

DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE MEJORA DE LA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA REDUCCIÓN DE LA DQO Y  
DBO EN LA FÁBRICA DE CHOCOLATES TRIUNFO S.A.

MARÍA FERNANDA LÓPEZ BARROSO  
LAURA CARLOTA MENDOZA ARIAS

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

DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE MEJORA DE LA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA REDUCCIÓN DE LA DQO Y  
DBO EN LA FÁBRICA DE CHOCOLATES TRIUNFO S.A.

MARÍA FERNANDA LÓPEZ BARROSO  
LAURA CARLOTA MENDOZA ARIAS

Proyecto integral de grado para optar al título de  
INGENIERO QUÍMICO

Director  
Luis Vicente Coy  
Ingeniero de Sistemas

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

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

Oscar Libardo Lombana  
Presidente de jurado

---

Alexander López Castro  
Jurado

---

Diana Marcela Cuesta Parra  
Jurado

Bogotá D.C., Febrero del 2018

## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

**Dr. JAIME POSADA DÍAZ**

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

**Dr. LUÍS JAIME GARCÍA-PEÑA**

Vicerrectora Académica y de Posgrados

**Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS**

Secretario General

**Dr. JUAN CARLOS POSADA GARCÍA-PEÑA**

Director Facultad de Ingenierías

**Dr. JULIO CÉSAR FUENTES ARISMENDI**

Director Programa de Ingeniería

**Ing. LEONARDO DE JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ**

## **DEDICATORIA**

A Dios quien inspiro nuestro espíritu para la culminación de una etapa de nuestras vidas.

A nuestros padres quienes nos dieron la vida, educación, apoyo incondicional y consejos a lo largo de nuestra vida universitaria para poder culminar con éxito nuestros estudios.

A nuestros amigos y maestros quienes nos acompañaron a lo largo de los años y sin su ayuda no habiéramos podido acabar esta tesis.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Fábrica De Chocolates Triunfo S.A. por permitirnos desarrollar esta tesis de grado.

Al Ingeniero Luis Vicente Coy por brindarnos su voto de confianza y ayudarnos a realizar este proyecto.

Al Ingeniero Oscar Lombana quien fue nuestro orientador en el desarrollo de esta tesis y dedicarnos su tiempo para poder culminarla.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	26
OBJETIVOS	27
1. MARCO DE REFERENCIA	28
1.1 MARCO TEÓRICO	28
1.1.1 Clasificación de las aguas residuales	28
1.1.2 Parámetros del agua residual de la industria alimentaria	29
1.1.3 Tratamientos del agua residual	32
1.1.4 Pretratamiento o tratamientos primarios	32
1.1.5 Tratamientos secundarios	34
1.1.6 Tratamientos terciarios	36
1.2 MARCO CONCEPTUAL	36
1.3 MARCO LEGAL	38
2. DIAGNÓSTICO	41
2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN	41
2.1.1 Chocolate	41
2.1.1.1 Obtención de la cocoa.	41
2.1.1.2 Pulverización del azúcar.	42
2.1.1.3 Mezclado.	42
2.1.1.4 Refinado.	42
2.1.1.5 Conchado.	42
2.1.1.6 Bombeo de chocolate.	42
2.1.1.7 Atemperado del chocolate.	42
2.1.2 Caramelo	43
2.1.2.1 Obtención del invertido	43
2.1.2.2 Obtención de la base licor	43
2.1.2.3 Obtención del caramelo	43
2.1.3 Gomas y grajeados	44

2.2	DESCRIPCIÓN DE LA PTAR	44
2.3	DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS	46
2.4	CARACTERIZACIONES HISTÓRICAS DEL AGUA	51
2.4.1	Caracterización histórica de DBO5	51
2.4.2	Caracterización histórica de DQO	53
2.4.3	Caracterización histórica de fenoles	54
2.4.4	Caracterización histórica de grasa y aceite	56
2.4.5	Caracterización histórica de pH	57
2.4.6	Caracterización histórica sustancias activas al azul de metileno	58
2.4.7	Caracterización histórica de sólidos sedimentables	59
2.4.8	Caracterización histórica de sólidos suspendidos totales	60
2.4.9	Caracterización histórica de temperatura	60
3.	SELECCIÓN DEL MÉTODO DE TRATAMIENTO	63
3.1	CRITERIOS DE SELECCIÓN	63
3.2	ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL	63
3.2.1	Coagulación-floculación	63
3.2.1.1	Porcentaje de reducción de DQO y DBO5	63
3.2.1.2	Costos estimados de insumos y equipos	64
3.2.1.3	Área requerida.	65
3.2.1.4	Disponibilidad de materiales y equipos para la evaluación a escala laboratorio.	65
3.2.2	Electrocoagulación	66
3.2.2.1	Porcentaje de remoción de DQO y DBO.	66
3.2.2.2	Costos estimados de insumos y equipos.	69
3.2.2.3	Área requerida.	69
3.2.2.4	Disponibilidad de materiales y equipos para la evaluación a escala laboratorio	70
3.2.3	Tratamiento biológico	71
3.2.3.1	Porcentaje de remoción de DQO y DBO	71
3.2.3.2	Costos estimados de insumos y equipos	71
3.2.3.3	Área requerida.	73



3.2.3.4 Disponibilidad de materiales y equipos para la evaluación a escala laboratorio	73
3.2.4 Ozonización	75
3.2.4.1 Porcentaje de reducción de DQO y DBO	75
3.2.4.2 Costos estimados de insumos y equipos	76
3.2.4.3 Área requerida.	78
3.2.4.4 Disponibilidad de materiales y equipos para la evaluación a escala laboratorio.	79
3.3 MATRIZ DE PRIORIZACIÓN	79
4. DESARROLLO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	84
4.1 REACTIVOS Y EQUIPO	84
4.2 MUESTREO	86
4.3 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	87
4.3.1 Metodología	87
4.3.2 Prueba de jarras 1	88
4.3.3 Prueba de jarras 2	89
4.3.4 Prueba de jarras 3	89
4.3.5 Prueba de jarras 4	90
4.3.6 Prueba de jarras 5	91
4.3.7 Determinación del pH recomendado	93
4.3.8 Prueba de jarras 6	94
4.3.9 Prueba de jarras 7	95
4.3.10 Prueba de jarras 8	98
5. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA PROPUESTA DE MEJORA	102
5.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	102
5.2 DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS	102
5.2.1 Tanque de igualamiento	102
5.2.2 Unidad de coagulación	107
5.2.3 Unidad de floculación	110
5.2.4 Sedimentador	117

5.2.5 Disposición de lodos	121
5.3 VARIABLES DE OPERACIÓN	123
5.3.1 Temperatura	123
5.3.2 pH	123
5.3.3 Velocidad de agitación y Tiempo de mezcla	123
5.3.4 Dosificación de coagulante	124
5.3.5 Dosificación de floculante	124
5.4 DIAGRAMA DE FLUJO Y BALANCE DE MATERIA	125
6. EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA PROPUESTA	128
6.1 COSTOS DE INVERSIÓN	128
6.2 COSTOS DE OPERACIÓN	129
6.2.1 Materias primas e insumos	129
6.2.2 Costos de servicios	130
6.2.3 Costos de Caracterizaciones	130
6.2.4 Costos de mantenimiento	130
6.3 CÁLCULO DE LA TASA INTERNA DE OPORTUNIDAD (TIO)	131
6.4 CÁLCULO DE MULTAS POR INFRACCIÓN A LA NORMATIVIDAD AMBIENTAL	131
6.5 FLUJO DE CAJA SIN PROYECTO	134
6.6 FLUJO DE CAJA CON PROYECTO	136
7. CONCLUSIONES	138
8. RECOMENDACIONES	140
BIBLIOGRAFÍA	141
ANEXO	145

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
<b>Figura 1.</b> Diagrama de procesos de la PTAR.	46
<b>Figura 2.</b> Trampa de grasas.	47
<b>Figura 3.</b> Tanque equalizador.	47
<b>Figura 4.</b> Tanque neutralizador de pH.	48
<b>Figura 5.</b> Reactor biológico.	49
<b>Figura 6.</b> Tanques de fosfato.	49
<b>Figura 7.</b> Tanques de urea.	50
<b>Figura 8.</b> Clarificador.	50
<b>Figura 9.</b> Planta piloto de estudio de tratamiento biológico de efluentes.	74
<b>Figura 10.</b> Proceso de ozonización industrial.	78
<b>Figura 11.</b> Esquema del sistema de ozonización.	79
<b>Figura 12.</b> Muestreo puntual en la Fábrica de Chocolates Triunfo S.A.	87
<b>Figura 13.</b> Muestra de agua cruda.	88
<b>Figura 14.</b> Muestra de agua cruda prueba 3. Izquierda: Exp. 1, centro: Exp. 2 y Derecha: Exp. 3.	90
<b>Figura 15.</b> Muestra después del test de jarras de la prueba 3. Izquierda: Exp. 1, centro: Exp. 2 y Derecha: Exp. 3.	90
<b>Figura 16.</b> Muestra de agua después del test de jarras de la prueba 4. Izquierda: Exp. 1, centro: Exp. 2 y Derecha: Exp. 3.	91
<b>Figura 17.</b> Muestra de agua después del test de jarras de la prueba 5. Izquierda: Exp. 1, centro: Exp. 2, derecha: Exp. 3, abajo izquierda: Exp. 4 y abajo derecha: Exp. 5.	93
<b>Figura 18.</b> Muestra de agua después del test de jarras de la prueba 6. Izquierda: Exp. 1, centro: Exp. 2 y Derecha: Exp. 3.	95
<b>Figura 19.</b> Muestra de agua antes y después del tratamiento con 40 ml de coagulante al 1%.	96
<b>Figura 20.</b> Dimensiones del tanque de almacenamiento cónico.	104
<b>Figura 21.</b> Esquema de la unidad de coagulación.	107
<b>Figura 22.</b> Diseño del floculador hidráulico de flujo horizontal. Arriba: Vista corte lateral. Abajo: Vista superior.	116

<b>Figura 23.</b> Diseño del sedimentador horizontal. Arriba: Vista corte lateral. Abajo: Vista superior.	120
<b>Figura 24.</b> Filtro prensa modelo KKA-470-6AC-CMAN.	123

## LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
<b>Gráfica 1.</b> Valores de la demanda biológica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) en caracterizaciones históricas de la PTAR.	53
<b>Gráfica 2.</b> Valores de la demanda química de oxígeno (DQO) en caracterizaciones históricas de la PTAR.	54
<b>Gráfica 3.</b> Valores de fenoles en caracterizaciones históricas de la PTAR.	55
<b>Gráfica 4.</b> Valores de la concentración de grasas y aceites en caracterizaciones históricas de la PTAR.	56
<b>Gráfica 5.</b> Valores de pH en caracterizaciones históricas de la PTAR.	57
<b>Gráfica 6.</b> Valores de SAAM en caracterizaciones históricas de la PTAR.	58
<b>Gráfica 7.</b> Valores de sólidos sedimentables en caracterizaciones históricas de la PTAR.	59
<b>Gráfica 8.</b> Valores de sólidos suspendidos totales en caracterizaciones históricas de la PTAR.	60
<b>Gráfica 9.</b> Valores de temperatura (°C) en caracterizaciones históricas de la PTAR.	61
<b>Gráfica 10.</b> Concentración de DQO en función del tiempo aplicando la electrocoagulación continua.	67
<b>Gráfica 11.</b> Concentración de DQO en función del tiempo aplicando la electrocoagulación con un pH de 10.	68
<b>Gráfica 12.</b> Porcentaje de reducción de la DQO en función del tiempo aplicando la electrocoagulación con un pH de 10.	68
<b>Gráfica 13.</b> Porcentaje de remoción de DQO vs. dosificación de ozono.	75
<b>Gráfica 14.</b> Variación del costo operacional con la demanda química de oxígeno en el tratamiento de aguas residuales de la industria de aceite de oliva.	77
<b>Gráfica 15.</b> Determinación del pH recomendado del hidroxiclورو de aluminio.	94
<b>Gráfica 16.</b> Turbiedad final en función de la dosis de coagulante de la prueba 8.	99
<b>Gráfica 17.</b> Diagrama de masa para la determinación del volumen de igualamiento.	103

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Características de rejillas de barras.	32
<b>Tabla 2.</b> Registro de valores de la demanda biológica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) en caracterizaciones históricas de la PTAR.	52
<b>Tabla 3.</b> Registro de valores de la demanda química de oxígeno (DQO) en caracterizaciones históricas de la PTAR.	54
<b>Tabla 4.</b> Registro de valores de fenoles en caracterizaciones históricas de la PTAR.	55
<b>Tabla 5.</b> Registro de valores de la concentración de grasa y aceites en caracterizaciones históricas de la PTAR.	56
<b>Tabla 6.</b> Registro de valores de pH en caracterizaciones históricas de la PTAR.	57
<b>Tabla 7.</b> Registro de valores de sustancias activas al azul de metileno (SAAM) en caracterizaciones históricas de la PTAR.	58
<b>Tabla 8.</b> Registro de valores de sólidos sedimentables en caracterizaciones históricas de la PTAR.	59
<b>Tabla 9.</b> Registro de valores de sólidos suspendidos totales en caracterizaciones históricas de la PTAR.	60
<b>Tabla 10.</b> Registro de valores de temperatura (°C) en caracterizaciones históricas de la PTAR.	61
<b>Tabla 11.</b> Caracterización del agua residual en la aplicación de coagulación-floculación con PAC y tratamiento biológico en pruebas de laboratorio.	64
<b>Tabla 12.</b> Estimación de costos de insumos y equipos del tratamiento de coagulación- floculación.	64
<b>Tabla 13.</b> Estimación de costos de equipos del tratamiento de electrocoagulación para 1 m <sup>3</sup> /h.	69
<b>Tabla 14.</b> Especificaciones del equipo portátil piloto de electrocoagulación.	70
<b>Tabla 15.</b> Comparación del agua residual proveniente de la PTAR y el efluente del reactor.	71
<b>Tabla 16.</b> Resumen de Dimensiones.	73
<b>Tabla 17.</b> Listado de costos de equipos.	128
<b>Tabla 18.</b> Costos de insumos.	129

<b>Tabla 19.</b> Costos de servicios.	130
<b>Tabla 20.</b> Costo de caracterización del agua residual.	130
<b>Tabla 21.</b> Costo anual actual de energía.	135
<b>Tabla 22.</b> Costo anual actual de insumos.	135

## LISTA DE CUADROS

	pág.
<b>Cuadro 1.</b> Principales procesos de tratamiento biológico.	35
<b>Cuadro 2.</b> Costo de equipos principales y materiales para implementación del tratamiento Biológico.	72
<b>Cuadro 3.</b> Costos anuales de energía y operación.	72
<b>Cuadro 4.</b> Variación del tiempo de reacción de ozono y reducción de DBO.	76
<b>Cuadro 5.</b> Estimación de costos de insumos y equipos del tratamiento de ozonización.	77
<b>Cuadro 6.</b> Coagulantes y floculantes utilizados en el desarrollo experimental.	84
<b>Cuadro 7.</b> Equipos utilizados en el desarrollo experimental del tratamiento de coagulación- floculación.	85
<b>Cuadro 8.</b> Condiciones del tratamiento coagulación- floculación utilizadas en el desarrollo experimental.	88
<b>Cuadro 9.</b> Dosificaciones y resultados del test de jarras en la prueba 2.	89
<b>Cuadro 10.</b> Dosificaciones y resultados del test de jarras en la prueba 3.	89
<b>Cuadro 11.</b> Dosificaciones y resultados del test de jarras en la prueba 4.	91
<b>Cuadro 12.</b> Dosificaciones y resultados del test de jarras en la prueba 5.	92
<b>Cuadro 13.</b> Dosificaciones y resultados del test de jarras en la prueba 6.	95
<b>Cuadro 14.</b> Dosificaciones y resultados del test de jarras en la prueba 7.	96
<b>Cuadro 15.</b> Caracterización del agua residual de la Fábrica de Chocolates Triunfo S.A. 19 de julio de 2017.	97
<b>Cuadro 16.</b> Caracterización del agua residual de la Fábrica de Chocolates Triunfo S.A. el 29 de septiembre de 2017.	97
<b>Cuadro 17.</b> Dosificaciones y resultados del test de jarras de la prueba 8.	98
<b>Cuadro 18.</b> Caracterización del agua residual de la Fábrica de Chocolates Triunfo S.A. – 9 de octubre del 2017.	99
<b>Cuadro 19.</b> Escenario 1, porcentajes de remoción del tratamiento fisicoquímico obtenidos en la primera caracterización del 19 de julio de 2017.	100
<b>Cuadro 20.</b> Escenario 1, porcentajes de remoción del tratamiento fisicoquímico obtenidos en la caracterización del 9 de octubre de 2017.	101
<b>Cuadro 21.</b> Escenario 2, porcentajes de remoción del tratamiento fisicoquímico obtenidos en la caracterización del 19 de julio de 2017.	101



<b>Cuadro 22.</b> Escenario 2, porcentajes de remoción del tratamiento fisicoquímico obtenidos en la caracterización del 9 de octubre de 2017.	101
<b>Cuadro 23.</b> Cálculo del volumen de igualamiento.	103
<b>Cuadro 24.</b> Sumario de las especificaciones del tanque de igualamiento.	106
<b>Cuadro 25.</b> Especificaciones de las bombas.	109
<b>Cuadro 26.</b> Sumario de las especificaciones de la unidad de floculación.	116
<b>Cuadro 27.</b> Sumario de las especificaciones de la unidad de sedimentación.	120
<b>Cuadro 28.</b> Características del filtro prensa modelo KKA-470-6AC-CMAN.	122
<b>Cuadro 29.</b> Totalización de los costos de operación anuales.	130
<b>Cuadro 30.</b> Clasificación de la importancia de afectación.	133
<b>Cuadro 31.</b> Flujo de caja sin proyecto.	136
<b>Cuadro 32.</b> Flujo de caja con proyecto.	136
<b>Cuadro 33.</b> Flujo de caja diferencial.	137
<b>Cuadro 34.</b> Determinación de la relación beneficio costo.	137

## LISTA DE ECUACIONES

	pág.
<b>Ecuación 1.</b> Necesidad de aireación.	105
<b>Ecuación 2.</b> Caudal de aire.	105
<b>Ecuación 3.</b> Número de difusores.	106
<b>Ecuación 4.</b> Capacidad de agitación.	106
<b>Ecuación 5.</b> Ecuación de Bernoulli.	107
<b>Ecuación 6.</b> Pérdidas en tubería.	107
<b>Ecuación 7.</b> Ecuación de Torricelli.	108
<b>Ecuación 8.</b> Velocidad en el punto B	108
<b>Ecuación 9.</b> Altura útil.	108
<b>Ecuación 10.</b> Potencia requerida por la bomba.	109
<b>Ecuación 11.</b> Número de Reynolds.	110
<b>Ecuación 12.</b> Tiempo de mezcla rápida.	110
<b>Ecuación 13.</b> Velocidad de flujo dentro del floculador.	111
<b>Ecuación 14.</b> Longitud total recorrida en el floculador.	111
<b>Ecuación 15.</b> Volumen de agua a mezclar.	111
<b>Ecuación 16.</b> Área transversal del canal.	112
<b>Ecuación 17.</b> Profundidad del agua en el floculador.	112
<b>Ecuación 18.</b> Altura del tanque floculador.	113
<b>Ecuación 19.</b> Espacio libre.	113
<b>Ecuación 20.</b> Longitud efectiva del tanque.	113
<b>Ecuación 21.</b> Número de canales.	113
<b>Ecuación 22.</b> Longitud total interior de la cámara de floculación.	114
<b>Ecuación 23.</b> Ecuación de Manning.	114
<b>Ecuación 24.</b> Pérdida adicional en el floculador.	114
<b>Ecuación 25.</b> Pérdida total en el floculador.	115
<b>Ecuación 26.</b> Gradiente de velocidad del floculador.	115
<b>Ecuación 27.</b> Número adimensional de Camp.	115
<b>Ecuación 28.</b> Volumen del sedimentador.	117
<b>Ecuación 29.</b> Área superficial del sedimentador.	118

<b>Ecuación 30.</b> Ancho del sedimentador.	118
<b>Ecuación 31.</b> Longitud del sedimentador.	118
<b>Ecuación 32.</b> Profundidad del agua en el sedimentador.	118
<b>Ecuación 33.</b> Velocidad de flujo en el sedimentador.	119
<b>Ecuación 34.</b> Longitud del vertedero de salida.	119
<b>Ecuación 35.</b> Volumen de lodo.	121
<b>Ecuación 36.</b> Masa diaria de lodo.	121
<b>Ecuación 37.</b> Volumen diario de lodo.	121
<b>Ecuación 38.</b> Porcentaje de lodo diario.	121
<b>Ecuación 39.</b> Volumen a dosificar de coagulante.	124
<b>Ecuación 40.</b> Volumen a dosificar de floculante.	124
<b>Ecuación 41.</b> Tasa interna de oportunidad.	131
<b>Ecuación 42.</b> Multa.	131
<b>Ecuación 43.</b> Beneficio ilícito.	132
<b>Ecuación 44.</b> Importancia de afectación ambiental.	132
<b>Ecuación 45.</b> Grado de afectación ambiental.	133
<b>Ecuación 46.</b> Factor de temporalidad.	133
<b>Ecuación 47.</b> Valor presente neto	137

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
<b>Anexo A.</b> Caracterizaciones	144
<b>Anexo B.</b> Fichas técnicas de las sustancias químicas	148
<b>Anexo C.</b> Diagrama de flujo del test de jarras	155
<b>Anexo D.</b> Especificaciones de los equipos	168
<b>Anexo E.</b> Cotización de los equipos e insumos	178
<b>Anexo F.</b> Preparación de soluciones	184

## LISTA DE ABREVIATURAS

- PTAR:** planta de tratamiento de aguas residuales
- DBO:** demanda bioquímica de oxígeno
- DQO:** demanda química de oxígeno
- NTU:** número de unidades de turbiedad
- PAC:** hidroxiclорuro de aluminio
- ARD:** aguas residuales domésticas
- ARnD:** aguas residuales no domésticas
- OD:** oxígeno disuelto
- SSLM:** sólidos en suspensión en licor de mezcla
- PGPR:** polirricinoleato de poliglicerol
- MAT:** materia
- RES:** resolución
- SAAM:** sustancias activas al azul de metileno
- SSED:** sólidos sedimentables
- SST:** sólidos suspendidos totales
- MPN:** número más probable
- NPT:** rosca nacional de tubos
- NFPA:** Asociación Nacional de Protección contra el Fuego

## LISTADO DE CONVENCIONES

**A/M:** relación aire/materia orgánica

**%Red:** porcentaje de reducción de DQO y DBO según la literatura

**Cost:** costos de materiales y equipos

**Área:** área requerida

**Lab:** disponibilidad de materiales y equipos para la evaluación a escala laboratorio

**CF:** coagulación-floculación

**EC:** electrocoagulación

**TB:** tratamiento biológico

**OZ:** ozonización

**FP:** factor de ponderación

**OP:** peso de la opción

**PF:** puntaje final

## GLOSARIO

**AFLUENTE:** curso de agua residual u otro tipo de líquido que ingrese a un reservorio o a algún proceso de tratamiento de aguas.

