equivalente a 1,70.

$\rho$ : Densidad del agua estándar 1.000 Kg/m<sup>3</sup>

N: velocidad de rotación en rps máximo 120.

D: diámetro del impulsor en m

$$P = 1,7 * 1.000 \frac{kg}{m^3} * 2 rps^3 * 0,3338 m^5 = 59,996 W$$

Tomado una eficiencia de agitación del 75% debido al 35% de pérdidas por fricción.<sup>102</sup>

$$P = \frac{59,996 W}{(0,75 * 1.000)} = 0,079 KW \text{ es decir } 0,106 HP$$

#### 4. Consideraciones de diseño para la oxidación avanzada.

##### - Agitador del tanque de oxidación.

Teniendo en cuenta que la altura del tanque es de 1,458 m y de diámetro (Dt) 0,971 m. Haciendo uso de las ecuaciones 49,50 y 52 se calcula:

-Distancia fondo a base del impulsor €

$$\frac{E}{Dt} = 0,34$$
$$E = 0,34 x 0,971 = 0,330 \sim 33 \text{ cm}$$

-Diámetro impulsor (Da)

$$\frac{Da}{Dt} = 0,337$$
$$Da = 0,337 x 0,991 = 0,327 \sim 33 \text{ cm}$$

-Ancho de paleta (W)

$$\frac{W}{Da} = 0,2$$
$$W = 0,2 x 33 = 6,8 \sim 7 \text{ cm}$$

Por medio de la ecuación 50 se calcula la potencia requerida para el impulsor del tanque de oxidación química.

---

<sup>102</sup> CASTILLO, V. Diseño y cálculo de un agitador de fluidos. Tesis para optar por el grado de ingeniero de ejecución en mecánica. Universidad del Bio-Bio. 2013. p.38

$$P = 1,7 * 1.000 \frac{kg}{m^3} * 2,5 \text{ rpm } s^3 * 0,327 \text{ m}^5 = 99,313 \text{ W}$$

Tomado una eficiencia de agitación del 75% debido al 35% de pérdidas por fricción.<sup>103</sup>

$$P = \frac{99,313 \text{ W}}{(0,75 * 1.000)} = 0,132 \text{ KW es decir } 0,177 \text{ HP}$$

- **Caudal de diseño (Qc)**

**Ecuación 51.** Cálculo de la cantidad de agua tratada por hora en el tanque de coagulación-floculación.

$$Q_c = \frac{V_t}{H_l}$$

Donde:

Qc: Cantidad de agua tratada por hora en el tanque de coagulación-floculación.

V<sub>Lt</sub>: Volumen de llenado total del tanque.

H<sub>l</sub>: Horas laboradas.

$$Q_c = \frac{16,711 \text{ m}^3}{8 \text{ h}} = 2,089 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

---

<sup>103</sup> CASTILLO, V. Diseño y cálculo de un agitador de fluidos. Tesis para optar por el grado de ingeniero de ejecución en mecánica. Universidad del Bio-Bio. 2013. p.38

**ANEXO I**  
**CONSIDERACIONES DE LOS COSTOS DE LA PROPUESTA**

**Tabla 60.** Totalización de costos de la propuesta.

Bombas	\$ 6.940.000,00
Tanque oxidacion	\$ 9.500.000,00
Filtro natural	\$ 340.000,00
Mallas	\$ 220.600,00
<b>Total equipos</b>	<b>\$ 17.000.600</b>
Soda Caustica	\$ 16.168.320
Acido sulfurico	\$ 2.741.113
Peróxido	\$ 8.350.249
Sulfato ferroso	\$ 1.071.000
Coagulante	\$ 26.955.360
Floculante	\$ 7.586.800
Material filtrante	\$ 571.740
<b>Total reactivos</b>	<b>\$ 63.444.582</b>
Costos de operación	\$ 6.424.884
Operario	\$ 14.640.000
Costos de instalación	\$ 5.747.400
<b>Inversión total</b>	<b>\$ 100.832.582,00</b>
Inversión con operación	\$ 107.257.466,00
Sin los insumos fijos	\$ 83.937.726

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 61.** Análisis de costo anual uniforme equivalente.