**AGLOMERACIÓN:** es la acción de congregar la materia suspendida dispersa en porciones mayores que se sedimentan rápidamente.

**AGUA CRUDA:** agua residual que no ha pasado por un tratamiento.

**AGUA RESIDUAL:** agua que contiene material disuelto y en suspensión, luego de ser usada por alguna industria.

**AZÚCAR SULFITADO:** azúcar blanco que ha sido sometido a un proceso de purificación química, haciendo pasar a través del jugo de caña el gas  $\text{SO}_2$  obtenido por combustión del azufre.

**CARGA ORGÁNICA:** es el resultado del producto de la concentración media de DBO por el caudal medio determinado en el mismo sitio, expresado en kg/día.

**DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO):** medida indirecta del contenido de materia orgánica biodegradable. También se define como la cantidad de oxígeno en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en función del tiempo (5 días), y temperatura especificados ( $20^\circ\text{C}$ ).

**DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO):** cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual.

**EFLUENTE:** agua o cualquier otro líquido que sale de algún proceso de tratamiento.

**FASE ENDÓGENA:** fase de la curva de crecimiento de los microorganismos, donde estos son forzados a metabolizar su propio protoplasma debido a la disminución en la concentración de alimento.

**HOMOGENEIZACIÓN:** operación unitaria usada para evitar descargas violentas y la heterogeneidad de la calidad del desecho.

**LODOS ACTIVADOS:** proceso de tratamiento biológico de aguas residuales en un ambiente aerobio, donde las aguas residuales son aireadas en un tanque por medio de unos difusores de aire que contiene alta concentración de microorganismos.

**MUESTRA PUNTUAL:** muestra tomada al azar y en una hora determinada para el examen de los parámetros del agua que no pueden preservarse.

**NEGRO DE ERIOCROMO T (NET):** es un indicador característico de iones metálicos que se utiliza en la valoración de diversos cationes comunes.

**OXÍGENO DISUELTO:** concentración de oxígeno en el agua residual, debajo de la saturación. Esta expresado en mg/L.

**SEDIMENTACIÓN:** proceso mediante el cual la materia orgánica o la materia putrescible precipita.

**TRATAMIENTO PRIMARIO:** tratamiento en el cual se remueve una porción de los sólidos suspendidos y la materia orgánica del agua residual.

**TRATAMIENTO SECUNDARIO:** tratamiento encargado directamente de la remoción de la materia orgánica y los sólidos suspendidos.



## RESUMEN

Para realizar una propuesta de mejora en la planta de tratamiento de aguas residuales de la Fábrica de Chocolates Triunfo S.A. se analizaron las caracterizaciones históricas de cada uno de los parámetros del agua y un diagnóstico del estado actual en el que opera la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), con el fin de determinar las alternativas de tratamientos adicionales que se podrían aplicar; dichas alternativas fueron coagulación-floculación, electrocoagulación, ozonización y tratamiento biológico adicional. A partir de la evaluación de cinco criterios (porcentaje de remoción, costos estimados de insumos y equipos, área requerida, disponibilidad de materiales y equipos para la evaluación a escala laboratorio) se realizó la selección de coagulación-floculación como la mejor alternativa por medio de una matriz de selección.

Luego se evaluó a nivel laboratorio la alternativa escogida, seleccionando el coagulante con mejores resultados, determinando las condiciones de operación y la dosificación de coagulante y floculante, utilizando el porcentaje de remoción de turbiedad como medida de eficiencia.

Se realizaron dos caracterizaciones al agua residual en laboratorios externos en periodos de baja (mayo-julio) y alta producción (octubre-febrero), donde se midieron los parámetros de DQO y DBO<sub>5</sub> con y sin la aplicación del tratamiento fisicoquímico, obteniendo en la caracterización realizada en el periodo de baja producción un porcentaje de remoción del 59,5% para la DQO y del 74,35% para la DBO<sub>5</sub> cumpliendo así con la resolución 0631, en cambio en la caracterización realizada en el periodo de alta producción, con un porcentaje de remoción del 40,12% para la DQO y del 40,9% para la DBO<sub>5</sub>, no alcanza a cumplir con la resolución.

Posteriormente se elabora el diseño conceptual de la propuesta de mejora partiendo de los datos recopilados del desarrollo experimental y se realiza un análisis financiero de la propuesta utilizando la relación beneficio/costo y el valor presente neto (VPN) como medidas de factibilidad del proyecto.

**Palabras clave:** tratamiento de aguas, agua residual, tratamiento fisicoquímico, demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), demanda química de oxígeno (DQO).

## INTRODUCCIÓN

LA FÁBRICA DE CHOCOLATES TRIUNFO S.A., ubicada en la carrera 68B # 10-10 en la ciudad de Bogotá, es una empresa dedicada a la producción de alimentos, especializada en las líneas de chocolate, caramelo y grajeados. La empresa utiliza el agua dentro de sus procesos con fines de limpieza de equipos, áreas de producción y elaboración de productos, generando aguas residuales que requieren ser tratadas antes de ser vertidas al alcantarillado público. Con este fin, se implementó una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en el 2005 por la empresa Protón que consta de un sistema de rejillas, trampa de grasas, equalizador, neutralizador de pH, clarificador y un reactor biológico aerobio de lodos activados. Actualmente la planta de tratamiento de aguas cubre el 100% del efluente del agua residual proveniente del proceso de producción y se encuentra en funcionamiento 10 horas al día recibiendo un caudal entre 0,0792 L/s y 0,308 L/s.

De acuerdo a la última caracterización del agua realizada el 25 de abril de 2016 por la empresa CONOSER LTDA. se realizó un muestreo en la trampa de grasas y a la salida del reactor biológico, empleando el método de incubación 5 días para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y el método de reflujos cerrados para la demanda química de oxígeno (DQO), obteniendo un porcentaje de remoción del 92%, el cual no es suficiente para cumplir los requerimientos de vertimientos establecidos en el Artículo 12 y 16 de la Resolución 0631 del 17 de marzo del 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, debido a que se establece como límite máximo 900 mg/L O<sub>2</sub> de DQO y 600 mg/L O<sub>2</sub> para DBO y el efluente de la PTAR contiene valores de 1090 mg/L O<sub>2</sub> de DBO y 3360 mg/L O<sub>2</sub> de DQO.

Debido al incumplimiento de esta resolución se requiere evaluar alternativas que reduzcan los niveles de DQO y DBO como complemento al tratamiento biológico y generar una propuesta para dar solución al problema que está perjudicando a la empresa y al medio ambiente; para esto se pueden tomar posibles medidas como la tercerización de las aguas residuales, realizar un ajuste a la PTAR con la que cuenta la empresa o implementar etapas adicionales a la misma. En caso de no ser así, la empresa puede ser sancionada con multas, revocatoria del permiso de vertimientos y en caso extremo el cierre de esta según la ley 1333 de 2009 del Congreso de la República.

El desarrollo de la presente propuesta de mejora, traerá como beneficio que la actual planta de tratamiento de agua residual cumpla con la nueva normatividad colombiana y evitar sanciones impuestas por los entes reguladores del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. También, se aminorará el impacto ambiental que genera este tipo de residuos.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar una propuesta de mejora de la PTAR para la reducción de la demanda química y biológica de oxígeno en la FÁBRICA DE CHOCOLATES TRIUNFO S.A.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Diagnosticar el estado actual del agua residual proveniente de los procesos de producción de la Fábrica de Chocolates Triunfo S.A.
2. Seleccionar el método para la disminución de la DQO y DBO del agua residual y evaluarlo por medio de un desarrollo experimental.
3. Realizar un diseño conceptual de la propuesta de mejora.
4. Realizar la evaluación financiera de la propuesta planteada.

# 1. MARCO DE REFERENCIA

## 1.1 MARCO TEÓRICO

Las aguas residuales se producen en todos los procesos que involucran la actividad humana, para tratarlas se necesita conocer las características físicas, químicas y biológicas de dicha agua y para disponerlas se requiere conocer la fuente receptora (alcantarillado o aguas superficiales).

**1.1.1 Clasificación de las aguas residuales.** Según Romero<sup>1</sup> las aguas residuales se clasifican conforme su procedencia en:

- Aguas residuales domésticas (ARD): Líquidos provenientes de viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales.
- Aguas residuales municipales: son residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y tratados en una planta de tratamiento municipal.
- Aguas residuales industriales: Residuos líquidos provenientes de las descargas de industrias de manufactura.
- Aguas negras: Residuos líquidos provenientes de inodoros, es decir, transportan excrementos humanos y orina.
- Aguas grises: Residuos líquidos provenientes de tinajas, duchas, lavamanos y lavadoras.

Según la Resolución 0631<sup>2</sup> las aguas residuales se clasifican en:

- Aguas residuales domésticas (ARD): Procedentes de los hogares, así como las de las instalaciones en las cuales se desarrollan actividades industriales, comerciales o de servicios y correspondan a:
  1. Descargas de los retretes y servicios sanitarios
  2. Descargas de los sistemas de aseo personal (duchas y lavamanos), de las áreas de cocinas y cocinetas, de las pocetas de lavado de elementos de aseo y lavado de paredes y pisos y de lavado de ropa (no incluyen la de los servicios de lavandería industrial).
- Aguas residuales no domésticas (ARnD): Son las procedentes de las actividades industriales, comerciales o de servicios distintas a las que constituyen aguas residuales domésticas.

---

<sup>1</sup> ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento De Aguas Residuales: Teoría y Principios De Diseño. 3 ed. Bogotá D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008. p. 17

<sup>2</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 0631 (17, marzo, 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 disposiciones. Bogotá D.C.: El ministerio, 2015. p. 62

El agua residual de los procesos de producción de la industria alimentaria. El agua residual de la industria alimentaria proviene de diversas fuentes como la limpieza y lavado de pisos, equipos y herramientas y dentro de los procesos de producción; según Qasim y Mane<sup>3</sup> el agua residual varía en su composición según la actividad productiva que se lleve a cabo, generalmente contiene altas concentraciones de carbohidratos, levaduras, sales orgánicas e inorgánicas, proteínas, grasas, aceites y productos de limpieza.

Usualmente se utilizan tratamientos biológicos en esta industria debido al alto contenido de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y se desempeñan sin complicaciones en la mayoría de casos, aumentando su eficiencia con un adecuado balance de nutrientes como fósforo y nitrógeno en el caso en que la fuente residual no los provea.

**1.1.2 Parámetros del agua residual de la industria alimentaria.** Las características de las aguas residuales varían según los productos fabricados en la industria alimentaria, su régimen de operación y su propósito específico. A partir de estas se valora la calidad del agua y se compara con los límites permisibles de vertimientos de la normatividad colombiana determinados por los siguientes parámetros:

- Acidez: es la capacidad cuantitativa del agua de neutralizar una base fuerte a un pH designado. Se origina por la presencia de dióxido de carbono libre, sales de ácidos fuertes y bases débiles y es importante para determinar la etapa de neutralización en el tratamiento
- Alcalinidad: es la capacidad cuantitativa del agua de neutralizar ácidos. Se puede generar por presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como calcio, magnesio, sodio, potasio o de amonio.
- Cloruros: “son una de las sales que están en mayor proporción en las fuentes de abastecimiento de aguas y de drenaje. Influye en el sabor del agua e interfieren en el ensayo de la DQO”<sup>4</sup>.
- Color: sirve como indicador del envejecimiento del agua siendo inicialmente de color gris y debido al tiempo de transporte por la red de alcantarillado y a que las condiciones sean próximas a las anaerobias se tornan de un color gris oscuro y luego negro. En aguas residuales industriales puede indicar el origen de la polución, así como el estado o deterioro de los procesos de tratamientos.
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar la materia orgánica biodegradable en

---

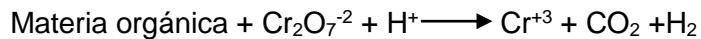
<sup>3</sup> QASIM, Wael y MANE, A. V. Characterization and treatment of selected food industrial effluents by coagulation and adsorption techniques. En: WATER RESOURCES AND INDUSTRY. December 2013. vol. 4, no. Supplement C, p. 1-12

<sup>4</sup> ROMERO ROJAS, Tratamiento De Aguas Residuales: Teoría y Principios De Diseño, Op. cit. p. 38.

condiciones aerobias. Es un parámetro utilizado para medir la calidad del agua residual y superficial, diseñar unidades de tratamiento biológico y evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento. “En condiciones normales de laboratorio, esta demanda se cuantifica a 20°C, el ensayo estándar se realiza a cinco días de incubación y se conoce convencionalmente como DBO<sub>5</sub>, con valores numéricos expresados en mg/L O<sub>2</sub>.”<sup>5</sup>

- Demanda química de oxígeno (DQO): es la cantidad de oxígeno requerida para llevar a cabo la oxidación de materia orgánica presente en el agua.

Esta materia orgánica se oxida mediante reflujo cerrado de una solución ácida de dicromato de potasio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) en presencia de sulfato de plata (Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) como catalizador representado en la siguiente reacción:



Si existen compuestos no orgánicos, como los cloruros, estos pueden interferir con el ensayo, por tanto, se deben eliminar agregando sulfato mercuríco (HgSO<sub>4</sub>) para formar cloruro de mercurio (II) HgCl<sub>2</sub><sup>6</sup>.

- Fenoles: compuestos aromáticos que se consideran no biodegradables y poseen una alta demanda de oxígeno.
- Fósforo: se encuentran en aguas naturales y residuales como fosfatos, los cuales se clasifican en ortofosfatos, fosfatos condensados (piro-, meta-, y otros polifosfatos) y fosfatos orgánicos y contribuyen al crecimiento indeseable de algas en las aguas superficiales.
- Grasas y aceites: son compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos, son comúnmente biodegradables y según su concentración pueden ser tratadas en plantas de tratamiento biológico o ser removidos antes de estas.
- Metales pesados: cualquier catión que tenga un peso atómico superior a 23 u se considera un metal pesado presente en las aguas residuales. Requiere un pretratamiento para permitir su descarga al alcantarillado. “En general se considera tóxica para el tratamiento biológico una concentración de metales pesados mayor de 2 mg/L”<sup>7</sup>
- Nitrógeno: es un elemento presente en las aguas residuales para el crecimiento de microorganismos. Es importante en el tratamiento biológico para determinar si se requiere de la adición de nitrógeno como nutriente o la remoción de este cuando hay eutrofización.
- Olor: las aguas residuales industriales tienen olores característicos específicos dependiendo del proceso industrial del cual provienen. El olor constituye una de las principales objeciones ambientales debido a los problemas que causan. Los

---

<sup>5</sup> ROMERO ROJAS, Tratamiento De Aguas Residuales: Teoría y Principios De Diseño, Op. cit. p. 38.

<sup>6</sup> Ibid., p. 60-61.

<sup>7</sup> Ibid., p. 62.

principales compuestos que causan olores desagradables son: ácido sulfhídrico, aminas, amoníaco, diaminas, mercaptanos, sulfuros orgánicos y escatol.

- Oxígeno disuelto (OD): gas de baja solubilidad en el agua, requerido para la vida acuática aerobia. Las concentraciones de OD en tratamientos biológicos aerobios y aguas receptoras son aspectos importantes en el diseño, operación y evaluación de plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Potencial de hidrógeno (pH): mide la concentración de ion hidrógeno en el agua, expresada como el logaritmo negativo de la concentración molar de ion hidrógeno. En aguas residuales con un pH menor a 6 se favorece el crecimiento de hongos sobre las bacterias en tratamientos biológicos. El valor de pH adecuado para diferentes procesos de tratamiento y para la existencia de la mayoría de la vida biológica puede ser restrictivo y crítico, pero generalmente es de 6,5 a 8,5.
- Sólidos: el contenido de sólidos del agua afecta directamente la cantidad de lodo que se produce en el sistema de tratamiento o disposición. Según Romero<sup>8</sup> se clasifican en:
  - Sólidos totales: es el residuo de evaporación y secado a 103 - 105 °C.
  - Sólidos sedimentables: medida del volumen de sólidos asentados al fondo de un cono *Inhoff*, en un periodo de 1 hora.
  - Sólidos disueltos: representan el material soluble y coloidal el cual requiere para su remoción oxidación biológica o coagulación y sedimentación.
  - Sólidos suspendidos: es la diferencia entre sólidos totales de la muestra no filtrada y la muestra filtrada.
  - Sólidos volátiles: fracción orgánica de sólidos que se volatilizan a temperaturas alrededor de los 550 °C.
- Sulfatos: ion común en aguas residuales que en condiciones anaerobias origina problemas de olor y corrosión en alcantarillas.
- Sulfuros: gas incoloro producido por la reducción biológica de sulfatos y la descomposición de materia orgánica. Genera un olor desagradable y corrosión.
- Temperatura: parámetro importante por su efecto sobre las características del agua, las operaciones y procesos de tratamiento, así como el método de disposición final.
- Turbiedad: medida óptica del material suspendido en el agua. En aguas residuales es un factor importante de control de calidad.
- Dureza: es la suma de las concentraciones de todos los cationes metálicos excepto los alcalinos Na y K, presentes en el agua en forma de carbonatos, cloruros y sulfatos. Generalmente se expresa como dureza cálcica y como dureza magnésica, según la presencia de elementos metálicos representativos en el cuerpo de agua.

---

<sup>8</sup> ROMERO ROJAS, Tratamiento De Aguas Residuales: Teoría y Principios De Diseño, Op. cit. p. 62.

**1.1.3 Tratamientos del agua residual.** La selección de los tratamientos depende de ciertos factores<sup>9</sup> como las características del agua (DBO, DQO, pH, cloruros, entre otros.), la composición (proteínas, metales pesados, grasas y aceites, sólidos, etc.), requerimientos del vertimiento, disponibilidad y costos del terreno, consideración de una futura ampliación o ajuste de los límites de calidad en las normas.

**1.1.4 Pretratamiento o tratamientos primarios.** Los tratamientos primarios consisten en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como objetivo la reducción de los sólidos en suspensión y el acondicionamiento del agua para pasar a un tratamiento secundario. Según Ramalho<sup>10</sup> los tipos de pretratamiento son:

- **Cribado o desbrozo:** Es la operación para reducir los sólidos en suspensión de distintos tamaños por medio de rejillas que se pueden clasificar como gruesas o finas según el tamaño de la abertura o como manual o mecánica de acuerdo al método de limpieza.

**Tabla 1.** Características de rejillas de barras.

Características	De limpieza manual	De limpieza mecánica
<b>Ancho de las barras</b>	0,5 – 1,5 cm	0,5 – 1,5 cm
<b>Profundidad de las barras</b>	2,5 – 7,5 cm	2,5 – 7,5 cm
<b>Abertura o espaciamiento</b>	2,5 – 5,0 cm	1,5 – 7,5 cm
<b>Pendiente con la vertical</b>	30° - 45°	0° - 30°
<b>Velocidad de acercamiento</b>	0,3 – 0,6 m/s	0,6 – 1 m/s
<b>Perdida de energía permisible</b>	15 cm	15 cm

**Fuente:** METCALF & EDDY Inc. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse, citado por ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento De Aguas Residuales: Teoría y Principios De Diseño. 3 ed. Bogotá D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008. p. 288.

Las plantas de tratamiento de aguas industriales pueden o no requerir rejillas, según la característica de los residuos.

- **Sedimentación:** es un proceso físico que utiliza la gravedad para separar partículas suspendidas y materia orgánica del agua. Los tanques de sedimentación pueden ser rectangulares o circulares dependiendo de las partículas a sedimentar.
- **Flotación:** es un proceso que se utiliza para separar las emulsiones y las partículas sólidas presentes en el agua, mediante pequeñas burbujas de un gas,

<sup>9</sup> RAMALHO, Rubens Sette, *et al.* Tratamiento De Aguas Residuales. Barcelona: Editorial Reverté, 1996. p. 91.

<sup>10</sup> *Ibid.*, p. 91-197.



generalmente aire, el cual adhieren las partículas suspendidas disminuyendo su densidad y haciendo que floten y se puedan separar fácilmente.

- **Neutralización:** es el ajuste de pH en un rango cercano a 7, se utiliza con el fin de proteger fuentes receptoras de descargas alcalinas o ácidas fuertes, o para permitir el pos tratamiento de dichos residuos.
- **Desarenadores:** se usan para remover arena, grava, partículas u otro material sólido pesado que tenga velocidad de asentamiento mayor que el de los sólidos orgánicos degradables de las aguas residuales con el objetivo de proteger los equipos y tuberías del desgaste y la depositación de estos.
- **Aireación:** consiste en proporcionar oxígeno disuelto con el fin de asegurar un suministro apropiado para el consumo de los microorganismos en el tratamiento biológico aerobio, remover sustancias volátiles como dióxido de carbono, ácido sulfhídrico, metano, cloro, amoníaco y compuestos orgánicos volátiles.

### Coagulación y floculación

Son procesos físicoquímicos que se llevan a cabo en tratamientos de mejoramiento, usualmente en los casos donde la sedimentación por acción de la gravedad no es suficiente para eliminar la materia en suspensión y se requiere agregar partículas con el fin de aumentar su tamaño y que decanten fácilmente. Estos procesos que intervienen en la agregación son la coagulación y floculación.

La coagulación es el proceso de desestabilización química de las partículas al agregarle un coagulante, mientras que la floculación es el proceso de aglomeración de las partículas desestabilizadas en partículas de mayor tamaño que se puedan sedimentar.

Según LaMer<sup>11</sup> la coagulación es la desestabilización producida por compresión de las dobles capas eléctricas que rodean a todas las partículas coloidales y la floculación la define como la desestabilización por la adsorción de polímeros orgánicos y formación posterior de puentes partícula-polímero-partícula.

Los coagulantes químicos llevan a cabo la desestabilización de los coloides por diferentes caminos, dependiendo de las condiciones de aplicación los materiales pueden alcanzar la desestabilización por más un método. Según Bessa y Weber<sup>12</sup> hay cuatro mecanismos de desestabilización: Comprensión de la capa difusiva, adsorción para producir neutralización de la carga, inmersión dentro de un precipitado y absorción que permita un enlace tipo puente entre partículas. En los tratamientos de aguas residuales probablemente se lleva a cabo por adsorción de especies coagulantes o inmersión dentro de un precipitado. “Los factores que influyen en la coagulación y en la dosificación son el pH, turbiedad, sales disueltas,

---

<sup>11</sup> WEBER, Walter J.; BESSA F., Jorge y AREAL G., Rogelio. Control De La Calidad Del Agua: Procesos Físicoquímicos. España: Editorial Reverté, 1979. p. 66.

<sup>12</sup> Ibid., p. 71.

temperatura del agua, tipo de coagulante utilizado, condiciones de mezcla, sistemas de aplicación de los coagulantes, tipos de mezcla y el color”<sup>13</sup>.

Los principales coagulantes utilizados en los tratamientos de aguas son las sales de aluminio y de hierro como: sulfato de aluminio, aluminato de sodio, cloruro de aluminio, cloruro férrico, sulfato férrico, sulfato ferroso y polielectrolitos. La selección y dosificación de un coagulante recomendado se determina únicamente mediante ensayos experimentales dependiendo del tipo de agua residual a tratar. Generalmente se utilizan ensayos como la prueba de jarras, la cual consiste en dosificar varias dosis de coagulantes alterando velocidades de mezclado con el fin de obtener el mejor coagulante y predecir el funcionamiento en una operación a gran escala.

**1.1.5 Tratamientos secundarios.** Los tratamientos secundarios son procesos biológicos en los que se remueven contaminantes biodegradables principalmente sustancias orgánicas convirtiéndolas en gas y en biomasa. Los microorganismos crecen utilizando los contaminantes del agua como fuente de carbono (sustrato) y/o como fuente de energía convirtiéndolos en biomasa, dióxido de carbono y otros compuestos inocuos. Según Ferrer y Seco<sup>14</sup> los tratamientos biológicos se clasifican en:

- Procesos biológicos de cultivo en suspensión: se recurre a una decantación y recirculación de la biomasa. Los sistemas más característicos son: fangos activados, lagunas aireadas y el lagunaje.
- Procesos biológicos de soporte sólido: se retiene la biomasa por las características del propio proceso. Los sistemas más característicos son los filtros percoladores, los biodiscos y los lechos de turba

En el siguiente cuadro se resumen los principales procesos de tratamiento biológico y su uso más importante.

---

<sup>13</sup> ANDÍA CÁRDENAS, Yolanda. Tratamiento de agua: Coagulación y floculación. Lima: SEDAPAL, 2000. p. 16.

<sup>14</sup> FERRER POLO, José y SECO TORRECILLAS, Aurora. Tratamientos Biológicos De Aguas Residuales. México: Alfaomega Grupo Editor, 2008. p. 9.

**Cuadro 1.** Principales procesos de tratamiento biológico.

Tipo	Crecimiento	Proceso	Uso principal
Aerobios	Suspendido	Lodos activados - convencional - mezcla completa - aireación escalonada - estabilización y contacto - oxígeno puro - tasa alta - aireación prolongada - proceso Krauss - zanjón de oxidación Lagunas aireadas Digestión aerobia Lagunas aerobias	Remoción de DBO y nitrificación  Remoción de DBO y nitrificación Remoción de DBO - estabilización Remoción de DBO y nitrificación
	Adherido	Filtros percoladores - tasa baja - tasa alta Torres biológicas Unidades rotatorias de contacto biológico Reactores de lecho fijo	Remoción de DBO y nitrificación  Remoción de DBO y nitrificación Remoción de DBO y nitrificación  Remoción de DBO y nitrificación
Anóxicos	Suspendido	Bardenpho	Remoción de DBO, N y P
	Adherido	Desnitrificación Desnitrificación	Remoción de nitrógeno Remoción de nitrógeno
Anaerobios	Suspendido	Digestión anaerobia	Remoción de DBO - estabilización
		Anaerobio de contacto	Remoción de DBO
	Híbrido	Lagunas anaerobias	Remoción de DBO - estabilización
		Manto de lodos – flujo Ascensional (PAMLA) o UASB	Remoción de DBO y SS
Adherido	Filtro anaerobio	Remoción de DBO - estabilización	
	Lecho expandido	Remoción de DBO - estabilización	

**Fuente:** ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento De Aguas Residuales: Teoría y Principios De Diseño. 3 ed. Bogotá D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008. p. 227.

### Lodos activados

Es un proceso estrictamente aerobio, en el cual, las aguas residuales fluyen en el tanque de aireación con un contenido de materia orgánica (DBO) como sustrato para las bacterias que van a metabolizar estos residuos produciendo nuevas bacterias, utilizando el oxígeno disuelto proporcionado por burbujas de aire que se crean mediante aire comprimido, a través de un difusor con aireación mecánica, y liberan dióxido de carbono. Según Romero<sup>15</sup> la comunidad de microorganismos

<sup>15</sup> ROMERO ROJAS, Tratamiento De Aguas Residuales: Teoría y Principios De Diseño, Op. cit., p. 423.

presentes en lodos activados depende de la naturaleza del suministro alimenticio, concentración de alimento, turbulencia, temperatura, tiempo de aireación y la concentración de lodos. Por lo tanto, muchos microorganismos presentes allí mueren al no estar en un medio adecuado. Estos microorganismos forman un floc biológico suspendido en la solución líquida de aguas residuales, que posteriormente pasan a un sedimentador para ser separadas obteniendo una corriente de floc microbial que será recirculado al tanque de aireación y otra corriente con el efluente clarificado con bajo contenido de materia orgánica.

El grado de tratamiento logrado en este proceso depende directamente de la sedimentación del lodo activado, dependiendo a su vez de la relación aire/ Materia orgánica (A/M). Según Romero<sup>16</sup> la más alta remoción de DBO se produce en los sistemas de aireación prolongada, concentraciones altas de sólidos en suspensión en licor de mezcla (SSLM) y relación A/M baja, debido a que los microorganismos operarían en la fase endógena de crecimiento, utilizando sus reservas alimenticias con mínima actividad, e incrementando la sedimentabilidad del lodo.

**1.1.6 Tratamientos terciarios.** Su objetivo es la eliminación de contaminantes remanentes y desinfectar las aguas resultantes de los dos tratamientos previos; en esta clasificación se encuentra procesos de membrana, ultrafiltración, microfiltración, ósmosis inversa, procesos redox, precipitación química, incineración, desinfección, entre otros.

## 1.2 MARCO CONCEPTUAL

**Agua residual:** es un líquido que ha sido utilizado en actividades de producción modificando sus características, propiedades y calidad.

**Industria alimentaria:** es una parte de la industria encargada de la elaboración, transformación, preparación y envasado de alimentos para el consumo humano.

**Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR):** es una instalación que contiene una serie de tratamientos para el agua residual de una empresa a la que se le retiran contaminantes para obtener agua de buena calidad que no afecte la salud y al medio ambiente al ser vertida en los cuerpos receptores de agua.

**Materia orgánica:** son compuestos orgánicos presentes en el agua residual. Las estructuras básicas están formadas de proteínas, carbohidratos, lípidos y azúcares.

**Métodos de tratamiento de aguas residuales:** son aquellos tratamientos en los que predominan fenómenos físicos, químicos y/o biológicos para la descontaminación de las aguas residuales.

---

<sup>16</sup> ROMERO ROJAS, Tratamiento De Aguas Residuales: Teoría y Principios De Diseño, Op. cit., p. 440-441.

**Caracterización del agua:** es el análisis de parámetros del agua residual los cuales proporcionan una amplia variedad de información sobre el tipo y concentración de contaminantes presentes en esta. Esto implica un programa de muestreo apropiado para asegurar la representatividad de la muestra y un análisis con las normas estándares que aseguren precisión y exactitud. Los parámetros analizados se escogen dependiendo del propósito de la caracterización.

**Límite permisible:** valor máximo de concentración de los parámetros del agua residual, determinado a través de métodos estandarizados y reglamentado por instituciones nacionales.

**Sustrato:** es un compuesto que puede ser empleado como fuente de carbono, energía o nutriente para los microorganismos que actúan en el tratamiento de lodos activados. Este sustrato es, generalmente, los contaminantes presentes en el agua residual.

**Efluente:** son las descargas residuales derivadas de distintos vertidos originados por distintos usos del agua industrial como lavados de áreas de producción, lavados de equipos de producción y procesos de elaboración de productos.

**Adsorción:** es la adhesión de una delgada capa de moléculas a la superficie de los líquidos o sólidos que entran en contacto con ella. Se utiliza para remover sustancias orgánicas, en el tratamiento terciario de aguas residuales, en la remediación del agua subterránea, entre otros.

**Proceso Anaerobio:** también llamado fermentación, es la descomposición u oxidación de compuestos orgánicos, en ausencia de oxígeno libre, utilizando como aceptores de electrones  $\text{CO}_2$  y sulfatos. El proceso anaerobio es menos eficiente en producción de energía generándose una cantidad de biomasa menor a la producida en el proceso aerobio.

**Proceso Aerobio:** es un proceso de respiración de oxígeno en el cual el oxígeno libre es el único aceptador final de electrones y es esencial para los organismos aerobios como agente oxidante de compuestos orgánicos en  $\text{CO}_2$ . Usualmente las bacterias juegan un papel importante en los tratamientos aerobios como lodos activados o filtros percoladores, por su excelente capacidad oxidadora de materia orgánica.

**Desinfección:** es el proceso de extracción, desactivación o eliminación de los microorganismos patógenos que existen en el agua. Si estos microorganismos no son eliminados, el agua no es potable y es susceptible de causar enfermedades.

**Imhof:** es un contenedor con forma de cono usado para medir el volumen de sólidos depositados en un volumen específico de agua.

**Eutrofización:** es el proceso de enriquecer el agua originando un crecimiento excesivo de plantas acuáticas y la incrementación de la actividad de microorganismos anaerobios.

**Biomasa:** es una mezcla de microorganismos y materia orgánica que se acumulan y se genera en los procesos de aguas residuales.

**Floc biológico:** está compuesto por millones de bacterias en crecimiento activo aglutinadas por una sustancia gelatinosa, con el fin de absorber la materia orgánica presente en el agua residual en el proceso de lodos activados.

**Laguna aireada:** es un depósito para el tratamiento de aguas que acelera la descomposición biológica de la materia orgánica estimulando el crecimiento y la actividad de las bacterias, que son responsables de la degradación.

**Lagunaje:** es una técnica biológica que consiste en depurar las aguas residuales en estanques impermeables con ayuda de microorganismos (algas o plantas acuáticas).

**Biodiscos:** es un conjunto de discos fijos adaptados en un tanque de concreto para realizar un proceso biológico aerobio utilizado en el tratamiento secundario de las aguas residuales, especialmente aquellas con alto contenido de materia orgánica (DBO).

**Membrana:** es una barrera semipermeable que permite el paso de algunos sólidos o líquidos a través de ella, determinado por el tamaño o la naturaleza de las partículas presentes en el agua residual.

**Parámetros del agua:** es el conjunto de datos imprescindibles en la caracterización del agua residual y son orientados para evaluar o valorar el estado del agua; éstos se miden con métodos estandarizados para asegurar la precisión y exactitud de los valores obtenidos.

**Normatividad ambiental:** conjunto de normas que establecen reglas o leyes que hace posible la relación del hombre con el ambiente.

### 1.3 MARCO LEGAL

**Resolución 0631 del 17 de marzo del 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 disposiciones.”<sup>17</sup>

---

<sup>17</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Op. cit., p. 1

**Ley 1333 del 2009:** según el Ministerio de Ambiente<sup>18</sup> esta ley establece los procedimientos sancionatorios ambientales y dicta otras disposiciones como la titularidad de la potestad sancionatoria, la imposición y ejecución de medidas preventivas garantizando la efectividad de los principios y fines previstos en la constitución y tratados internacionales.

**Ley 09 de 1979:** “establece normas generales que servirán de base a las disposiciones y reglamentaciones necesarias para preservar, restaurar y mejorar las condiciones sanitarias en lo que se relaciona a la salud humana, junto con los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de los descargos de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del Ambiente.”<sup>19</sup>

**Decreto 3930 DE 2010:** “establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el ordenamiento del recurso hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados.”<sup>20</sup>

**Resolución 2086 DE 2010:** “por la cual se adopta la metodología para la tasación de multas consagradas en el numeral 1° del artículo 40 de la ley 1333 del 21 de julio de 2009 y se toman otras determinaciones”<sup>21</sup>.

**NTC-ISO 5667-1:** “esta norma establece los principios generales que se deben aplicar en el diseño de programas de muestreo para los propósitos de control de calidad, la caracterización de la calidad, y la identificación de las fuentes de contaminación del agua, incluyendo los sedimentos y los lodos”<sup>22</sup>

**NTC-ISO 5667-2:** “esta norma constituye una guía sobre técnicas de muestreo utilizadas con el fin de obtener los datos necesarios para hacer análisis con

---

<sup>18</sup> COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 1333. (21, julio, 2009). Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2009. No. 47413. p. 1.

<sup>19</sup> COLOMBIA, CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 09. (24, enero, 1979). Por la cual se dictan medidas sanitarias. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 1979. p. 1.

<sup>20</sup> COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Decreto 3930. (25, octubre, 2010). Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2010. No. 47873. p. 1.

<sup>21</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2086 (25, octubre, 2010). Por la cual se adopta la metodología para la tasación de multas consagradas en el numeral 1° del artículo 40 de la ley 1333 del 21 de julio de 2009 y se toman otras determinaciones. Bogotá D.C.: El ministerio, 2010. p. 1.

<sup>22</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Gestión ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Directrices para el diseño de programas de muestreo. Bogotá: ICONTEC, 1995. 2 p.(NTC-ISO 5667-1)

propósitos de control de calidad, caracterización de la calidad e identificación de fuentes de contaminación del agua.”<sup>23</sup>

**NTC-ISO 5667-3:** “esta norma suministra directrices generales sobre las precauciones que se deben tomar para preservar y transportar muestras de agua, con excepción de las muestras biológicas.”<sup>24</sup>

**NTC 3903:** “esta norma establece un procedimiento general para determinar la dosis óptima de reactivo químico a utilizar con el fin de reducir del agua el material disuelto, en suspensión, coloidal y de difícil sedimentación, mediante los ensayos de coagulación, floculación y sedimentación por gravedad”<sup>25</sup>.

---

<sup>23</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Gestión ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas generales de muestreo. Bogotá: ICONTEC, 1995. 2 p.(NTC-ISO 5667-2)

<sup>24</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Calidad del agua. Muestreo. Parte 3: Directrices para la preservación y manejo de las muestras. Bogotá: ICONTEC, 2004. 2 p.(NTC-ISO 5667-3)

<sup>25</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Procedimiento para el ensayo de coagulación-floculación en un recipiente con agua o método de jarras. Bogotá: ICONTEC, 2010. 2 p.(NTC 3903)



## 2. DIAGNÓSTICO

La FÁBRICA DE CHOCOLATES TRIUNFO S.A. está ubicada en la zona industrial de la ciudad de Bogotá donde se dedica a la producción de diferentes tipos de confitería por medio de la transformación del cacao. Consta de 3 líneas principales de producción: línea de chocolates, línea de caramelos duros y línea de gomas y grajeados; dentro de los procesos de cada línea se emplea el agua en la limpieza de las zonas de producción, en la limpieza de equipos y como materia prima en la producción de dulces, generando residuos líquidos que son tratados en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la fábrica.

En este capítulo se describe de manera puntual el proceso de producción de la fábrica, el funcionamiento actual de la PTAR y se muestra las caracterizaciones históricas realizadas, tanto a la salida como a la entrada de la PTAR, obteniendo los valores máximos de concentración de los parámetros medidos establecidos por la Resolución 0631 del 2015. Actualmente la planta está obteniendo altos valores en las caracterizaciones en los parámetros DBO y DQO, los cuales, aunque cuentan con remociones superiores al 80%, no están cumpliendo lo exigido por la nueva normatividad ambiental de vertimientos.

### 2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

A continuación, se hará una breve reseña de los procesos de cada línea de producción (Chocolate, caramelos duros, gomas y grajeados) llevados a cabo por la fábrica con el fin de tener un acercamiento sobre los componentes del agua residual. Los datos son extraídos del Manual de procesos de la fábrica.

**2.1.1 Chocolate.** A continuación, se describe todo el proceso de producción del chocolate

**2.1.1.1 Obtención de la cocoa.** Se cargan los bultos de cacao en una tolva dosificadora con un vibrador que alimenta un bombo tubular, el cacao pasa por los tamices con diferentes tamaños de partícula que componen el bombo y se va almacenando en canecas. El material que pasa a través del tamiz son residuos como tierra, pasilla, madera y materiales extraños por la parte inferior del bombo y se deposita en recipientes para su posterior manejo.

Las canecas con los granos de cacao seleccionados son llevadas a la tostadora, se dejan los granos de cacao en la tostadora el tiempo requerido hasta que se establezca a cierta temperatura. Posteriormente el cacao tostado pasa por un enfriamiento por mezclado y luego es enviado por un elevador de canjilones a la descascarilladora, donde por un lado sale la cascarilla y por el otro los nibs de cacao (virutas o puntas de cacao tostado). La cascarilla es recogida en bultos para su posterior disposición. Los Nibs son transportados por un elevador de canjilones a unos molinos los cuales los trituran obteniendo el licor de cacao.

Se le realiza el conchado al licor de cacao el cual consiste en someter el licor a una agitación continua con una temperatura determinada, con el fin de eliminar humedad y ácidos grasos presentes. Luego se pasa a un tanque homogeneizador y se procede a bombear el licor de cacao a la prensa.

El prensado consiste en retirar la manteca presente en el cacao. La prensa consta de un homogeneizador, 4 vasos y tubos de extracción de manteca. La cantidad de grasa obtenida (Manteca de cacao) durante la operación es aproximadamente 19 kg. Las 4 tortas obtenidas del proceso de prensado tienen un peso determinado.

Las tortas pasan por un triturador mecánico que reduce su tamaño; automáticamente la cocoa triturada cae a un molino de piedra, donde la cocoa resultante en el molino es expuesta a un tratamiento térmico de luz ultravioleta para ser esterilizada. La cocoa es llevada a un molino pulverizador de martillos, de allí pasa a una tolva de almacenamiento y posteriormente es empacada en bultos con la respectiva fecha de fabricación y de vencimiento para su comercialización.

**2.1.1.2 Pulverización del azúcar.** Se carga el azúcar en la tolva de alimentación de la pulverizadora. Los cristales de azúcar viajan hasta una tolva receptora por medio de aire la cual contiene una válvula tipo mariposa que se abre cada minuto y deja caer el azúcar en la canaleta de alimentación del molino. El azúcar ingresa al turbomolino y por medio de fuerzas de impacto reduce su tamaño de partícula hasta obtener una granulometría muy fina.

**2.1.1.3 Mezclado.** Se agregan los ingredientes a la mezcladora.

**2.1.1.4 Refinado.** La masa obtenida de la mezcladora es enviada a la refinadora la cual consta de 5 rodillos, por los cuales pasa la masa: estos rodillos poseen una refrigeración en la que se utiliza agua que debe tener una temperatura ambiente, los rodillos son lubricados con manteca de cacao; cuando la masa llega al último cilindro se obtiene chocolate en polvo suave y sin grumos que cae por un canal a las tinajas de recolección.

**2.1.1.5 Conchado.** Se carga la concha con las pastas de chocolate en polvo para realizar un conchado; se deja cierto tiempo en agitación continua (conchado en seco) donde debe llegar a una determinada temperatura por la fricción de la mezcla. Se añade vainilla, lecitina y polirricinoleato de poliglicerol.

**2.1.1.6 Bombeo de chocolate.** La mezcla anterior se bombea al tanque de almacenamiento (ya sea para chocolate leche o para chocolate oscuro) manteniéndose a una temperatura determinada debido a una chaqueta que rodea al tanque.

**2.1.1.7 Atemperado del chocolate.** Posteriormente el chocolate es bombeado a la temperadora donde llega con una temperatura determinada de los tanques, es sometido a un choque térmico en un primer y en el segundo sector se aumenta su temperatura; dado que la manteca de cacao tiene una estructura polifórmica

(diversos cristales) y cada uno de ellos tienen puntos de fusión diferentes, lo que se busca con este choque térmico es homogeneizar las grasas y hacer la mayor siembra de cristales beta los cuales son los más estables y así se adquiere las propiedades del chocolate como textura, color, brillo, sabor, *snap* (quiebre o rompimiento claro), *fat bloom* (evitar que afloren las grasas), estabilidad térmica y olor al chocolate, además de evitar que quede quebradizo o muy blando y que sea difícil su desmoldeo. Cuando el chocolate está a la temperatura de trabajo es transportado por tuberías encamisadas hasta la cabeza de chocolate.

**2.1.2 Caramelo.** A continuación, se describe los principales procesos para la obtención del caramelo.

#### **2.1.2.1 Obtención del invertido**

- Mezclar agua y azúcar sulfitado. Dejar hervir la mezcla con agitación.
- Una vez que la mezcla haya alcanzado la temperatura de ebullición dejar recirculando.
- Después de re-circular, prender la refrigeración de la marmita y agregar ácido clorhídrico.
- Apagar la bomba y dejar agitando el invertido.
- Una vez agregado el ácido, dejar cierto tiempo para agregar soda caústica.
- Dejar la pre-mezcla re-circulando.
- Bombear la mezcla a un tanque de almacenamiento.

#### **2.1.2.2 Obtención de la base licor**

- Homogeneizar agua y gennupectina (agente de gelificación).
- Agregar en la olla Hansella + agua y la mezcla de la homogeneizadora, agitar.
- Agregar a la olla azúcar, invertido y glucosa. Tapar la olla, prender la circulación de vapor y la agitación.
- Pasado cierto tiempo se adicionan glucosa.
- Agregar ácido cítrico.

#### **2.1.2.3 Obtención del caramelo**

- Mezclar agua, azúcar y glucosa.
- Cuando la mezcla hierva se agrega el invertido sulfitado. Se pone a recircular la mezcla para que los cristales de azúcar se disuelvan completamente.
- Programar cierta temperatura y tiempo. Prender la bomba de jarabe, graduar el peso para cada pasta y prender la bomba de vacío.
- Engrasar las ollas de la “cocinadora” con cera carnauba y dejar que la pasta caiga en ellas. Este proceso de vacío se realiza con el objetivo de retirar agua de la pasta para que solo quede el caramelo.
- Pasados el tiempo requerido se vierte la pasta en otra olla lubricada con sigra y allí se le agrega el color adecuado a la pasta.