	Inversion (año 0)	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	VPN	VPN con inversión	CAUE
Proyecto	\$ 22.748.000	\$ 84.509.466	\$ 84.509.466	\$ 84.509.466	\$ 84.509.466	\$ 84.509.466	\$297.239.335,71	\$274.491.335,71	\$78.041.878,77
Sin proyecto		\$ 292.981.375	\$ 292.981.375	\$ 292.981.375	\$ 292.981.375	\$ 292.981.375	\$1.030.483.250,64	\$1.007.735.250,64	\$286.513.787,61

Fuente: elaboración propia.

Las anteriores determinaciones fueron realizadas mediante la herramienta de cálculo Excel, de manera que para el valor presente neto se utilizó la función (VNA) y para el CAUE la función de PAGO.

**- COTIZACIONES**

- 1. Sistemas de agitación:** EL proveedor sugiere un precio alrededor de los US 1.500

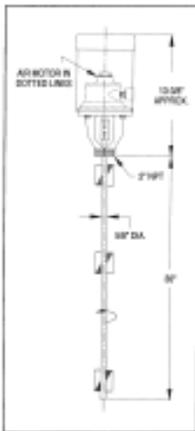
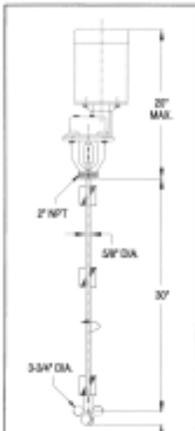
Figura 22. Cotizaciones realizadas por equipo.

## Drum Mixers

### Bung-Entering – 55 Gallon Drum, High Viscosity

**Series H Mixers**  
Direct Drive, 1750 rpm  
Viscosity to 8,000 CPS

**Series HGS Mixers**  
Gear Drive, 430 rpm  
Viscosity to 32,000 CPS




**Features**

- Shaft and propeller are 316SS.
- Available electric or air motor powered to 1 HP.
- For mixing extremely heavy or shear sensitive chemicals in drums.
- Designed to screw into standard 2-in. bung opening on 55-gallon drums.

	SERIES H – DIRECT DRIVE		SERIES HGS – GEAR DRIVE	
Standard Motor Description	Model Number	Viscosity Limitation CPS	Model Number	Viscosity Limitation CPS
<b>TOTALLY-ENCLOSED FAN-COOLED (TEFC)</b>				
1/2 HP-1-115/230	H-2.0	1000	HGS-2.0	4000
1/2 HP-1-115/230	H-3.0	4000	HGS-3.0	16000
3/4 HP-1-115/230	H-5.0	6000	HGS-5.0	24000
1 HP-1-115/230	H-6.0	8000	HGS-6.0	32000
<b>AIR MOTOR</b>				
1/4 HP to 1/2 HP AIR Air Requirements: 10-20CFM at 20-40PSI	H-4.0	4000	HGS-4.0	24000
3/4 HP to 1 HP AIR Air Requirements: 30-40CFM at 25-35PSI	H-7.0	8000	HGS-7.0	32000

Option-proof models available—contact factory.

## Bulk Container Mixer

### – Gear Drive Bung or Bracket Mount

**Series DT, 420 rpm**

**Features**

- Mounts to the tank or optional universal bracket.
- 316SS propeller folds to fit through 2-in. opening; opens to 9-in. operating diameter.
- 35-in. shaft length.

Model Number	Standard Motor Description	Shaft Diameter
<b>TOTALLY-ENCLOSED FAN-COOLED (TEFC)</b>		
DT-1.0	1/2 HP-1-115/230	1"
DT-1.2	1/2 HP-3-230/460	1"
DT-2.0	3/4 HP-1-115/230	1"
DT-2.2	3/4 HP-3-230/460	1"
DT-3.0	1 HP-3-230/460	1"
<b>AIR MOTOR</b>		
DT-1.4	1/2 HP AIR Air Requirements: 20CFM at 40PSI	1"
DT-3.2	3/4 HP to 1 HP AIR Air Requirements: 30-40CFM at 25-35PSI	1"

For Option-proof models, see price list.