- Se vierte la pasta en una mesa por la cual circula agua fría y se le agrega el ácido cítrico, la esencia y el color hasta que la pasta alcanza una temperatura determinada.
- La pasta pasa por un rodillo las veces que sean necesarias para que adquiera la textura adecuada de los caramelos y disminuya aún más su temperatura.
- Se prepara el relleno para los caramelos dependiendo del sabor.

### **2.1.3 Gomas y grajeados**

- Mezclar agua, azúcar, glucosa y invertido sulfitado y dejar cocinar por cierto tiempo. Simultáneamente se coloca a hidratar en la batidora gelatina sin sabor, con agua fría con agitador prendido, se homogeneiza y posteriormente se deja en la batidora hasta que la pasta de la goma esté lista. Al producto se le denomina gelatina hidratada.
- Pasado cierto tiempo, la cocinadora se apaga y se moja con agua fría en el exterior para enfriarla, se agrega recorte, se mezcla, y a continuación se agrega la gelatina hidratada, de nuevo se mezcla para que toda la gelatina se disuelva (La mezcla anterior aún está caliente).
- Se separa cierta parte de la mezcla anterior para añadir color y esencia.
- Realizar una solución de agua y ácido cítrico.
- Se agrega propianato de calcio.
- Se transporta la goma a la cabeza de relleno para ser inyectada en los moldes.

## **2.2 DESCRIPCIÓN DE LA PTAR**

Según el Manual de Operación y mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales de la Fábrica de Chocolates Triunfo S.A.<sup>26</sup>, La PTAR fue adquirida en el año 2005 junto con un programa de reducción de lodo llamado BioDynamic 903; este es un producto biológico especialmente formulado para potenciar en forma efectiva los tratamientos biológicos de aguas servidas. El tratamiento propuesto consiste en la inoculación de la referencia BioDynamic 903, con sus microorganismos aerobios y anaerobios facultativos, los cuales tienen gran capacidad para degradar materia orgánica tal como proteínas, grasas, carbohidratos y ciertos tipos de hidrocarburos.

El agua proveniente de los procesos de lavado y de producción ingresa a un sistema de tratamiento de efluentes el cual consiste en una serie de rejillas, una trampa de grasas donde se añade soda cáustica por goteo para comenzar a neutralizar el pH del agua, luego esta es transportada por una bomba sumergible, hasta un tanque equalizador, en el cual se amortiguan los caudales y las concentraciones de DQO y DBO. Desde allí el agua es enviada al equipo neutralizador que posee un sistema

---

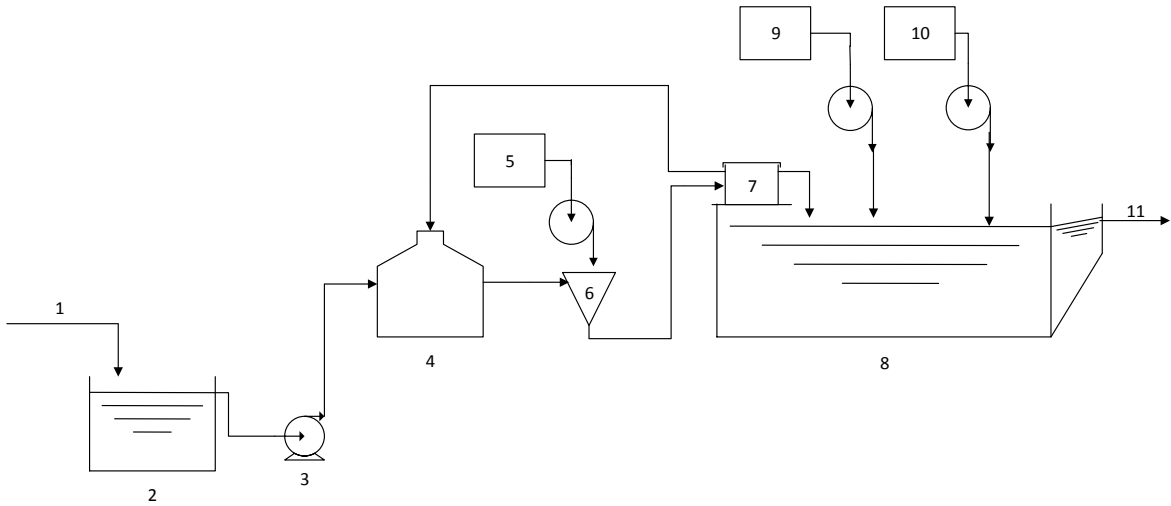
<sup>26</sup> FÁBRICA DE CHOCOLATES TRIUNFO S.A., Manual de Operación y mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales de la Fábrica de Chocolates Triunfo S.A. 2005.

de control automático de ajuste de pH mediante la dosificación de solución de soda cáustica. La mezcla en el tanque es realizada hidráulicamente, debido a la forma cónica del equipo de neutralización. El agua es descargada luego en un tanque de repartición, del cual, una parte es retornada por gravedad al tanque equalizador y otra es descargada, también por gravedad, a un reactor biológico de tipo aeróbico que funciona con proceso de lodos activados. El agua que es devuelta al tanque de equalización permite llevar a cabo una mezcla con el agua residual entrante, lo que conlleva a amortiguar las altas concentraciones de contaminantes que se puedan presentar. Adicionalmente permite una recirculación continua del agua en el tanque equalizador, lo que evita que se produzcan sedimentaciones y posibles reacciones anaerobias en dicho tanque.

El agua que pasa al reactor recibe una dosificación de solución de urea y de fosfato, los cuales actúan como micronutrientes para los microorganismos. En el reactor aeróbico se produce la degradación de material orgánico presente en el agua residual, por acción de los microorganismos, los cuales lo transforman en gas carbónico y agua, a la vez que se produce la multiplicación de los microorganismos. La mezcla de agua y microorganismos, llamada licor mezclado, es enviada a la sección de sedimentación o clarificación, en la cual se sedimentan los microorganismos, formando un lodo y se obtiene un agua clarificada, la cual es vertida al alcantarillado público. Los lodos son retornados continuamente al reactor aeróbico para mantener la población adecuada de microorganismos y cuando se produzca un exceso de microorganismos, se procede a evacuar una parte del lodo, el cual es enviado a un tanque, en donde se acondiciona con cal, cloruro férrico y un polímero deshidratante, y luego son alimentados a un filtro prensa en el que se retienen los sólidos en forma de tortas y se libera un clarificado que es devuelto al tanque colector inicial para su reproceso. Una vez se haya llenado el filtro, se procede a descargar las tortas, las cuales pueden ser dispuestas como residuo sólido y se inicia un nuevo ciclo de filtración.

Adicionalmente se agrega un líquido que contiene un producto biológico especialmente formulado y diseñado para el mantenimiento de las líneas de drenaje, tuberías, trampa de grasa y control de mal olor, estos microorganismos tienen la capacidad de producir enzimas que facilitan la descomposición de aceites y grasas.

**Figura 1.** Diagrama de procesos de la PTAR.



1	Afluente de agua residual proveniente del proceso	7	Tanque de repartición
2	Trampa de grasas	8	Reactor de lodos activados
3	Bomba electrosumergible	9	Tanque de urea
4	Tanque ecualizador	10	Tanque de fosfato
5	Tanque de soda cáustica	11	Efluente al alcantarillado público
6	Neutralizador		

### 2.3 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS

A continuación, se realiza la descripción de los equipos que actualmente se encuentran operando en la planta de tratamiento de agua residual en la fábrica, dicha reseña se extrajo del Manual de Operación y mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales de la Fábrica de Chocolates Triunfo S.A.

**Trampa de grasas:** es una unidad subterránea de concreto con tres paneles, cuyas dimensiones son: 1,5 m de ancho, 2 m de largo y 2,4 m de altura total, en su interior cuenta con un sensor de nivel tipo flotador, el cual habilita o deshabilita la bomba sumergible. Tiene por objetivo retener por sedimentación los sólidos en suspensión y por flotación el material graso, debido a su menor densidad con el agua se mantienen en la superficie y pueden ser fácilmente removidos y retirados. Su mantenimiento y limpieza se llevan a cabo cada lunes, miércoles y viernes, aunque diariamente se retira la grasa que queda acumulada en la superficie del agua con rastrillos o lonas y es llevada a unas canecas de almacenamiento de grasas en donde se les adiciona cal para evitar malos olores.

**Figura 2.** Trampa de grasas.



**Tanque ecualizador:** es un tanque fabricado en PVC, con una capacidad de 10000 L. Tiene un diámetro de 2,5 m y una altura total de 2,7 m, con una altura de lámina de agua de 2,5 m. Este tanque es apto para operar a la intemperie, pues contiene un aditivo que lo protege contra la radiación ultravioleta. Tiene un tiempo de retención de 24 horas, permite un asentamiento de sólidos sedimentables y adecua el flujo de agua de los procesos de producción antes de entrar al reactor biológico.

**Figura 3.** Tanque ecualizador.



**Neutralizador de pH:** es de forma cónica y está fabricado en acero inoxidable AISI 304. Las dimensiones generales son 540 mm de alto y diámetro exterior de 350 mm. Consiste en agregar soda cáustica (NaOH) automáticamente al agua para ajustar su pH inicial de 4-5 incrementándolo a 7-8.

**Figura 4.** Tanque neutralizador de pH.



**Tanque de repartición:** es un tanque fabricado en polietileno, ubicado sobre el reactor biológico, con una capacidad de 500 L, en el cual se descarga el agua proveniente del tanque equalizador. Este tanque permite ajustar dos flujos: uno que pasa al reactor aeróbico y otro que se retorna al tanque equalizador, lo cual ayuda a amortiguar las cargas picos que presenta. El ajuste de caudales se hará por medio de válvulas de operación manual.

**Reactor biológico:** llamado también cámara de aireación, fabricado en acero al carbono con acabados en arenado comercial. Internamente con acabado en pintura epoxi-bituminosa y externamente está recubierto con pintura anticorrosiva epóxica y alquídica. Tiene un volumen de 75 m<sup>3</sup>, sus dimensiones son 9,6 m de largo, 2,6 m de ancho, 3,3 m de altura y 3 m de altura de lámina de agua. En el fondo del reactor se instalan 50 difusores de diámetro de 12 pulgadas de burbuja fina tipo E, por donde se transfiere el aire contra la columna de agua para mantener los microorganismos suspendidos uniformemente y de esta manera proporcionar un íntimo contacto con el aire y suministrarles el oxígeno requerido por los mismos para degradar la materia orgánica. Los difusores van colocados en las tuberías de distribución.

La tubería de distribución del tanque tiene un diámetro de 3 pulgadas y una longitud de 2810 mm en PVC, la cual se distribuye en cuatro ramales de diámetro de 2 ½ de pulgada y una longitud de 8869 mm en PVC; sobre los cuales se ha instalado los 50 difusores. Trabaja con una presión de 5,5psi y un caudal máximo de 294 ft<sup>3</sup>/min.



Es importante mencionar que el reactor biológico se diseñó para tratar el agua residual junto con el agua lluvia, lo cual fue modificado separando los dos afluentes y de esta manera el reactor solo trata el agua residual, debido a esto se encuentra sub-dimensionado con respecto a las concentraciones de contaminantes. Además, el tiempo de retención que se maneja actualmente (3 días) es menor al tiempo de retención para el que fue diseñado. (6 a 7 días).

**Figura 5.** Reactor biológico.



**Tanque de Fosfato:** tanque con capacidad de 250 L, con un sistema de agitación mediante la inyección de aire en el fondo suministrado por el soplador, donde se almacena en solución 1,5kg de fosfato trisódico ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ). La mezcla se adiciona por goteo al reactor de forma automática.

**Figura 6.** Tanques de fosfato.



**Tanque de Úrea:** tanque con capacidad de 250 L, con un sistema de agitación mediante la inyección de aire en el fondo suministrado por el soplador, donde se almacena en solución 6kg de úrea, la mezcla se adiciona por goteo al reactor de forma automática.

**Figura 7.** Tanques de urea.



**Clarificador por gravedad:** es un clarificador horizontal, ubicado contiguo al reactor aeróbico, fabricado en acero al carbono con acabados de superficie en arenado comercial. Internamente está recubierto con pintura anticorrosiva epóxica, con acabado en pintura epoxi-bituminosa y externamente contiene pintura anticorrosiva epóxica y alquídica. En el fondo posee media pirámide invertida truncada, en la cual se lleva a cabo la sedimentación de lodos. En la entrada tiene un tabique con orificios, el cual se encarga de distribuir uniformemente el agua proveniente del reactor aeróbico. Sus dimensiones son 1,2m de ancho, 2,6m de largo y una altura de 3,3m.

**Figura 8.** Clarificador.



## 2.4 CARACTERIZACIONES HISTÓRICAS DEL AGUA

Con el fin de diagnosticar el estado actual del agua residual de la fábrica se realizó una recopilación de las caracterizaciones realizadas a la entrada (trampa de grasas) y salida de la PTAR (alcantarillado público), entre los años 2013 y 2017 de los parámetros generales establecidos por la normatividad de vertimientos comparándolo con los valores límites permisibles establecidos en dicha resolución.

En la recopilación de los datos de las caracterizaciones históricas se evidencia una relación entre la DQO y DBO con respecto a los demás parámetros. En el caso de grasas y aceites, “debido a su naturaleza oleosa generan una capa adherente sobre la membrana celular de la bacteria, obstruyendo e inhibiendo el contacto con la materia orgánica y dificultando el proceso de alimentación de la bacteria, que es, en últimas, el que está directamente relacionado con la disminución de DQO y DBO”<sup>27</sup>. La presencia de fenoles en el agua residual contribuye al aumento de la DQO, ya que requiere de mayor cantidad de oxígeno para su degradación. Las sustancias activas al azul de metileno disminuyen la solubilidad del oxígeno disuelto, lo que conlleva al aumento del oxígeno requerido para la degradación de la materia orgánica. Los sólidos que se encuentran en el agua residual según Awang y Shaaban<sup>28</sup> afectan la medición del parámetro de DQO al presentar materia orgánica e inorgánica que se oxida con dicromato de potasio. Por último, el pH y la temperatura son parámetros generales del agua, aunque no determinan directamente la toxicidad del agua, sí afectan la degradación de la materia orgánica, ya que los microorganismos son susceptibles a las variaciones de pH y temperatura, este último parámetro también disminuye la solubilidad del oxígeno disuelto en el agua.

Dado lo anterior se analizaron los siguientes parámetros: DBO<sub>5</sub>, DQO, fenoles, grasas y aceites, pH, SAAM, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales y temperatura.

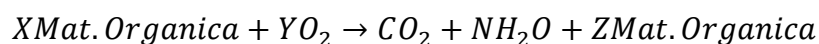
**2.4.1 Caracterización histórica de DBO<sub>5</sub>.** La demanda biológica de oxígeno que presenta el agua residual de la fábrica se debe a la materia orgánica que queda como residuo en los moldes, máquinas y áreas del proceso, esta materia orgánica corresponde a azúcares, proteínas y grasas que se encuentran en la materia prima de la elaboración de los dulces, principalmente la cocoa, manteca de cacao, azúcar pulverizada, suero, leche, glucosa, entre otros; los cuales son alimentos ricos en carbono que sirven como sustrato para los microorganismos y ocasiona que se

---

<sup>27</sup> GIL CASADIEGO Mauricio. Impacto de grasas y aceites en agua de tipo no domésticas, y alternativas de tratamiento. [En línea]. <<http://www.serquimsa.com/impacto-de-grasas-y-aceites-en-aguas-de-tipo-no-domesticas-y-alternativas-de-tratamiento/>> [citado en 8 de enero de 2018].

<sup>28</sup> AWANG, Nik Azimatolakma y SHAABAN, Md Ghazaly. Effect of reactor height/ diameter ratio and organic loading formation of aerobic granular sludge in sewage treatment. En: Revista ELSEVIER. No. 112 (Abr., 2016)

consume el oxígeno presente en el agua y de esta manera afecta la vida acuática del cuerpo receptor, como se muestra en la siguiente reacción:

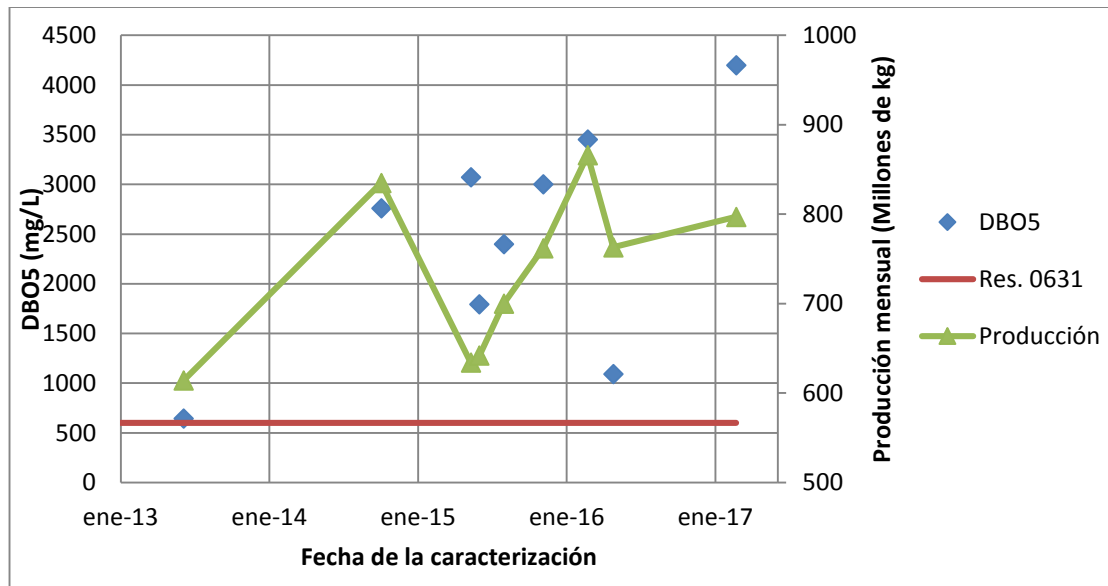


Debido a esto la fábrica presenta altos niveles de DBO<sub>5</sub> (puntos azules), que aumenta o disminuye dependiendo de la producción (línea verde) de la fábrica como se observa en la gráfica 1, donde las menores concentraciones se presentan a mediados de enero de 2013 y enero de 2014, aunque también a mediados de enero de 2015 y enero de 2016, los cuales presentan una relación con la disminución de la producción. Las mayores concentraciones se presentan a finales del 2014 y a inicios del año 2016 y 2017. Este parámetro no está cumpliendo los límites máximos permisibles estipulados por la Resolución 0631, la cual establece una concentración de 600 mg/L.

**Tabla 2.** Registro de valores de la demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) en caracterizaciones históricas de la PTAR.

Fecha	DBO <sub>5</sub> (mg/L) Entrada	DBO <sub>5</sub> (mg/L) salida	Res. 0631 2015 (mg/L)	Cumple	Laboratorio
4-Jun-13	2580	643	600	NO	CONOSER Ltda.
3-Oct-14		2760	600	NO	CONOSER Ltda.
11-May-15		3072	600	NO	QUIMICONTROL Ltda.
1-Jun-15	3072	1792	600	NO	CONOSER Ltda.
31-Jul-15	4900	2400	600	NO	CONOSER Ltda.
5-Nov-15	15086	3001	600	NO	CONOSER Ltda.
22-Feb-16	14400	3450	600	NO	CONOSER Ltda.
25-Apr-16	14100	1090	600	NO	CONOSER Ltda.
21-Feb-17		4200	600	NO	CONOSER Ltda.

**Gráfica 1.** Valores de la demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) en caracterizaciones históricas de la PTAR.

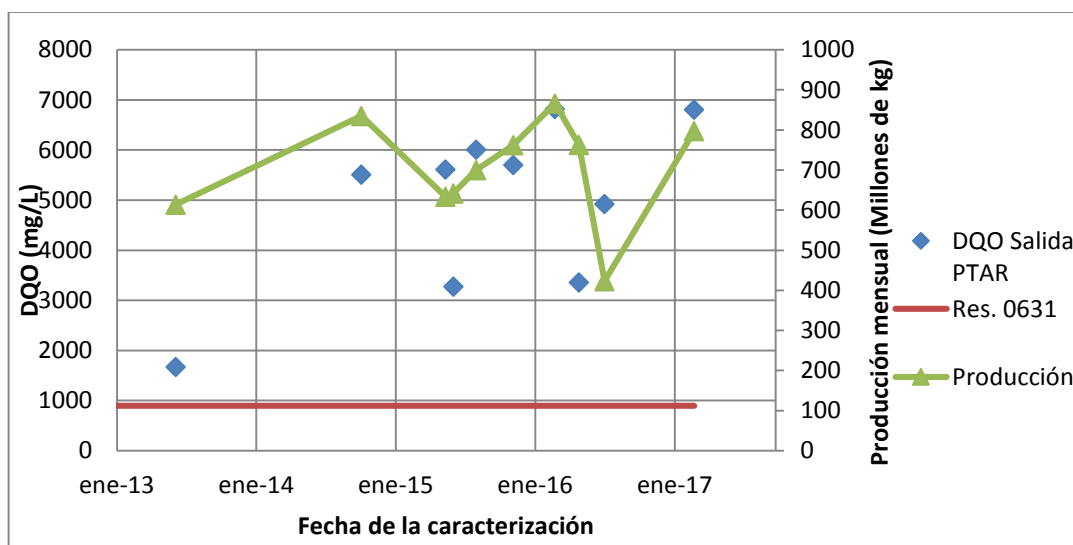


**2.4.2 Caracterización histórica de DQO.** La demanda química de oxígeno presenta un comportamiento similar a la demanda biológica de oxígeno, debido a que ambos son parámetros que miden el oxígeno requerido por los microorganismos para degradar la materia orgánica presente en el agua residual. Por tal motivo, también fluctúa con relación a la producción (línea verde) de la fábrica disminuyendo la concentración de DQO (puntos azules) a mediados del año 2013, 2015 y 2016 como se muestra en la gráfica 2, donde la producción de la planta es menor e incluso se suspende en algunas ocasiones. Las concentraciones de DQO son altas a finales del 2014 y a inicios del año 2016 y 2017. Entre los años 2015 y 2016 se evidencia un comportamiento cíclico donde los valores máximos y mínimos se han mantenido entre un rango de 6800 y 3300 mg/L, sin embargo, este parámetro no está cumpliendo los límites máximos permisibles estipulados por la Resolución 0631, la cual estipula una concentración de 900 mg/L.

**Tabla 3.** Registro de valores de la demanda química de oxígeno (DQO) en caracterizaciones históricas de la PTAR.

Fecha de caracterización	DQO (mg/L) Entrada	DQO (mg/L) Salida	Res. 0631 2015 (mg/L)	Cumple	Laboratorio
4-Jun-13	5170	1670	900	NO	CONOSER Ltda.
3-Oct-14		5510	900	NO	CONOSER Ltda.
11-May-15		5610	900	NO	QUIMICONTRO L Ltda.
1-Jun-15	5610	3275	900	NO	CONOSER Ltda.
31-Jul-15	13000	6010	900	NO	CONOSER Ltda.
5-Nov-15	20962	5701	900	NO	CONOSER Ltda.
22-Feb-16	30300	6820	900	NO	CONOSER Ltda.
25-Apr-16	39700	3360	900	NO	CONOSER Ltda.
1-Jul-16	17100	4920	900	NO	CONOSER Ltda.
21-Feb-17		6804	900	NO	CONOSER Ltda.

**Gráfica 2.** Valores de la demanda química de oxígeno (DQO) en caracterizaciones históricas de la PTAR.



**2.4.3 Caracterización histórica de fenoles.** Los compuestos semivolátiles fenólicos están presentes en una insignificante concentración en el agua residual de la fábrica por el empleo de frutos secos como almendras, maní y arándanos, al igual que en el cacao, café y naranja en el proceso de elaboración de dulces; estos alimentos son considerados ricos en fenoles.

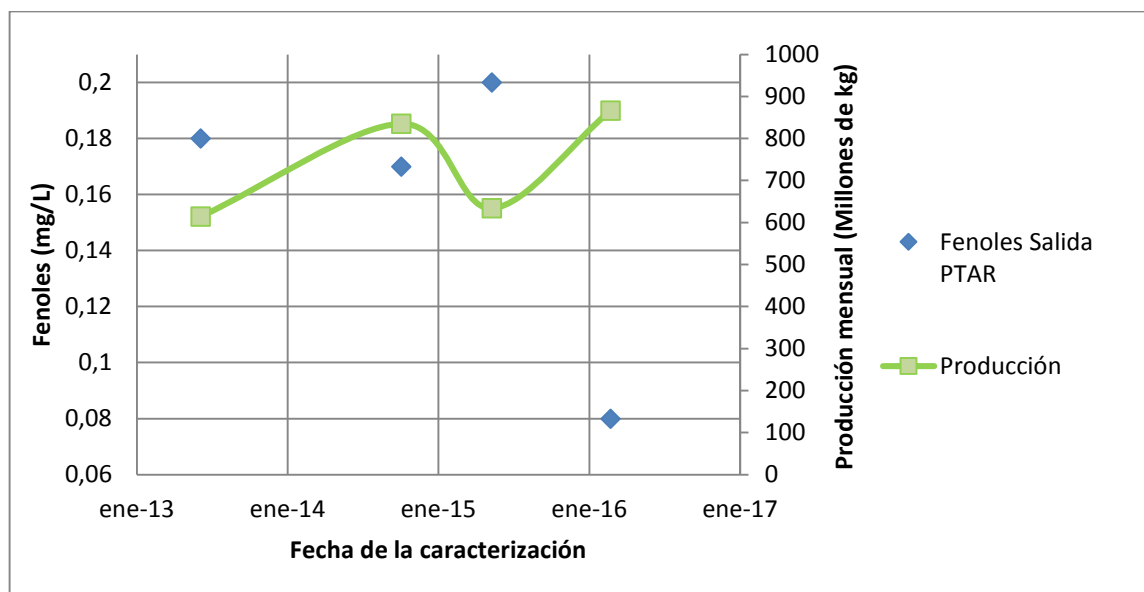


Actualmente no existe un valor máximo permisible establecido por la Resolución 0631 de 2015, sin embargo, en la Resolución 3957 de 2009 (derogada) de la secretaria distrital de ambiente se establecía un límite máximo de 0,2 mg/L de fenoles en el agua, lo que significa que este parámetro estuvo cumpliendo entre el 2013 y el 2016 como se observa en la gráfica 3, obteniendo su máximo valor en el primer semestre del 2015, el cual era de 0,2 mg/L en el límite máximo de la anterior Resolución. En el año 2017 no se realizó la medición de este parámetro en las últimas caracterizaciones, sin embargo, la última caracterización reportada en la tabla 4, que contenía una medición de fenoles, obtuvo el valor histórico más bajo de este parámetro.

**Tabla 4.** Registro de valores de fenoles en caracterizaciones históricas de la PTAR.

Fecha de caracterización	Fenoles (mg/L) Entrada	Fenoles (mg/L) Salida	Res. 0631 2015 (mg/L)	Cumple	Laboratorio
4-Jun-13		0,18	Análisis y reporte	-	CONOSER Ltda.
3-Oct-14		0,17	Análisis y reporte	-	CONOSER Ltda.
11-May-15		0,2	Análisis y reporte	-	QUIMICONTROL Ltda.
22-Feb-16	0,08	0,08	Análisis y reporte	-	CONOSER Ltda.

**Gráfica 3.** Valores de fenoles en caracterizaciones históricas de la PTAR.



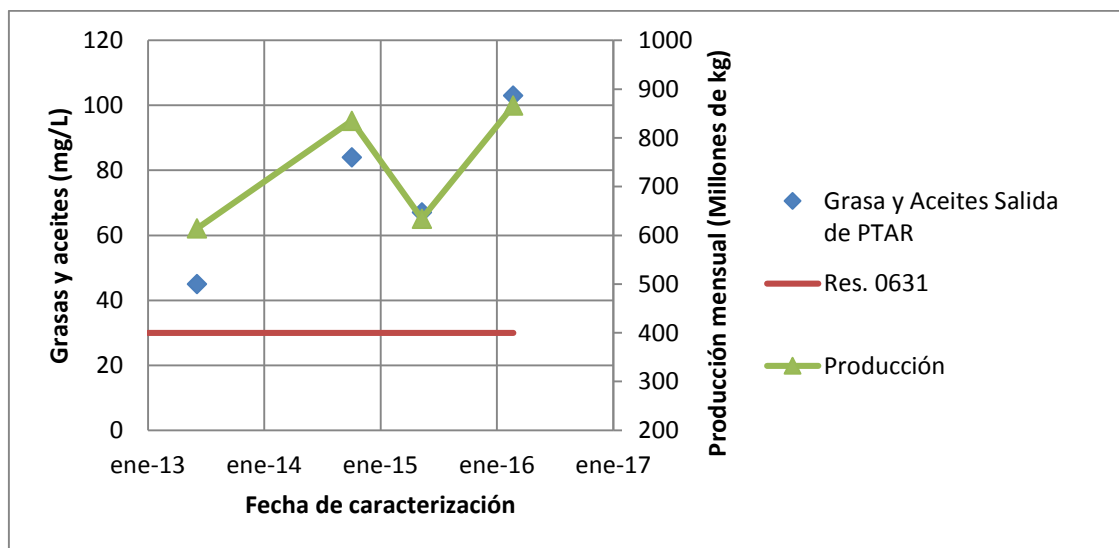
**2.4.4 Caracterización histórica de grasa y aceites.** Las grasas y aceites que se encuentran en el agua residual de la fábrica provienen principalmente de la manteca de cacao que es ampliamente utilizada en la fabricación del chocolate, esencias, leche, grasa como lubricante, suero de leche, entre otras materias primas.

La concentración de grasas y aceites (puntos azules) presenta un aumento progresivo a lo largo de los años como se observa en la gráfica 4, con una pequeña fluctuación a mitad del año 2015. La PTAR está removiendo el 98% de grasas y aceites según la caracterización del 22 de febrero de 2016 como se muestra en la tabla 5; sin embargo, es un parámetro que no está cumpliendo con la Resolución 0631 de 2015 y la tendencia es a seguir aumentando, lo que causa un aumento en las concentraciones de DBO y DQO.

**Tabla 5.** Registro de valores de la concentración de grasa y aceites en caracterizaciones históricas de la PTAR.

Fecha de caracterización	Grasas y aceites (mg/L) Entrada	Grasas y aceites (mg/L) Salida	Res. 0631 2015 (mg/L)	Cumple	Laboratorio
4-Jun-13		45	30	NO	CONOSER Ltda.
3-Oct-14		84	30	NO	CONOSER Ltda.
11-May-15		67	30	NO	QUIMICONTROL Ltda.
22-Feb-16	5300	103	30	NO	CONOSER Ltda.

**Gráfica 4.** Valores de la concentración de grasas y aceites en caracterizaciones históricas de la PTAR.



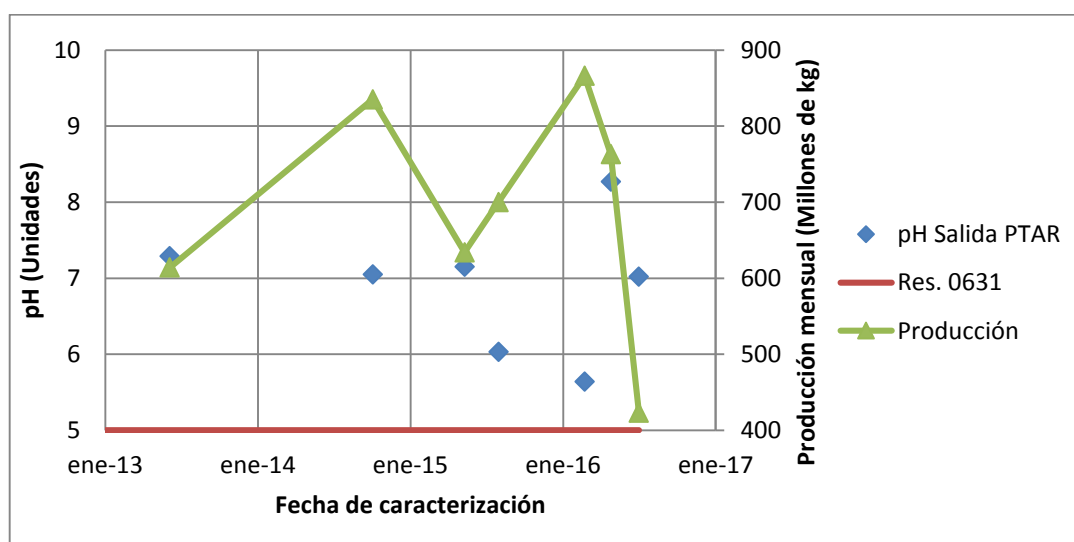


**2.4.5 Caracterización histórica de pH.** El pH en los últimos años ha cumplido con los valores máximos y mínimos permisibles de la Resolución 0631. El tratamiento con soda cáustica que se ha ido aplicando ha funcionado en el agua residual ajustando sus parámetros a los adecuados. El pH a la entrada de la PTAR es bajo debido al uso de ácidos como el cítrico y el clorhídrico dentro de la elaboración de los dulces y otros alimentos que presentan un bajo pH.

**Tabla 6.** Registro de valores de pH en caracterizaciones históricas de la PTAR.

Fechas	pH (Unidades) Entrada	pH (Unidades) Salida	Res. 0631 2015 (Unidades)	Cumple	Laboratorio
4-Jun-13		7,29	5-9	SI	CONOSER Ltda.
3-Oct-14		7,05	5-9	SI	CONOSER Ltda.
11-May-15		7,15	5-9	SI	QUIMICONTROL Ltda.
31-Jul-15		6,03	5-9	SI	CONOSER Ltda.
22-Feb-16	4,83-5,29	5,64	5-9	SI	CONOSER Ltda.
25-Apr-16	4,29	8,27	5-9	SI	CONOSER Ltda.
1-Jul-16	6,25	7,02	5-9	SI	CONOSER Ltda.

**Gráfica 5.** Valores de pH en caracterizaciones históricas de la PTAR.



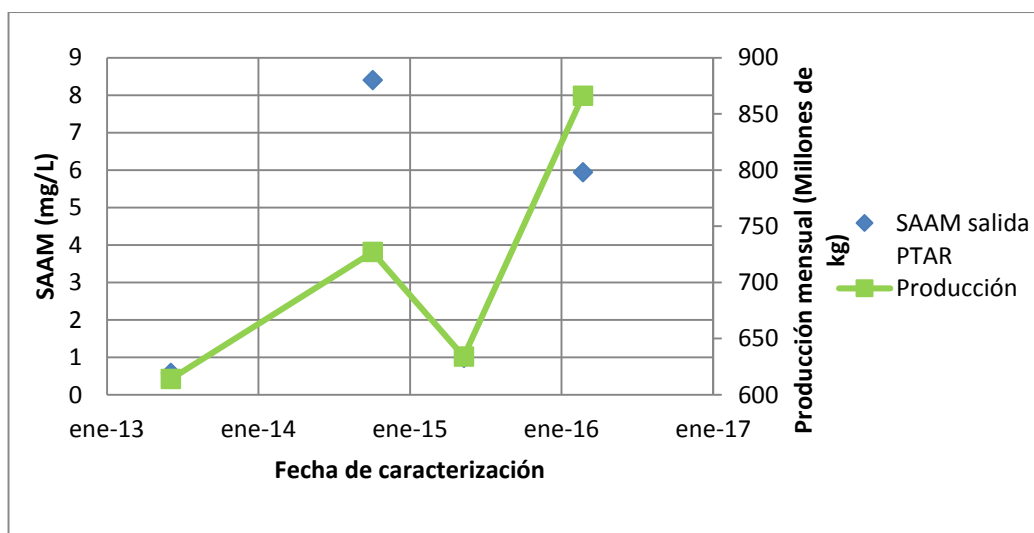
### 2.4.6 Caracterización histórica sustancias activas al azul de metileno.

Actualmente no existe un valor máximo permisible establecido por la Resolución 0631 de 2015, sin embargo, en la Resolución 3957 de 2009 (derogada) de la Secretaria Distrital de Ambiente se establecía un límite máximo de 10 mg/L de tensoactivos en el agua, lo que significa que este parámetro estuvo cumpliendo entre el 2013 y el 2016 obteniendo su máximo valor en el segundo semestre del 2014, el cual era de 8,4 mg/L. En el año 2017 no se realizó la medición de este parámetro en las últimas caracterizaciones, sin embargo, la última caracterización que contenía una medición de tensoactivos obtuvo el valor de 5,94 mg/L como se muestra en la tabla 7, mayor que el inicial de 4,79 mg/L; posiblemente esto se debe a presencia de material particulado que interviene negativamente por la adsorción de sustancias activas al azul de metileno.

**Tabla 7.** Registro de valores de sustancias activas al azul de metileno (SAAM) en caracterizaciones históricas de la PTAR.

Fecha	SAAM (mg/L) Entrada	SAAM (mg/L) Salida	Res. 0631 2015 (mg/L)	Cumple	Laboratorio
4-Jun-13		0,58	Análisis y reporte	-	CONOSER Ltda.
3-Oct-14		8,4	Análisis y reporte	-	QUIMICONTROL Ltda.
11-May-15		0,98	Análisis y reporte	-	CONOSER Ltda.
22-Feb-16	4,79	5,94	Análisis y reporte	-	CONOSER Ltda.

**Gráfica 6.** Valores de SAAM en caracterizaciones históricas de la PTAR.

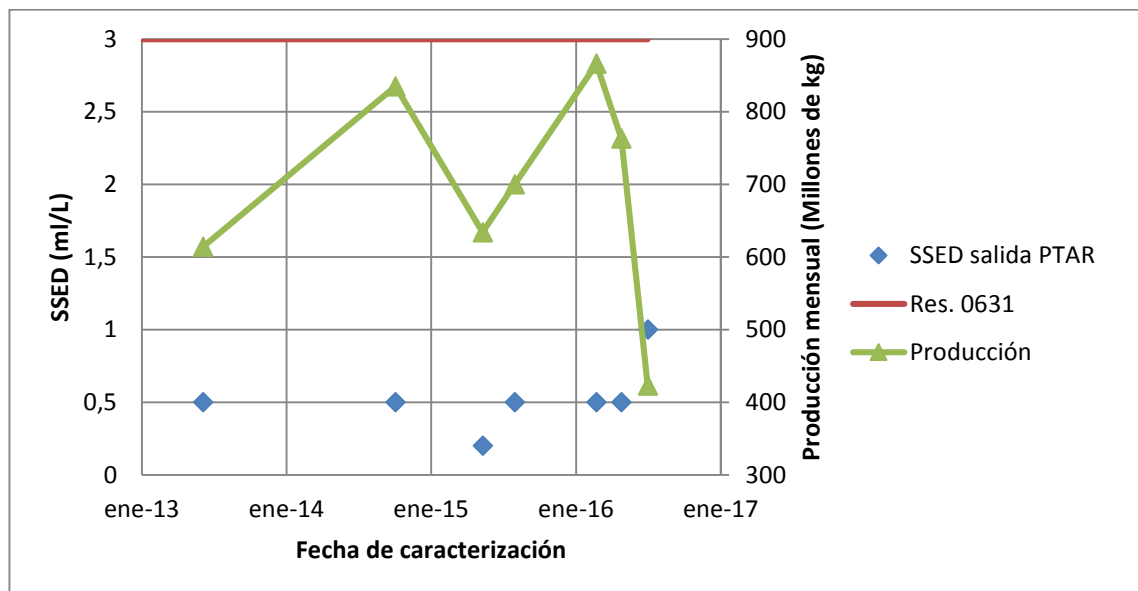


**2.4.7 Caracterización histórica de sólidos sedimentables.** La concentración de sólidos sedimentables (puntos azules) a la salida de la PTAR presenta un comportamiento casi constante en los últimos 4 años como se muestra en la gráfica 7 y se encuentra muy por debajo de los límites máximos permisibles por la Resolución 0631.

**Tabla 8.** Registro de valores de sólidos sedimentables en caracterizaciones históricas de la PTAR.

Fecha de caracterización	SSED (ml/L) Entrada	SSED (ml/L) Salida	Res. 0631 2015 (ml/L)	Cumple	Laboratorio
4-Jun-13		0,5	3	SI	CONOSER Ltda.
3-Oct-14		0,5	3	SI	CONOSER Ltda.
11-May-15		0,2	3	SI	QUIMICONTROL Ltda.
31-Jul-15		0,5	3	SI	CONOSER Ltda.
22-Feb-16	2,0-10,0	0,5	3	SI	CONOSER Ltda.
25-Apr-16	0,6	0,5	3	SI	CONOSER Ltda.
1-Jul-16	24	1	3	SI	CONOSER Ltda.

**Gráfica 7.** Valores de sólidos sedimentables en caracterizaciones históricas de la PTAR.

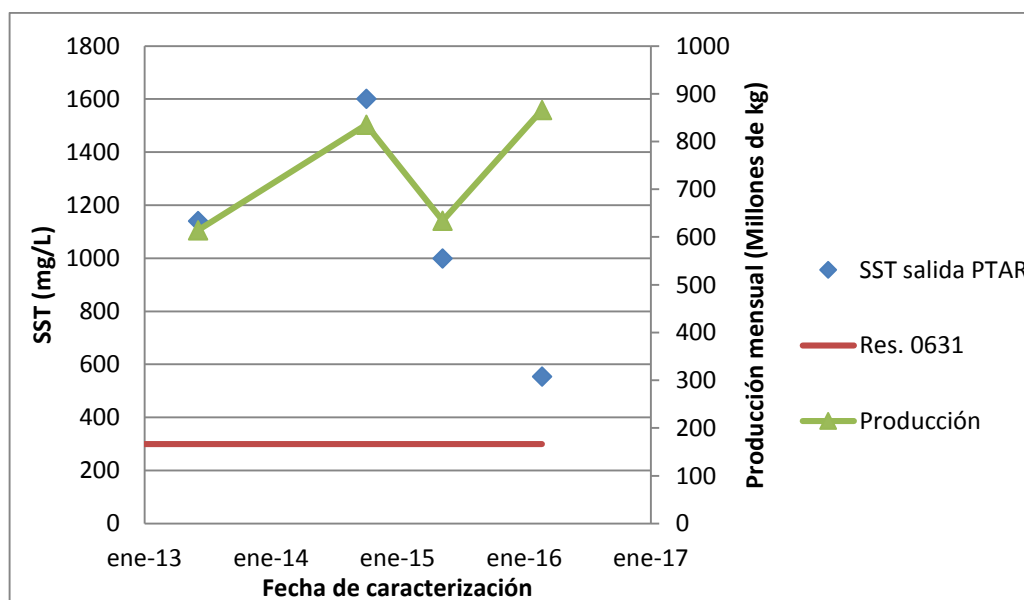


**2.4.8 Caracterización histórica de sólidos suspendidos totales.** La concentración de sólidos suspendidos totales (puntos azules) ha disminuido paulatinamente en el transcurso de los años como se muestra en la gráfica 8, presentando una fluctuación a finales del año 2014, donde aumento su concentración (ver tabla 9). La PTAR muestra un porcentaje de remoción de 57%, el cual no es suficiente para alcanzar los límites permisibles por la Resolución 0631 de 2015.

**Tabla 9.** Registro de valores de sólidos suspendidos totales en caracterizaciones históricas de la PTAR.

Fecha de caracterización	SST (mg/L) Entrada	SST (mg/L) Salida	Res. 0631 2015 (mg/L)	Cumple	Laboratorio
4-Jun-13		1140	300	NO	CONOSER Ltda.
3-Oct-14		1600	300	NO	CONOSER Ltda.
11-May-15		999	300	NO	QUIMICONTROL Ltda.
22-Feb-16	1290	554	300	NO	CONOSER Ltda.