**Series DT**



Optional Series DT bracket adjusts to fit 32" to 50" wide containers

**MODEL DTA**  
aluminum

**MODEL DTS**  
steel

Fuente: Gear Drive

Figura 23. Cotización de medios filtrantes



## Medios Filtrantes e Ingeniería s.a.s.

**COTIZACIÓN 1166-18**

FECHA: 01 de junio de 2018  
 COMPAÑIA: UNIVERSIDAD DE AMERICA  
 DIRIGIDO A: LAURA ALFONSO  
 CIUDAD: BOGOTA D.C.  
 E-MAIL: [laura.alfonso@estudiantes.uamerica.edu.co](mailto:laura.alfonso@estudiantes.uamerica.edu.co)

PRESENTACIÓN: SACOS DE PROLIPROPILENO \*50 KG  
 VALIDEZ DE LA OFERTA: 30 DIAS  
 CONDICIONES DE ENTREGA: INMEDIATA  
 CONDICIONES DE PAGO: ANTICIPADO

Material	Descripción	Cantidad sc	Precio por sc	Total
Grava	Grava para filtro	1	\$ 13.000	\$ 13.000
Arena	Arena 20 - 40	1	\$ 13.000	\$ 13.000
Antracita	Antracita convencional	1	\$ 30.000	\$ 30.000

SUBTOTAL	\$ 56.000
IVA	\$ 4.940
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 60.940</b>

**OBSERVACIONES**

- NUESTROS MATERIALES CUMPLEN CON LAS ESPECIFICACIONES DE LAS NORMAS AWWA B100 Y LA NTC 2372.
- MATERIALES PUESTOS EN NUESTRAS INSTALACIONES EN LA CIUDAD DE BOGOTA D.C.

ESPERAMOS ESTA COTIZACION SEA DE SU AGRADO Y ACEPTACION



**LUIS EDUARDO RODRIGUEZ**

Mail: [mediosfiltrantes.ing@gmail.com](mailto:mediosfiltrantes.ing@gmail.com)  
 Cra 81 No. 9 - 82  
 Teléfono: (57 1)4618829  
 Móvil: 311 276 07 90 – 313 4077793  
 Bogotá – Colombia

Fuente: Medios filtrantes e ingeniería S.A.S

**ANEXO J**  
**INFORMES DE ANÁLISIS REALIZADAS POR BIOTRENDS S.A**

**Figura 24.** Informe de análisis por BIOTRENDS S.A para agua filtrada

REVISION 01 FECHA DE ACTUALIZACION 02-NOV-2017		INFORME DE ANALISIS					
INFORME DE ANALISIS No. A-18-17227-0							
INFORMACION DEL CLIENTE CLIENTE: ALIMENTOS SAS S.A.S. NITCC: 800195623-7 DIRECCION: Diagonal 190 No. 39-20 TELEFONO: 4058899 Ext 217 MAIL: CALIDAD@SAS.COM.CO, ASEGURAMIENTO@SAS.COM.CO CIUDAD: BOGOTA D.C. CONTACTO: SRA. MYRIAM ROCIO DUQUE JAMAICA CARGO: DIRECTORA DE CALIDAD				INFORMACION DE TOMA DE ITEM DE ENSAYO LUGAR DE TOMA DE ITEM: N.E RESPONSABLE DE TOMA DE ITEM: ALIMENTOS SAS S.A.S. FECHA DE TOMA DE ITEM: N.E HORA: N.E FECHA DE RECEPCION: 2018-05-15 HORA: 16:30:00 FECHA DE ANALISIS: 2018-05-15 FECHA DE INFORME: 2018-05-07 METODO DE TOMA DE MUESTRA: G-CM-010			
IDENTIFICACION DEL ITEM DE ENSAYO							
ITEM DE ENSAYO NO.	IDENTIFICACION			FABRICANTE Y/O PROVEEDOR			
18-17227	AGUA FILTRADA			N.E			
PRESENTACION DURANTE LA RECEPCION	CANT. ENTREG. (UN)	FECHA DE PROD	FECHA VENC	LOTE	T. MUESTREO	T. RECEPCION	
BOTELLA DE PLASTICO X 2000 mL	1	N.E	N.E	N.E	N.E	16°C	
OBSERVACIONES							
TABLA DE RESULTADOS							
PARAMETRO	METODO UTILIZADO	RESULTADOS	UNIDADES	ESPECIFICACION	CUMPLIMIENTO		
DBOS	SM 5210 B, 5-Day BOD Test y SM 4500-O-G, Membrane Electrode Method, Ed. 22-2012	409,09	mgO <sub>2</sub> /L	-	NO APLICA		
DQO	SM 5220 C, Closed Reflux, Titrimetric Method, Ed. 22-2012	900	mgO <sub>2</sub> /L	-	NO APLICA		
Sólidos Suspendidos Totales	Standard Method 2540 D, Total Suspended Solid Dried at 103-105°C, Ed. 22-2012, Validado.	445	mg/L	-	NO APLICA		
Sólidos Sedimentables (SSED)	SM 2540 F, Settleable Solids, Ed. 22-2012	0,1	mL/L	-	NO APLICA		
Analizado por: C80							
INTERPRETACION DE RESULTADO "PARA LOS PARAMETROS SOLICITADOS NO EXISTE NORMA DE COMPARACION"							