**Gráfica 8.** Valores de sólidos suspendidos totales en caracterizaciones históricas de la PTAR.



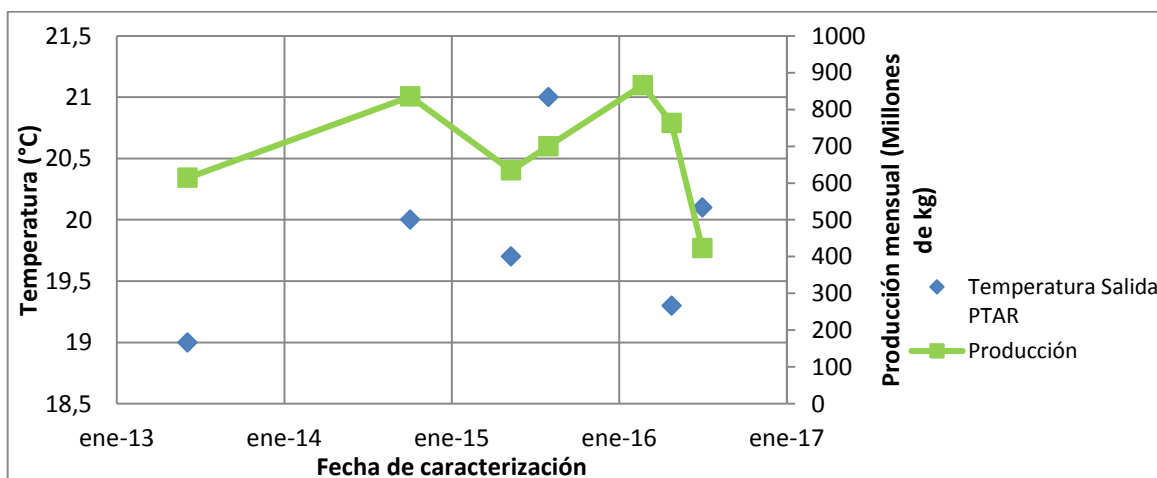
**2.4.9 Caracterización histórica de temperatura.** Actualmente el valor máximo permisible de la temperatura del agua establecido en el artículo 5 de la Resolución

0631 de 2015 es de 40 °C, lo que significa que este parámetro está cumpliendo con la normatividad, obteniendo su máximo valor a inicios del 2016, el cual era de 21,1°C (ver tabla 10). En el año 2017 no se realizó la medición de este parámetro en las últimas caracterizaciones, sin embargo, la última caracterización que contenía una medición de temperatura obtuvo el valor de 20,1 °C.

**Tabla 10.** Registro de valores de temperatura (°C) en caracterizaciones históricas de la PTAR.

Fecha	Temperatura (°C) Entrada	Temperatura (°C) Salida	Res. 0631 2015	Cumple	Laboratorio
4-Jun-13		19	40 °C	SI	CONOSER Ltda.
3-Oct-14		20	40 °C	SI	CONOSER Ltda.
11-May-15		19,7	40 °C	SI	QUIMICONTRO L Ltda.
31-Jul-15		21	40 °C	SI	CONOSER Ltda.
22-Feb-16	23,6-27,3	21,1	40 °C	SI	CONOSER Ltda.
25-Apr-16	20,9	19,3	40 °C	SI	CONOSER Ltda.
1-Jul-16	23,5	20,1	40 °C	SI	CONOSER Ltda.

**Gráfica 9.** Valores de temperatura (°C) en caracterizaciones históricas de la PTAR.



En la consolidación de los datos de las caracterizaciones históricas se evidencia una significativa relación de los parámetros de DQO, DBO<sub>5</sub>, aceites y grasas, SST y SAAM con la producción de la fábrica, estos presentan una tendencia a aumentar

o disminuir conforme a la producción, por tal motivo, se tuvo en cuenta la mayor concentración de DBO<sub>5</sub> de 4200 mg/L O<sub>2</sub> (ver tabla 2) y DQO de 6820 mg/L O<sub>2</sub> (ver tabla 3) registradas en las caracterizaciones históricas, con el objetivo de determinar el porcentaje de remoción requerido por el tratamiento, para satisfacer la Resolución.

- Porcentaje de remoción requerido para la DQO

$$\%Remoción = \frac{6820 \text{ mg/L } O_2 - 900 \text{ mg/L } O_2}{6820 \text{ mg/L } O_2} \times 100\% = 86,8\%$$

- Porcentaje de remoción requerido para la DBO<sub>5</sub>

$$\%Remoción = \frac{4200 \text{ mg/L } O_2 - 600 \text{ mg/L } O_2}{4200 \text{ mg/L } O_2} \times 100\% = 85,7\%$$

### 3. SELECCIÓN DEL MÉTODO DE TRATAMIENTO

En el presente capítulo se plantea las posibles alternativas que se pueden adicionar al tratamiento que actualmente existe en la PTAR y se elige por medio de una matriz de priorización el tratamiento a aplicar en el agua residual proveniente de la producción de la fábrica.

#### 3.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN

Los criterios se obtuvieron identificando las necesidades principales de la fábrica y la facilidad que tiene el método para simularse en un laboratorio. Estos se enuncian a continuación:

1. Porcentaje de reducción de DQO y DBO según la literatura.
2. Costos de materiales y equipos.
3. Área requerida.
4. Disponibilidad de materiales y equipos para la evaluación a escala laboratorio.

#### 3.2 ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

Teniendo en cuenta los datos obtenidos en el diagnóstico del agua residual y los tratamientos implementados en la industria de alimentos, se propone las siguientes alternativas:

##### 3.2.1 Coagulación-floculación.

**3.2.1.1 Porcentaje de reducción de DQO y DBO<sub>5</sub>.** Según Pavón *et al*<sup>29</sup> el análisis de un tratamiento fisicoquímico de coagulación y floculación aplicado a una planta de tratamiento de aguas residuales de una fábrica de alimentos que trata un caudal promedio de 90 m<sup>3</sup>/día con una demanda química de oxígeno entre 8000 y 26000mg/L, consta de un tratamiento primario (cribado y reactor de neutralización), seguido por un tanque de bombeo para regular el flujo volumétrico que alimenta un sistema de tratamiento anaeróbico-aeróbico secundario. Finalmente, el efluente alcanza la etapa de desinfección que se lleva a cabo con hipoclorito de sodio. El tratamiento fisicoquímico desarrollado en la PTAR descrita obtuvo los siguientes porcentajes de remoción: 98% para DQO, 95% para DBO<sub>5</sub>, 99% para aceites y grasas y 99% para SST. Utilizando como coagulante el hidroxiclورو de aluminio (PAC) con una dosificación de 1 a 5 mg/L, como se muestra en la tabla 11.

---

<sup>29</sup> PAVÓN-SILVA, Thelma, *et al*. Physicochemical and biological combined treatment applied to a food industry wastewater for reuse. En: Journal of Environmental Science and Health part A. Marzo, 2012, vol. 44 no. 1., p. 108-115.

**Tabla 11.** Caracterización del agua residual en la aplicación de coagulación-floculación con PAC y tratamiento biológico en pruebas de laboratorio.

Parámetros	Agua residual sin tratar	Agua residual con PAC	Tratamiento Biológico
Turbiedad (NTU)	1153	12,3	22,4
pH	4,5	6,56	8,2
SST (mg/L)	2905	22	34
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	3415	258	54,3
DQO (mg/L)	7489	935	821
Total coliformes (MPN/100 mL)	11000	1100	11000
Huevos de Helminto	No encontrado	No encontrado	No encontrado

**Fuente:** PAVÓN-SILVA, Thelma, *et al.* Physicochemical and biological combined treatment applied to a food industry wastewater for reuse. En: Journal of Environmental Science and Health part A. Marzo, 2012, vol. 44 no. 1., p. 112.

Según Rusten, *et al.*<sup>30</sup> Se logró una eficiencia del 67-70% en la remoción de DQO en el agua residual de una industria de alimentos, utilizando como coagulante cloruro férrico y sulfato de aluminio. En este estudio se realizó un test de jarras con el objetivo de obtener la mayor remoción de materia orgánica, empleando como coagulantes cloruro férrico y sulfato de aluminio.

### 3.2.1.2 Costos estimados de insumos y equipos

**Tabla 12.** Estimación de costos de insumos y equipos del tratamiento de coagulación- floculación.

Equipo o insumo	Valor
Hidroxiclорuro de aluminio (PAC)	COP \$1964/ kg*
Energía eléctrica	COP \$503,37/ kWh***
Clarificador	USD \$4.500-12.000**
Tanque agitador (500L a 20.000L)	USD \$100-2000*
Tanque de almacenamiento (2.000L)	COP \$469.900****

**Fuente:** (\*) Quinsa: Química integrada S.A., (\*\*) REVISTA AIDIS de Ingeniería y Ciencias ambientales: Investigación, desarrollo y práctica. 2011, Vol. 4, Numero 1, p. 50. (\*\*\*) Tarifas de energía eléctrica reguladas por la comisión de regulación de energía y gas (CREG) mayo de 2017, Codensa. (\*\*\*\*) Homecenter.com.co.

<sup>30</sup> RUSTEN, B. *et al.* Coagulation as pretreatment of food industry wastewater. En: Water science and technology. No. 9 (1990); p. 1-8.



Una aproximación de los costos variables involucrados en el tratamiento de coagulación – floculación utilizando como base de cálculo 90m<sup>3</sup>/día de agua tratada y 6000 mg/L de hidroxocloruro de aluminio empleados en el análisis realizado por Pavón *et al*<sup>31</sup> se estima que el costo variable por kg de DQO removido es de USD \$0,6001 y los costos fijos son de USD \$1 778 por 1 m<sup>3</sup>/h de agua tratada.

**3.2.1.3 Área requerida.** Con el fin de realizar una estimación del área requerida para la implementación del tratamiento de coagulación-floculación, se calcula el área a partir del dimensionamiento realizado por Cristancho y Noy<sup>32</sup> de un proceso que trata un caudal promedio de 0.037 L/s y consta de un tanque homogeneizador, un sedimentador cónico y un filtro de arena, con un área estimada de 6,7 m<sup>2</sup>.

Melo y Herrera<sup>33</sup> realizaron el diseño y dimensionamiento de una planta pila que trata un caudal de diseño de 0,1 L/s, dicha planta consta de un vertedero triangular, un floculador, un sedimentador de tasa alta y un filtro de arena para un área total de 2,54 m<sup>2</sup>.

**3.2.1.4 Disponibilidad de materiales y equipos para la evaluación a escala laboratorio.** La prueba de jarras o *test* de jarras es el método que simula el proceso de coagulación-floculación a escala laboratorio, por medio de este se determina la dosificación y las condiciones recomendables de operación. El procedimiento según la norma NTC 3903<sup>34</sup> del 2010 se describe a continuación:

- Se miden volúmenes iguales de muestra en cada una de las jarras o vasos de precipitado.
- Se registra la temperatura de la muestra al comienzo del ensayo.
- Se cargan los productos químicos de ensayo en los soportes de los reactivos.
- Inicia con el agitador operando a la velocidad de mezcla instantánea de aproximadamente 120 rpm. Se agrega la solución o las suspensiones de ensayo a niveles de dosis y secuencia predeterminadas. Se mezcla instantáneamente durante aproximadamente un (1) min después de las adiciones de productos químicos. Se registra el tiempo de mezcla instantánea y la velocidad (rpm).
- Se reduce la velocidad según sea necesario hasta el mínimo requerido para mantener en suspensión uniforme las partículas de flóculos a lo largo del período de mezcla instantánea. Se mezcla en forma lenta durante 20 min.

---

<sup>31</sup> PAVÓN-SILVA, Thelma, *et al.* Op. Cit.

<sup>32</sup> CRISTANCHO B., Angie J. y NOY O., Andrés M. Diseño conceptual de una planta de tratamiento de aguas residual para Pelikan Colombia S.A.S. Bogotá, 2016, 203 h. Trabajo de grado (Ingeniero químico). Universidad de América. Facultad de ingenierías.

<sup>33</sup> MELO P., Anderson y HERRERA D., Juan S. Diseño y construcción de una planta piloto para el tratamiento de agua potable en el laboratorio de la Universidad Católica de Colombia. Bogotá, 2016, 107 h. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Católica de Colombia. Facultad de ingeniería.

<sup>34</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Op. Cit. 2 p.

- Después del período de mezcla lenta, se retiran las paletas y se observa la sedimentación de las partículas de flóculos. Se registra el tiempo requerido para que el volumen de las partículas se sedimente.
- Después de 15 min de sedimentación, se registra la temperatura de la muestra. Mediante una pipeta o un sifón, se saca de la jarra un volumen adecuado de muestra del caldo que sobrenada, para efectuar los análisis requeridos de color, turbidez, pH y otros.

Los equipos que se requieren son:

- Agitador múltiple
- Jarras o vasos de precipitado
- Soportes de reactivos
- Reactivos (Coagulante y floculante)

El laboratorio de la Fundación Universidad de América cuenta con todos los equipos necesarios para realizar la prueba de jarras. Los reactivos son suministrados por la empresa.

### 3.2.2 Electrocoagulación

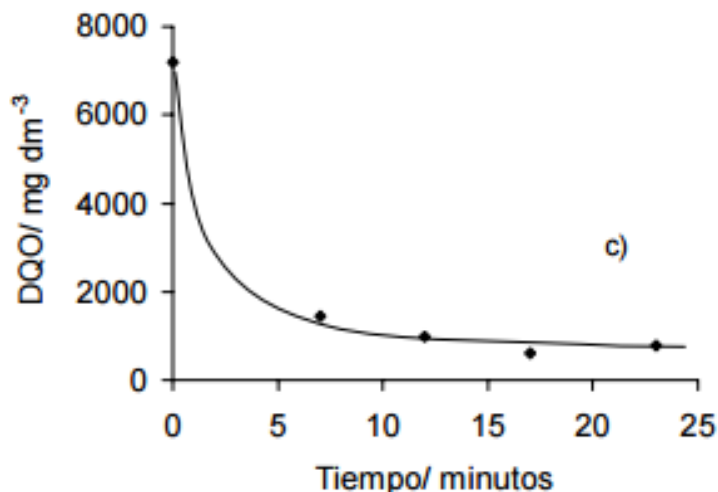
**3.2.2.1 Porcentaje de remoción de DQO y DBO.** Martínez<sup>35</sup> aplica el proceso de electrocoagulación continua en un agua residual sintética compuestas por tres tipos de contaminantes: caolinita, Negro de Eriocromo T (NET), aceite y lubricante (REPSOL ELITE TDI 15W40, suministrado por Repsol-YPF, España). Dichas aguas han sido preparadas a diferentes valores de pH, entre 1 y 12, empleando como medio soporte NaCl en el intervalo de concentraciones de 80 a 6000 mg dm<sup>-3</sup>, o Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en el intervalo de 100 a 6000 mg dm<sup>-3</sup>. La demanda química de oxígeno inicial es de 7200 mg/dm<sup>3</sup> y se analiza como varía en función del tiempo a una temperatura de 25°C, Caudal de 10,7 dm<sup>3</sup>/h, medio soporte 2450 mg/dm<sup>3</sup> NaCl, densidad de corriente de 16 mA/cm<sup>2</sup> y un pH inicial de 8,9. Después de cierto tiempo la DQO se mantiene constante en aproximadamente 1000 mg/dm<sup>3</sup>, obteniendo una reducción del 60% al 80% como se observa en la gráfica 10.

La celda electroquímica en la cual se llevó a cabo el desarrollo experimental consta de un solo compartimento y flujo longitudinal ascendente. Los electrodos son dos placas de aluminio con un espesor de 0,8 mm que se encuentran enfrentadas en posición paralela con un área geométrica de 100 cm<sup>2</sup> cada uno y a una distancia de 9 mm. La corriente eléctrica se suministra mediante una fuente de alimentación DC Power Supply FA-376 PROMAX siendo el intervalo de trabajo de la fuente de 0 a 33 V y de 0 a 5 A.

---

<sup>35</sup> MARTINEZ NAVARRO, Fabiola. Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional. Ciudad Real: Universidad de Castilla- La Mancha, 2008, p. 170.

**Gráfica 10.** Concentración de DQO en función del tiempo aplicando la electrocoagulación continúa.



**Fuente:** MARTINEZ NAVARRO, Fabiola, Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional, Ciudad Real: Universidad de Castilla- La Mancha, 2008, p. 170.

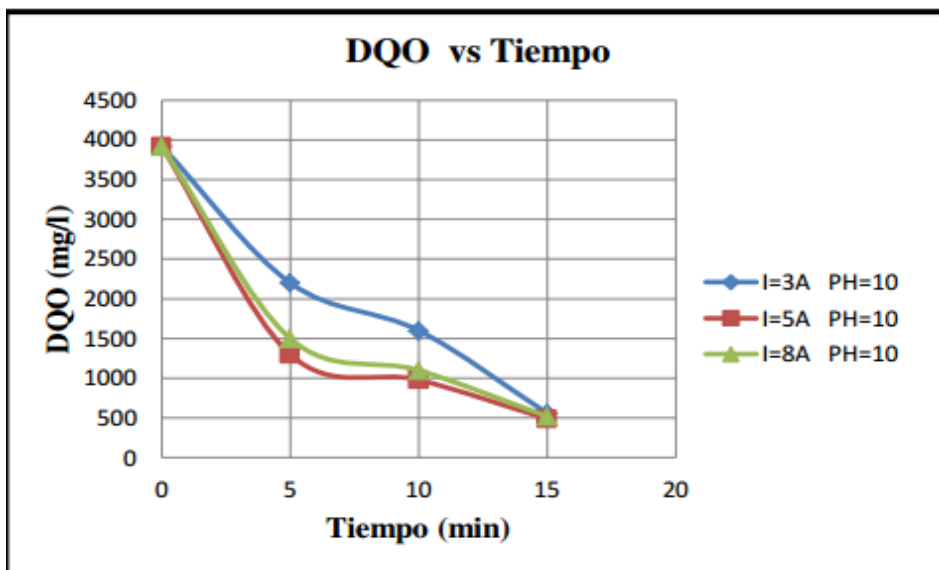
Según Aguilar <sup>36</sup> se aplicó el proceso de electrocoagulación a una muestra de agua residual con valores de DQO y DBO de 3920 mg/L O<sub>2</sub> y 1250 mg/L O<sub>2</sub> respectivamente, a diferentes valores de pH (7,12, 4 y 10). La gráfica 11 y 12 se obtuvieron de una muestra de agua con un pH de 10 y una conductividad de 2930  $\mu$ S/cm. Adicionalmente se determinó la reducción de DQO a distintos valores de intensidad de corriente y en función del tiempo. Se obtuvieron porcentajes de reducción entre el 80 y 90% con valores de DQO entre 500 y 600 mg/L.

La celda de electrocoagulación consta de una celda de forma paralelepípeda rectangular con una capacidad de 4,5 litros. Los materiales de los electrodos son aluminio (ánodo) y hierro (cátodo) con un área de 100 cm<sup>2</sup> ubicados a una distancia de 10 mm.

---

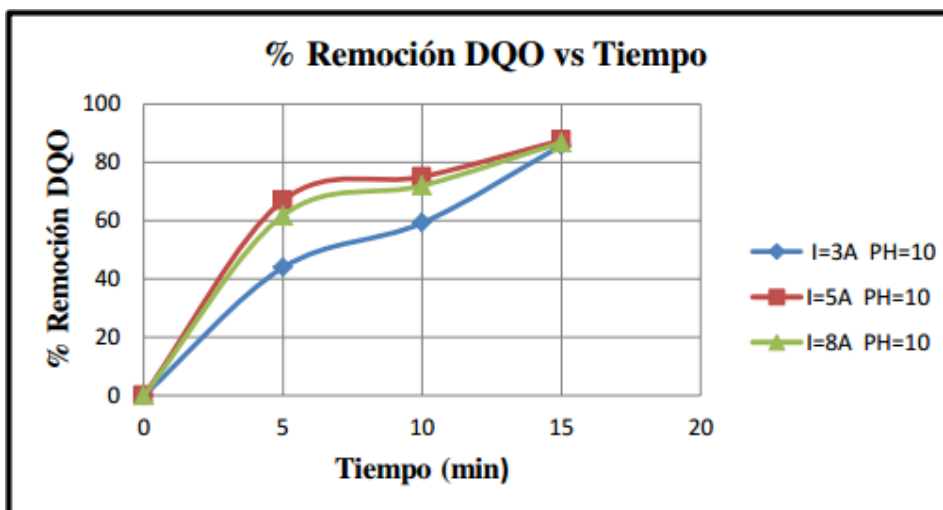
<sup>36</sup> AGUILAR ASCON, Edwar Alejandro. Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2015. p. 64.

**Gráfica 11.** Concentración de DQO en función del tiempo aplicando la electrocoagulación con un pH de 10.



**Fuente:** AGUILAR ASCON, Edwar Alejandro. Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2015. p. 64.

**Gráfica 12.** Porcentaje de reducción de la DQO en función del tiempo aplicando la electrocoagulación con un pH de 10.



**Fuente:** AGUILAR ASCON, Edwar Alejandro. Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2015. p. 64.

**3.2.2.2 Costos estimados de insumos y equipos.** La electrocoagulación permite la remoción de una alta cantidad de contaminantes del agua residual en una sola operación, lo cual es económico y ambiental para el tratamiento del agua residual de muchas industrias. Según Restrepo *et al*<sup>37</sup> los costos de capital y los costos de operación de este tratamiento son mucho menores comparándolos con un tratamiento por coagulación química. Estos costos dependerán del caudal de agua a tratar, la concentración de contaminantes y la zona en la que se desea realizar el tratamiento. Los costos de operación dependen en buena medida del material de los electrodos. Por ejemplo, cuando se trata el agua residual de la industria textil por electrocoagulación con electrodo de hierro como electrodo de sacrificio, los costos de operación son del orden de US\$ 0,1 por kg de DQO removido y cuando el electrodo de sacrificio es de aluminio, su costo de operación es del orden de US\$ 0,3 por kg de DQO removido. Los costos del electrodo de sacrificio son alrededor del 50% de los costos totales para el hierro, y del 80% para el aluminio.

**Tabla 13.** Estimación de costos de equipos del tratamiento de electrocoagulación para 1 m<sup>3</sup>/h.

<b>Equipo</b>	<b>Valor</b>
Tubería y Accesorio	COP \$ 1'000.000
Fuente de voltaje (400 Å)	COP \$ 14'332.500
Celda electroquímica	COP \$ 9'000.000
Total	COP \$24'332.500 (USD \$ 8.110,8)

**Fuente:** ARANGO RUÍZ, Álvaro, *et al.* Análisis de costos de la electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea. Bogotá: Corporación Universitaria Lasallista, 2008. p. 19.

**3.2.2.3 Área requerida.** Con el fin de estimar el área requerida para tratar el agua residual se hará uso del dimensionamiento de un equipo portátil piloto de electrocoagulación fabricado por la empresa F & T *water solution*<sup>38</sup>, que tiene la capacidad de tratar 2 gpm y cuenta con un área de 1944 in<sup>2</sup> (1,25 m<sup>2</sup>), el cual permite al usuario controlar la tasa de flujo de agua a tratar, voltaje, corriente eléctrica, material del electrodo y espaciado. Las especificaciones se presentan en la siguiente tabla:

<sup>37</sup> RESTREPO MEJIA, Ana Patricia, *et al.* La electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas. Bogotá D.C.: Universidad de la Salle, 2006. p. 72.

<sup>38</sup> F & T WATER SOLUTIONS. Variable electro precipitator™: 2 - 10 gpm portable pilot system. [en línea]. <<http://www.ftwatersolutions.com/electrocoagulation/commercial-systems>> [citado en 12 de enero de 2018]

**Tabla 14.** Especificaciones del equipo portátil piloto de electrocoagulación.

<b>Modelo</b>	<b>F&amp;T VEP 2GPM</b>
Requerimientos de potencia	1 fase 220V 160Amp/208V 150Amp
Conexión de agua de entrada	½" NPT, 10PSI
Conexión de agua de salida	½" NPT
Número de reactores	4
Máximo flujo	2 gpm
Alimentación a la bomba	Peristáltico
Electrodos por reactor	13
Ajuste de alivio de presión	30 PSI
Rango de pH del material	3-9
Material de tubería	PVC
Dimensión física	72"H x 72" L x 27"W
Peso de envío	500 lbs
Entrenamiento y certificación del operador	2 días
Tiempo de configuración típico	>1 hora

**Fuente:** F & T WATER SOLUTIONS. Variable electro precipitator™: 2 - 10 gpm portable pilot system. [en línea]. <<http://www.ftwatersolutions.com/electrocoagulation/commercial-systems>> [citado en 12 de enero de 2018]

**3.2.2.4 Disponibilidad de materiales y equipos para la evaluación a escala laboratorio.** Para llevar a cabo la aplicación de la electrocoagulación a nivel de laboratorio se requiere del diseño y construcción de una celda electrolítica, de la elección de parámetros como el material de los electrodos de sacrificio, la distancia entre electrodos, las dimensiones y número de electrodos, la configuración de la celda de electrocoagulación, el voltaje y amperaje de la fuente de energía eléctrica.

La distancia entre electrodos, la densidad de corriente, el pH y el tiempo de electrocoagulación son condiciones que se determina dentro del desarrollo experimental, analizando la variación de cada uno de estos con respecto a la variable respuesta, es decir, el parámetro del agua que se quiere reducir.

Para llevar a cabo el diseño experimental en los laboratorios de la Universidad América no se cuenta con los electrodos de sacrificio ni con la celda de electrocoagulación.

### 3.2.3 Tratamiento biológico

**3.2.3.1 Porcentaje de remoción de DQO y DBO.** Bohórquez<sup>39</sup> realizó una propuesta para el uso de lodos activados en el agua residual de la Fábrica De Chocolates Triunfo S.A. con el objetivo de disminuir los niveles de DQO; en dicha propuesta se realizó un diagnóstico de la PTAR actual junto con una caracterización inicial del agua, posteriormente se realizó un montaje a nivel laboratorio de un reactor de mezcla completa donde se simuló los lodos activados para realizar las pruebas correspondientes del desempeño de la propuesta, para finalizar se realizó el dimensionamiento de los equipos y el costo de los mismos para ser implementado a nivel industrial. Los resultados arrojaron un 50% de remoción en el parámetro de DQO con respecto a la salida del tratamiento realizado en la PTAR de la fábrica y se muestran en la tabla 15.

**Tabla 15.** Comparación del agua residual proveniente de la PTAR y el efluente del reactor.

Parámetro	Afluente	Efluente	Resolución 0631/15 (Valores máximos permitidos)
Temperatura (°C)	19,7-21,3	17-21	NA
pH	7,15-7,71	7,27-7,91	5 a 9
Sólidos sedimentables (SS) (mg/Lh)	313,67	0,33	3
Sólidos Totales (SST) (mg/L)	1020,8	128	300
DQO (mg/L O <sub>2</sub> )	5548	3004	900

**Fuente:** BOHÓRQUEZ TORRES, Lorena Angélica. Propuesta Para La Evaluación De DQO En El Agua Residual Generada Por La Fábrica De Chocolates Triunfo S.A. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América, 2016. p. 54.

**3.2.3.2 Costos estimados de insumos y equipos.** Los costos variables y fijos del tratamiento biológico se tomaron del análisis financiero realizado en el trabajo de grado titulado Propuesta para la evaluación de DQO en el agua residual generada por la fábrica de chocolates Triunfo S.A. de la Fundación Universidad de América y se presentan en los cuadros 2 y 3. Allí se consideró un análisis costo-beneficio comparando los costos de inversión con los costos de sanciones para determinar la viabilidad del proyecto

<sup>39</sup> BOHÓRQUEZ TORRES, Op. cit. p. 55.

**Cuadro 2.** Costo de equipos principales y materiales para implementación del tratamiento Biológico.

Equipo	Especificaciones	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Arena	De río x 4 m <sup>3</sup>	1	\$ 629 400	\$ 629 400
Cemento	Gris x 50 kg	42	\$25 700	\$ 1 079 400
Grava	Gravilla x 4 m <sup>3</sup>	1	\$ 629 600	\$ 629 600
Motobombas para lodos	Potencia 2 HP	2	\$ 1 818 000	\$ 3 636 000
Soplador tipo regenerativo	Potencia 3 HO	1	\$ 2 599 200	\$ 2 599 200
Indicador de filtro obstruido		1	\$ 52 000	\$ 52 000
Tanque	PVC 1000 L	1	\$ 298 900	\$ 298 900
Tubería	PVC 4'' x 6 m	3	\$ 323 900	\$ 971 700
Válvulas mariposa	PVC 4'' x 4 und	1		\$0
Subtotal				\$ 9 896 200
IVA 16%				\$ 1 583 392
Total				\$ 11 479 592

**Fuente:** BOHÓRQUEZ TORRES, Lorena Angélica. Propuesta Para La Evaluación De DQO En El Agua Residual Generada Por La Fábrica De Chocolates Triunfo S.A. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América, 2016. p. 72.

**Cuadro 3.** Costos anuales de energía y operación.

Concepto	Cantidad	Valor unitario	Valor anual
Cadena de custodia	2	\$450.000	\$900.000
Caracterizaciones laboratorio	2	\$250.000	\$500.000
Energía Bombas (2HP)	8,232	\$479	\$1.439.628
Energía Soplador (3HP)	49,392	\$479	\$8.637.769
<b>TOTAL</b>		<b>\$11.477.397</b>	

**Fuente:** BOHÓRQUEZ TORRES, Lorena Angélica. Propuesta Para La Evaluación De DQO En El Agua Residual Generada Por La Fábrica De Chocolates Triunfo S.A. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América, 2016. p. 72.

A partir de estos valores se estimó que el costo fijo por m<sup>3</sup>/h es de USD \$2.657,31 y los costos variables por kg de DQO removido es de USD \$0,12.



**3.2.3.3 Área requerida.** El trabajo de grado anteriormente mencionado presenta una estimación de las dimensiones del reactor biológico y el sedimentador secundario acorde a un modelo cuya eficiencia de remoción de DQO es del 48%. Según dichas especificaciones ilustradas en la tabla 16, se requiere de un área total de 42 m<sup>2</sup> que se distribuyen en 41 m<sup>2</sup> para el reactor y 0,77 m<sup>2</sup> para el sedimentador.

**Tabla 16.** Resumen de Dimensiones.

Dimensión	Valor
<b>Reactor</b>	
Altura (m)	2
Ancho (m)	3,67
Longitud (m)	11,01
Volumen (m <sup>3</sup> )	80,81
<b>Sedimentador</b>	
Altura (m)	2
Ancho (m)	0,51
Longitud (m)	1,52
Volumen (m <sup>3</sup> )	1,54

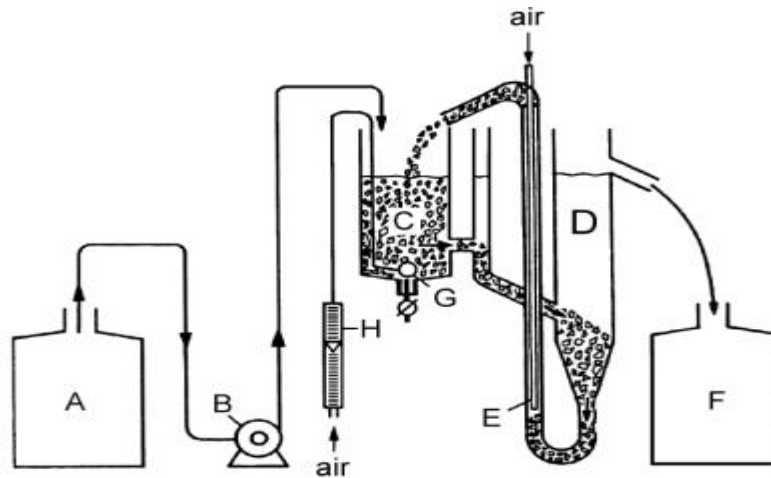
**Fuente:** BOHÓRQUEZ TORRES, Lorena Angélica. Propuesta Para La Evaluación De DQO En El Agua Residual Generada Por La Fábrica De Chocolates Triunfo S.A. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América, 2016. p. 70.

**3.2.3.4 Disponibilidad de materiales y equipos para la evaluación a escala laboratorio.** Para poder realizar el desarrollo experimental de un tratamiento biológico adicional, Bohórquez<sup>40</sup> recomienda el uso de un reactor de mezcla completa con agua residual proveniente de la salida de la PTAR de la fábrica haciendo uso de una siembra de microorganismos y circulando aire comprimido en el reactor. Para simular dicho reactor es necesario emplear una válvula de regulación de caudal junto con un dispositivo de reducción de diámetro que permita la entrada del agua al reactor. Para Castellar *et al*<sup>41</sup> mantener las condiciones aerobias adecuadas en un reactor biológico es indispensable el uso de un difusor de aire y hacer el montaje de una planta piloto como se muestra en la figura 9.

<sup>40</sup> BOHÓRQUEZ TORRES, Op. cit. p. 40

<sup>41</sup> CASTELLAR, *et al*. Planta piloto de tratamiento biológico de efluentes. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena. p.13.

**Figura 9.** Planta piloto de estudio de tratamiento biológico de efluentes.



**Fuente:** CASTELLAR, *et al.* Planta piloto de tratamiento biológico de efluentes. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena. p.13.

Donde:

- A: Tanque de almacenamiento del agua residual
- B: Bomba dosificadora
- C: Cámara de aireación de 3 litros de capacidad
- D: Decantador
- E: Bomba de aire comprimido
- F: Colector
- G: Dispositivo de aireación
- H: Medidor de flujo de aire

A partir del montaje de la planta piloto se procede a poner en funcionamiento el reactor biológico por medio de la inoculación de un fango activo. Inicialmente se procede a llenar la cámara de aireación y el decantador con agua residual para activar el dispositivo de aireación, la bomba de aire comprimido y la bomba dosificadora. El agua residual pasa a través de la cámara de aireación a razón de 1 litro por hora para obtener un tiempo de retención de 3 horas y la inoculación se hará introduciendo efluente secundario extraído de una planta de tratamientos que trabaje con agua residuales. Cada cierto tiempo se deben tomar muestras del efluente y se analizan parámetros como pH, conductividad y la cantidad de lodos que se producen.

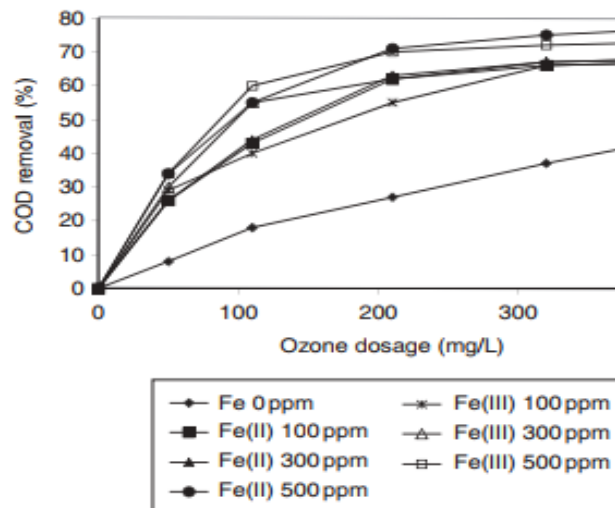
En la Universidad de América se cuentan con los recursos necesarios para la evaluación de este tratamiento a escala laboratorio, exceptuando el dispositivo de aireación es cual es esencial para la simulación de los lodos activados aerobios.

### 3.2.4 Ozonización

**3.2.4.1 Porcentaje de reducción de DQO y DBO.** El proceso consiste en una oxidación química de los compuestos orgánicos presentes en el agua por medio de la generación de un ion hidroxilo con una elevada capacidad de oxidación y un tiempo de reacción corto. Según Castañeda<sup>42</sup> la técnica de ozonización se basa principalmente en lograr un tiempo de contacto adecuado del agua con la cantidad adecuada de ozono. Las concentraciones entre 0,5 y 0,8 mg/L de ozono durante unos cuatro minutos son suficientes para conseguir una calidad de agua excelente y desinfectada. En este documento se presenta el efecto de la ozonización en las aguas de producción las cuales se trataron en un reactor discontinuo de 1 L, un pH de 8 y la reacción se prolonga hasta que el consumo de ozono alcanza 1 g/L. El porcentaje de remoción de DQO fue del 35%.

En Donnell *et al*<sup>43</sup> se prueba la capacidad de remoción de la ozonización en varias aguas residuales de diferentes industrias alimentarias; la siguiente gráfica muestra el porcentaje de remoción de DQO en la industria del procesamiento de frutas y vegetales utilizando un catalizador de hierro y empleando ozono con una frecuencia de 7 mg/min.

**Gráfica 13.** Porcentaje de remoción de DQO vs. dosificación de ozono.



**Fuente:** DONNELL, *et al.* Ozone in food processing. Oxford: Blackwell publishing LTD., 2012. p. 206.

<sup>42</sup> CASTAÑEDA JIMÉNEZ, Amparo Carolina. Procesos de oxidación avanzada aplicados en el tratamiento de aguas de la industria del petróleo. Bogotá D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2014. p. 39.

<sup>43</sup> DONNELL, *et al.* Ozone in food processing. Oxford: Blackwell publishing LTD., 2012. p. 206.

Para el porcentaje de remoción de DBO, Upadhyay<sup>44</sup> realizó un montaje experimental en el que evaluó el porcentaje de reducción de la DBO por medio de la ozonización para una muestra de aguas residuales de una industria de jabones y detergentes; obteniendo un porcentaje de remoción de DBO de 50,6%, 55,2% y 60,4 para una dosificación de ozono de 19, 21,58 y 30,7 mg/L respectivamente.

**Cuadro 4.** Variación del tiempo de reacción de ozono y reducción de DBO.

Tiempo de reacción Ozono (min)	Reducción DBO con 19 mg/L de dosificación de ozono	Reducción DBO con 21,58mg/L de dosificación de ozono	Reducción DBO con 30,7mg/L de dosificación de ozono
0	709,2	709,2	709,2
2	652,4	624	581,5
4	539	510,6	461
6	319	297,8	246,2
8	141,8	127,6	99,2
10	99,2	85,1	28,3

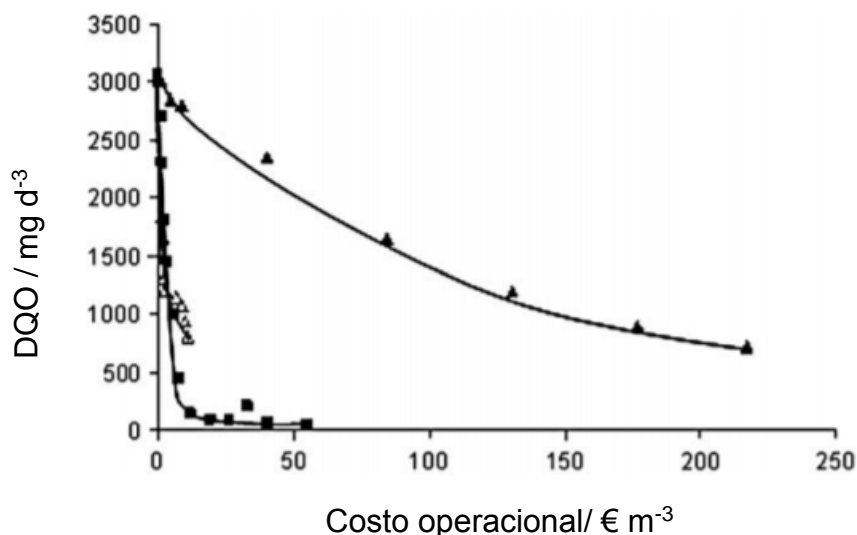
**Fuente:** UPADHYAY, Arun, *et al.* Treatability study of soap and detergent industry wastewater by ozonation process. India: Ujjaine engineering collage, 2012.

**3.2.4.2 Costos estimados de insumos y equipos.** Para los costos fijos y variables de un proceso de ozonización, Cañizares et al<sup>45</sup> emplearon el método en agua residual de una industria de aceite de oliva, empleando un flujo constante de 0,5 dm<sup>3</sup>/min de una corriente de ozono/oxígeno, la producción promedio de ozono fue de 1 gr/h, el volumen de agua tratada fue de 2 dm<sup>3</sup>, la DQO inicial y final es de 3000 mg/dm<sup>3</sup> y 900 mg/dm<sup>3</sup> respectivamente, el pH se mantuvo en 12, la cantidad de oxidante utilizado fue de 4,2 kg O<sub>2</sub> /m<sup>3</sup>, el requerimiento de ozono fue de 19,7 kg O<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>, el consumo de energía de 1814 kWh/m<sup>3</sup>, el NaOH utilizado es de 1,2 kg/m<sup>3</sup> y la temperatura se mantuvo constante con un reactor enchaquetado en un baño termostático. Se obtuvo un porcentaje de remoción de la DQO del 70% con la cual se calcularon los costos fijos y variables del tratamiento.

<sup>44</sup> UPADHYAY, Arun, *et al.* Treatability study of soap and detergent industry wastewater by ozonation process. India: Ujjaine engineering collage, 2012.

<sup>45</sup> CAÑIZARES, Pablo, *et al.* Cost of electrochemical oxidation of wastewaters: a comparison with ozonation and fenton oxidation processes. Ciudad Real: Universidad de Castilla- La Mancha, 2007. p. 412 – 418.

**Gráfica 14.** Variación del costo operacional con la demanda química de oxígeno en el tratamiento de aguas residuales de la industria de aceite de oliva.



**Fuente:** CAÑIZARES, Pablo, *et al.* Cost of the electrochemical oxidation of wastewaters: a comparison with ozonation and Fenton oxidation processes. Ciudad Real: Universidad de Castilla- La Mancha, 2007. p. 415.

Donde:

- Oxidación electroquímica con diamante conductivo.
- ▲ Ozonización en un pH alcalino.
- △ Proceso Fenton.

**Cuadro 5.** Estimación de costos de insumos y equipos del tratamiento de ozonización.

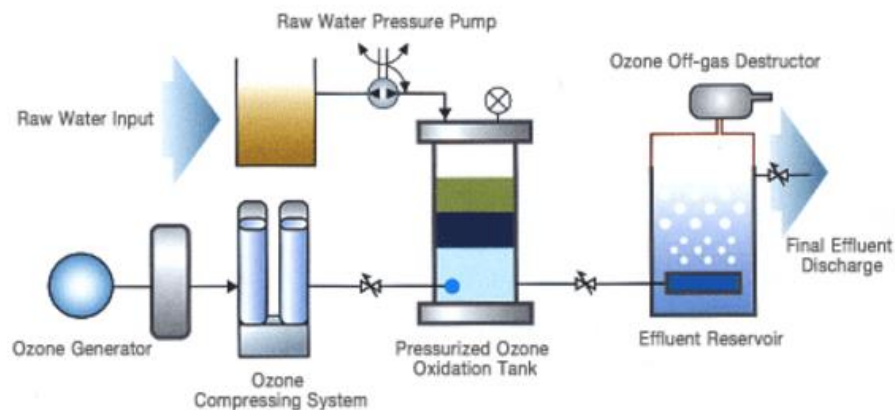
Precio del NaOH	US \$ 124,88/ Kg (*)
Energía eléctrica	COP \$ 503,37/Kwh (**)
Sistema de ozonización	EUR 2'549.856/ m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> (***)

**Fuente:** (\*) <https://co.all.biz/soda-caustica-bgg1003851>, (\*\*) Tarifas de energía eléctrica reguladas por la comisión de regulación de energía y gas (CREG) mayo de 2017, Codensa, (\*\*\*) CAÑIZARES, Pablo *et. al.*, Cost of electrochemical oxidation of wastewaters: a comparison with ozonation and fenton oxidation processes, Ciudad Real: Universidad de Castilla- La Mancha, 2007, p. 418.

A partir de los anteriores datos se obtuvo una aproximación de los costos variables de la ozonización obteniendo un costo por kg de DQO removido de US \$ 144,95; hay que tener en cuenta que este valor varía según el tipo de agua residual empleada debido a que se puede necesitar más o menos cantidad de ozono para tratarla, lo que tiene un impacto significativo en el coste de energía eléctrica.

**3.2.4.3 Área requerida.** La ozonización a nivel industrial debe emplear un generador de ozono in situ, ya que el transporte de este es muy complicado debido a la inestabilidad molecular, el ozono debe pasar a un sistema de compresión antes de ser mezclado con el agua en un tanque de oxidación para la degradación de los contaminantes. Por último, es necesario un tanque de almacenamiento del agua tratada para separar a esta del ozono sobrante.

**Figura 10.** Proceso de ozonización industrial.



**Fuente:** O<sub>2</sub> Offering technologies. PO<sub>2</sub> Process, [En línea]. [Citado julio 18, 2017]. Disponible en internet: < [http://eng.mdof.co.kr/2\\_technology/t2.asp](http://eng.mdof.co.kr/2_technology/t2.asp) >.