Fuente: Laboratorio Biotrends S.A

**Figura 25.** Informe de análisis por BIOTRENDS S.A para agua cruda.

F-EC-006 REVISION 01 FECHA DE ACTUALIZACION 02-NOV-2017		INFORME DE ANALISIS					
INFORME DE ANALISIS No. A-18-17226-0							
INFORMACION DEL CLIENTE CLIENTE: ALIMENTOS SAS S.A.S. NITCC: 800195623-7 DIRECCION: Diagonal 190 No. 39-20 TELEFONO: 4058899 Ext 217 MAIL: CALIDAD@SAS.COM.CO, ASEGURAMIENTO@SAS.COM.CO CIUDAD: BOGOTA D.C. CONTACTO: SRA. MYRIAM ROCIO DUQUE JAMAICA CARGO: DIRECTORA DE CALIDAD				INFORMACION DE TOMA DE ITEM DE ENSAYO LUGAR DE TOMA DE ITEM: N.E RESPONSABLE DE TOMA DE ITEM: ALIMENTOS SAS S.A.S. FECHA DE TOMA DE ITEM: N.E HORA: N.E FECHA DE RECEPCION: 2018-05-15 HORA: 16:30:00 FECHA DE ANALISIS: 2018-05-15 FECHA DE INFORME: 2018-05-07 METODO DE TOMA DE MUESTRA: G-CM-010			
IDENTIFICACION DEL ITEM DE ENSAYO							
ITEM DE ENSAYO NO.	IDENTIFICACION			FABRICANTE Y/O PROVEEDOR			
18-17226	AGUA CRUDA			N.E			
PRESENTACION DURANTE LA RECEPCION	CANT. ENTREG. (UN)	FECHA DE PROD	FECHA VENC	LOTE	T. MUESTREO	T. RECEPCION	
BOTELLA DE PLASTICO X 2000 mL	1	N.E	N.E	N.E	N.E	16°C	
OBSERVACIONES							
TABLA DE RESULTADOS							
PARAMETRO	METODO UTILIZADO	RESULTADOS	UNIDADES	ESPECIFICACION	CUMPLIMIENTO		
DQO	SM 5220 C, Closed Reflux, Titrimetric Method, Ed. 22-2012	5116,21	mgO <sub>2</sub> /L	-	NO APLICA		
DBOS	SM 5210 B, 5-Day BOD Test y SM 4500-O-G, Membrane Electrode Method, Ed. 22-2012	2100	mgO <sub>2</sub> /L	-	NO APLICA		
Sólidos Suspendidos Totales	Standard Method 2540 D, Total Suspended Solid Dried at 103-105°C, Ed. 22-2012, Validado.	1384	mg/L	-	NO APLICA		
Sólidos Sedimentables (SSED)	SM 2540 F, Settleable Solids, Ed. 22-2012	30	mL/L	-	NO APLICA		
Analizado por: C80							
INTERPRETACION DE RESULTADO "PARA LOS PARAMETROS SOLICITADOS NO EXISTE NORMA DE COMPARACION"							

Fuente: Laboratorio Biotrends S.A