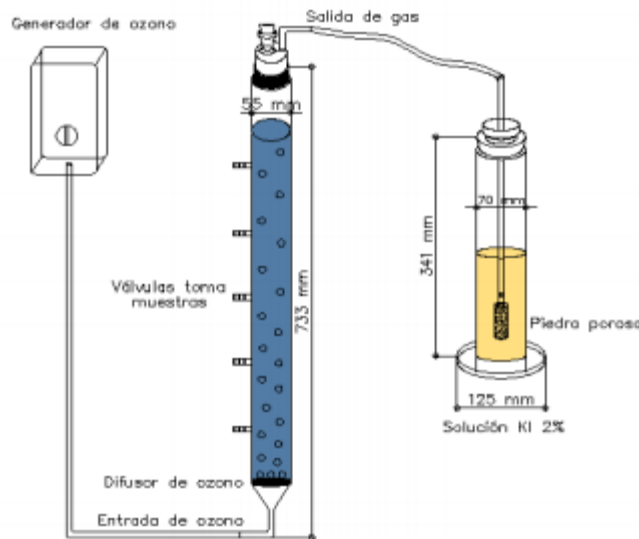
Para saber el área que puede ocupar un tratamiento por ozonización es necesario saber el tamaño del generador de ozono dependiendo del caudal de agua residual a tratar. Los generadores de ozono normalmente se clasifican en libras por día (lbs / día) o gramos por hora (g / h). La tasa de generación de ozono requerida a veces se refiere a la dosis aplicada de ozono (AOD). También necesitaríamos conocer el índice de flujo, ya que la mayoría de los requisitos de demanda de ozono se calculan en gramos o miligramos por litro. Por lo tanto, la cantidad de agua tratada durante un período de tiempo es necesaria.

$$\text{AOD (g / h)} = (\text{Demanda de ozono (g / l)} / \text{Eficiencia de transferencia de ozono (\%)}) \times \text{Velocidad de flujo (l / h)}$$

La única manera de conocer con exactitud la cantidad adecuada de ozono y el tamaño requerido del generador de ozono es llevar a cabo pruebas piloto con equipos de transferencia de ozono similares a los que se utilizarán a gran escala.

**3.2.4.4 Disponibilidad de materiales y equipos para la evaluación a escala laboratorio.** Grisales<sup>46</sup> evaluó el poder degradativo del ozono a diferentes condiciones de pH en aguas hospitalarias, analizando los valores de la UV<sub>254</sub>, la relación de biodegradabilidad DQO/DBO<sub>5</sub> y el color (VIS<sub>436</sub>) por medio de un ensayo de laboratorio. El experimento se realizó empelando un reactor de tubo cilíndrico tipo Batch, el cual tiene un difusor poroso en el fondo; un generador de ozono Microzone 300P 120V/60HZ marca Clearwater Tech, un frasco cilíndrico con KI AL 2% para el ozono no consumido y un difusor de burbuja de forma cilíndrica en la parte inferior. El esquema del experimento se muestra en la figura 11.

**Figura 11.** Esquema del sistema de ozonización.



Fuente: GRISALES PENAGOS, Dayana Katerine. Implementación de ozono como tratamiento en aguas de origen hospitalario. Bogotá D.C.: Universidad Militar Nueva Granada. p. 5.

En los laboratorios de la Fundación Universidad de América no se cuenta con un generador de ozono para poder realizar el montaje y el ensayo de ozonización.

### 3.3 MATRIZ DE PRIORIZACIÓN

La selección de la alternativa a evaluar experimentalmente se realiza por medio de una matriz de priorización, de manera subjetiva debido a que no se cuenta con

<sup>46</sup> GRISALES PENAGOS, Dayana Katerine. Implementación de ozono como tratamiento en aguas de origen hospitalario. Bogotá D.C.: Universidad Militar Nueva Granada. p. 4-6.

valores experimentales. La metodología aplicada según Camisón *et al*<sup>47</sup> para desarrollar la matriz de priorización, se describe a continuación:

**a) Definir el objetivo a conseguir**

Para este proyecto el objetivo que se pretende conseguir es obtener una alternativa que se adapte a las necesidades de la fábrica en cuanto a la reducción de DQO y DBO.

**b) Creación del listado de criterios a aplicar a las opciones generadas**

- Porcentaje de reducción de DQO y DBO según la literatura (%Red.).
- Costos estimados de insumos y equipos (Cost.).
- Área requerida (Area).
- Disponibilidad de materiales y equipos para la evaluación a escala laboratorio (Lab.).

**c) Juzgar la importancia relativa en comparación con los otros criterios.**

A partir del listado generado de criterios, se determina la importancia de cada uno de ellos valorando cada criterio al asignarle una puntuación. Para ello, se realiza una matriz donde tanto en la primera columna y en la primera fila figuren los criterios.

Se compara la importancia relativa de cada criterio con respecto al resto de criterios utilizando la siguiente escala predeterminada y realizando la siguiente pregunta criterio por criterio: ¿Cómo es de importante/ preferente es el criterio uno frente al dos?, y así sucesivamente.

10: Significativamente más importante

5: Más importante

1: Igualdad de importancia

1/5: Menos importante

1/10: Mucho menos importante

Para completar la matriz se registra en las celdas inferiores de la diagonal los valores inversos a sus simétricos. Luego se suman las puntuaciones de cada fila y se anota el total obtenido. Después se suman los totales de todas las filas y se registra el total global.

Posteriormente para calcular el factor de ponderación (FP) se divide la suma total de cada fila por el total global.

---

<sup>47</sup> CAMISÓN, Cesar; CRUZ, Sonia y GONZÁLEZ, Tomás. Gestión de la calidad: conceptos, enfoques, modelos y sistemas. Valencia: Universitat de València, 2006. p. 1306- 1318.



	% Red.	Cost.	Area	Lab.	Suma	Factor de ponderación (FP)
% Red.		5	5	10	20	0,554
Cost.	1/5		5	5	10,2	0,282
Area	1/5	1/5		5	5,4	0,150
Lab.	1/10	1/5	1/5		0,5	0,014
TOTAL					36,1	

A partir de la matriz anterior se deduce que los distintos criterios tienen los siguientes pesos específicos:

Criterios	Ponderación
Porcentaje de reducción de DBO y DQO (%Red.)	55,4 %
Costos estimados de insumos y equipos ( Cost.)	28,2%
Área requerida (Área)	15%
Disponibilidad de materiales y equipos para la evaluación a escala laboratorio (Lab.)	1,4%

**d) Comparar todas las alternativas consideradas con los criterios ponderados.**

- Coagulación- floculación (CF)
- Electrocoagulación (EC)
- Tratamiento biológico (TB)
- Ozonización (OZ)

Se analiza como cada una de las alternativas contribuye a satisfacer cada uno de los criterios seleccionados. Se hará una matriz por cada criterio y se completaran utilizando la escala predeterminada anteriormente

- 10: Mucho mejor
- 5: Mejor
- 1: Igual
- 1/5: Peor
- 1/10: Mucho peor

<b>Criterio: Porcentaje de reducción de DQO y DBO</b>						
	CF	EC	TB	OZ	Suma	Peso de la opción (OP)
CF		5	10	10	25	0,491
EC	1/5		10	10	20,2	0,397
TB	1/10	1/5		5	5,3	0,104
OZ	1/10	1/10	1/5		0,4	0,008
<b>TOTAL</b>					<b>50,9</b>	

Esta matriz indica que las alternativas que más contribuyen sobre la reducción de DQO y DBO son, en orden de importancia: primero coagulación-floculación, segundo electrocoagulación, tercero tratamiento biológico y cuarto ozonización.

<b>Criterio: Costos estimados de insumos y equipos</b>						
	CF	EC	TB	OZ	Suma	Peso de la opción (OP)
CF		5	1/5	10	7	0,187
EC	1/5		1/5	10	10,2	0,272
TB	5	5		10	20	0,533
OZ	1/10	1/10	1/10		0,3	0,008
<b>TOTAL</b>					<b>37,5</b>	

Esta matriz indica que las alternativas que menor costo de insumos y equipos presentan, en orden de importancia: primero tratamiento biológico, segundo electrocoagulación, tercero coagulación-floculación y cuarto ozonización.

<b>Criterio: Área requerida</b>						
	CF	EC	TB	OZ	Suma	Peso de la opción (OP)
CF		1	5	1/5	6,2	0,223
EC	1		5	1/5	6,2	0,223
TB	1/5	1/5		1/5	0,4	0,014
OZ	5	5	5		15	0,540
<b>TOTAL</b>					<b>27,8</b>	

Esta matriz indica que las alternativas que menor área requerida presentan, en orden de importancia: primero ozonización, segundo coagulación –floculación, tercero electrocoagulación y cuarto tratamiento biológico.

<b>Criterio: Disponibilidad de materiales y equipos para la evaluación a escala laboratorio</b>						
	CF	EC	TB	OZ	Suma	Peso de la opción (OP)
CF		5	10	10	30	0,589
EC	1/5		5	10	15,2	0,299
TB	1/10	1/5		5	5,3	0,104
OZ	1/10	1/10	1/5		0,4	0,008
<b>TOTAL</b>					<b>50,9</b>	

De manera análoga, la interpretación de esta última matriz indica que las alternativas que mayor disponibilidad de materiales y equipos para la evaluación a escala laboratorio presentan, en orden de importancia: primero coagulación-floculación, segundo electrocoagulación, tercero tratamiento biológico y cuarto ozonización.

**e) Comparar cada alternativa en base a la combinación de todos los criterios.**

En este paso se construye la matriz final donde se registran las diferentes alternativas en las filas y todos los criterios en las columnas. Posteriormente se registran las puntuaciones obtenidas en el paso de para cada criterio.

Se etiqueta las filas con las alternativas y las columnas con los criterios y se multiplica el factor de ponderación (FP) por el peso de la opción (PO), y se selecciona la alternativa que obtenga el puntaje final mayor (PF).

	% Red.	Cost.	Área	Lab.	Puntaje Final (PF)
CF	0,272	0,053	0,033	0,008	0,366
EC	0,220	0,077	0,033	0,004	0,334
TB	0,058	0,150	0,002	0,002	0,212
OZ	0,004	0,002	0,081	0,001	0,088

Se elige como mejor alternativa a emplear el tratamiento fisicoquímico de coagulación – floculación, el cual obtuvo el mayor puntaje final debido a que presenta el mejor porcentaje de remoción según la literatura, es el segundo con menor costo después del tratamiento biológico y se cuenta con los materiales y equipos necesarios para llevar a cabo la experimentación en el laboratorio.

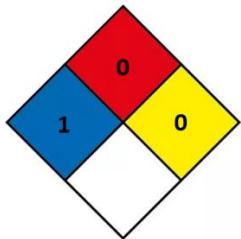
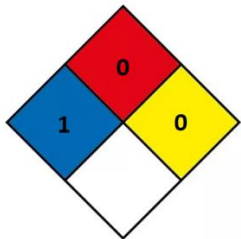

#### 4. DESARROLLO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se establecen las variables de interés y las condiciones en las que se realiza el desarrollo experimental. Al igual que se describe la metodología que se empleó a lo largo de la experimentación a escala laboratorio; por último, se analizan los resultados obtenidos. El tratamiento de coagulación - floculación se realizó por medio de un Test de jarras en los laboratorios de la Universidad de América.

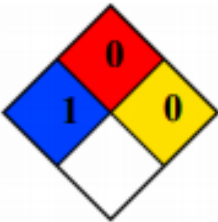

##### 4.1 REACTIVOS Y EQUIPO

A continuación, se enlista los reactivos que se emplean en el diseño experimental, junto con sus características más importantes y el rombo de NFPA.

**Cuadro 6.** Coagulantes y floculantes utilizados en el desarrollo experimental.

Coagulante			
Sulfato de aluminio Tipo A ( $Al_2(SO_4)_3$ )	Sustancia empleada como coagulante para el tratamiento de aguas potables, piscinas, en la fabricación de detergentes, en la industria, petroleras y tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales.	Estado Físico: Granular o polvo. Color: Blanco. Olor: Ninguno Moderadamente corrosivo cuando se disuelve en agua.	
Sulfato de aluminio analítico ( $Al_2(SO_4)_3$ )	Es empleado en la purificación de aguas y como mordiente de pigmentos en textiles.	Estado Físico: Sólido Granulado. Apariencia y olor: Blanco sin olor característico. pH: 3-4 en solución al 1% en agua Temperatura de descomposición: 760 °C.	
Cloruro férrico ( $FeCl_3$ ),	Se utiliza como coagulante en el tratamiento de aguas residuales, para la potabilización del agua, y en la industria electrónica para el grabado químico de plaquetas de circuito impreso	Pto. de fusión: 37 °C Densidad: 2,9 g/cm <sup>3</sup> Solubilidad en agua, g/100 mL a 20 °C: 92 reacciona.	

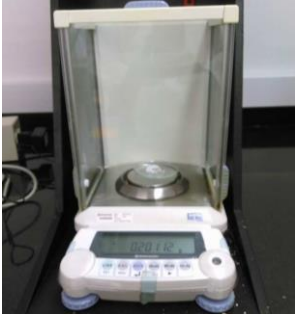

**Cuadro 6.** (Continuación).

<b>Coagulante</b>			
<p>Hidroxiclورو de aluminio (PAC)</p>	<p>Es un polinuclear de aluminio líquido (hidroxiclورو de aluminio, pac) que se desempeña efectivamente como coagulante inorgánico para aguas tanto potables como residuales.</p>	<p>Estado Físico: Líquido Ambar, Transparente                      Olor: Característico.                      Densidad: 1,35 g/mL a 25 °C.                      Viscosidad: 60cP a 25 °C                      Punto de ebullición: 100°C a 760 mmHg                      Punto de fusión: &lt;-3°C                      pH 1% 4,6+/-0,5                      Soluble en agua</p>	
<b>FLOCULANTE</b>			
<p>Polimero catiónico</p>	<p>Se emplea como floculante para procesos de remoción de contaminantes y clarificación del agua</p>	<p>Estado Físico: Sólido.                      Color: Blanco                      Olor: Ligero olor amoniacal.                      Densidad: 1040 kg/m<sup>3</sup>                      pH: 4,5-5,5</p>	

**Cuadro 7.** Equipos utilizados en el desarrollo experimental del tratamiento de coagulación- floculación.

<p><b>Test de jarras</b>                      Marca: Equifar                      Modelo: JTP-6P                      Serial: 0711008                      Voltaje: 110v (AC)</p>	
<p><b>Turbidimetro</b>                      Marca: Merck                      1100 IR                      Cat No.: 1.18324.0001</p>	

**Cuadro 7.** (Continuación)

<p><b>Balanza analítica de precisión</b> Marca: Shimadzu Modelo: AUW220D e: 1 mg</p>	
<p><b>pHmetro</b> Marca: SI Analytics pH: 0-14</p>	

#### 4.2 MUESTREO

Se tomaron tres muestras puntuales en el clarificador que está ubicado a la salida del reactor biológico; se plantea el tratamiento de coagulación- floculación después del tratamiento biológico debido a que la fábrica previamente había evaluado dicho tratamiento después de la trampa de grasas, empleando sulfato de aluminio y cloruro férrico junto con un polímero catiónico como coayudante, obteniendo bajo rendimiento e inconvenientes en el reactor biológico, ya que los microflocs no sedimentaban y entraban al tratamiento biológico, donde se degradaba y producía mal olor.

La primera muestra se tomó el día 5 de julio de 2017, la cual sirvió para aplicar el test de jarras en las pruebas de la uno (1) a la cuatro (4); la segunda muestra se tomó el 17 de julio de 2017, a la cual se le aplicó el test de jarras de la prueba cinco (5) y seis (6); la tercera toma de muestra fue el 19 de julio de 2017, a la que se le aplicó el test de jarras de la prueba siete (7) y la última el 9 de octubre de 2017 que fue empleada en el test de jarras en la prueba ocho (8). Las muestras se preservaron en refrigeración por un tiempo no mayor a 48 horas, según lo estipulado en la norma NTC-ISO 5667-3.

**Figura 12.** Muestreo puntual en la Fábrica de Chocolates Triunfo S.A.



### 4.3 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para coagulación-floculación se selecciona como primera instancia el coagulante que presenta mayor remoción de contaminantes sin la aplicación del floculante, posteriormente se determina la dosificación del coagulante, al igual que la dosificación del floculante. Los coagulantes empleados fueron: sulfato de aluminio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ), cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ), e hidroxiclورو de aluminio (PAC), los cuales, se tomaron de Pavón *et al*<sup>48</sup>; el floculante utilizado fue un polímero catiónico suministrado por la empresa. La ficha de seguridad y técnica de los reactivos anteriormente mencionados se encuentran en el anexo B.

**4.3.1 Metodología.** El protocolo que se siguió en cada prueba se obtuvo de Tovar y Rodríguez<sup>49</sup>, consistió en medir el pH y la turbiedad de la muestra de agua antes de aplicar el tratamiento como se muestra en la tabla 8, se probaron los agitadores de cada puesto de trabajo para verificar su funcionamiento, luego se añadieron las dosificaciones pertinentes en 500 mL de agua con una agitación de 120 rpm durante un (1) minuto, posteriormente se disminuyó la velocidad de agitación a 40 rpm por quince (15) minutos, y por último se dejó sedimentar por 15 minutos adicionales. En el anexo C se encuentra el diagrama de flujo del procedimiento del test de jarras, el cual está basado en la norma NTC 3903.

Se seleccionaron como variables independientes los coagulantes sulfato de aluminio, cloruro férrico e hidroxiclورو de aluminio (PAC), cada uno con dos concentraciones diferentes, dichos valores se seleccionaron inicialmente con base

---

<sup>48</sup> Pavón, *et al.*, Op. cit. p. 110.

<sup>49</sup> TOVAR, Julia Amanda y RODRIGUEZ, Jayerth. Manual de laboratorio de química industrial inorgánica experimental. Bogotá D.C.: Fundación universidad de américa, 2012. p. 54-57.

a lo realizado por Pavón *et al*<sup>50</sup> tomando las concentraciones máximas y mínimas de los coagulantes, las cuales se denotan en el cuadro 8. Las variables dependientes son el pH y la turbiedad, siendo esta última la variable de interés, debido a que se utiliza como medida de la eficiencia del proceso, teniendo en cuenta que “la turbiedad tiene una relación directa con la DQO y DBO”<sup>51</sup>, ya que no se cuenta con los recursos necesarios para determinar directamente la concentración de estos parámetros en el agua.

**4.3.2 Prueba de jarras 1.** En este ensayo, no se midió el pH final ni la turbiedad de la muestra tratada debido a que no hubo desestabilización ni formación de flocs, a medida que se agregaba el coagulante la muestra no presentaba cambio en el color como se observa en la figura 13 y durante el tiempo en que se sedimentó solo se observa un polvillo al fondo del vaso de precipitado.

**Cuadro 8.** Condiciones del tratamiento coagulación-floculación utilizadas en el desarrollo experimental.

Coagulante	Concentración (mg/L)	Volumen (mL)
<b>Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub></b>	5	0,5
	65	6,5
<b>FeCl<sub>3</sub></b>	5	0,5
	65	6,5
<b>PAC</b>	2,5	0,25
	20	2
Temperatura inicial de la muestra de agua: 16,8 °C		
Turbiedad inicial de la muestra de agua 140 NTU		
pH inicial: 6,45		

**Figura 13.** Muestra de agua cruda.



<sup>50</sup> Pavón *et al.*, Op. Cit, p. 110

<sup>51</sup> BETANZOS V. Abel *et al.*, Variación - Temporal de la turbiedad y calidad en cuerpos de agua marina de uso pesquero, región norcentral de Cuba, 2008-2010., p. 24.



**4.3.3 Prueba de jarras 2.** Se aumentó la dosificación de los coagulantes como se muestra en el cuadro 9. Durante la prueba 2 no se obtienen cambios importantes (formación de coágulos, desestabilización de partículas) hasta las siguientes dosificaciones.

**Cuadro 9.** Dosificaciones y resultados del test de jarras en la prueba 2.

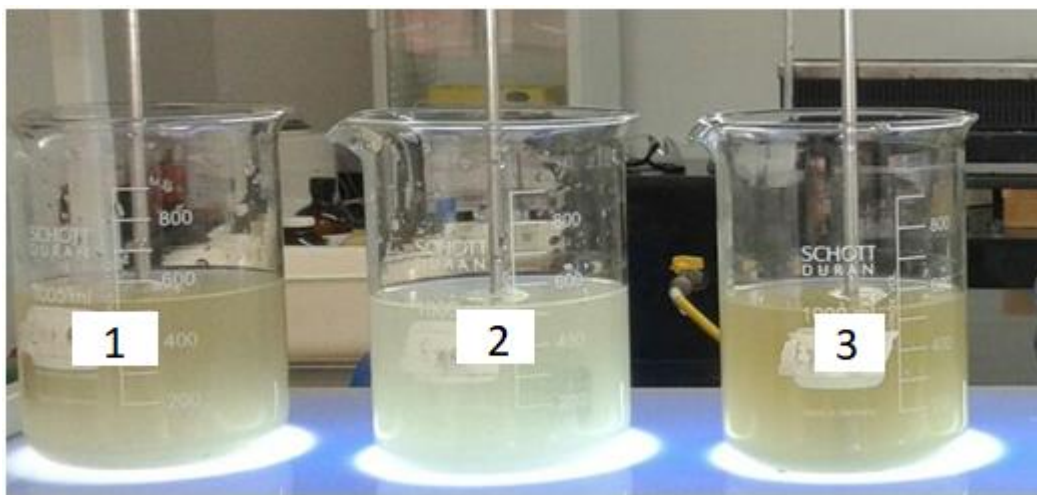
Exp.	Dosificación de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ analítico 10.000 mg/L	Dosificación de $\text{FeCl}_3$ 10.000 mg/L	Dosificación de PAC 2.000 mg/L
1	6,5 ml	0	0
2	0	6,5 ml	0
3	0	0	2 ml
Temperatura de la muestra de agua cruda: 16,8 °C			
Turbiedad inicial de la muestra de agua cruda: 140 NTU			
pH inicial de la muestra: 6,45			

**4.3.4 Prueba de jarras 3.** Se aumenta el volumen de coagulante que se le agrega a cada jarra, manteniendo constante la dosificación como se muestra a continuación en el cuadro 10. Se lleva a cabo el protocolo descrito anteriormente, logrando la desestabilización y formación de flocs como se observa en la figura 15, siendo el mejor resultado el experimento en el que se emplea hidroxocloruro de aluminio con una dosificación de 2000 mg/L agregando 20 mL a la jarra 3, obteniendo un porcentaje de reducción de turbiedad del 92,5%. Se debe tener en cuenta que las pruebas anteriores se realizaron el mismo día en el cual se hizo el muestreo, para las pruebas del día siguiente se utilizó la misma muestra a la cual se le realizó la cadena de custodia, sin embargo, aunque se agita la muestra antes de su uso, se evidencia una disminución leve en la turbiedad por la sedimentación de los sólidos que se encuentran suspendidos.

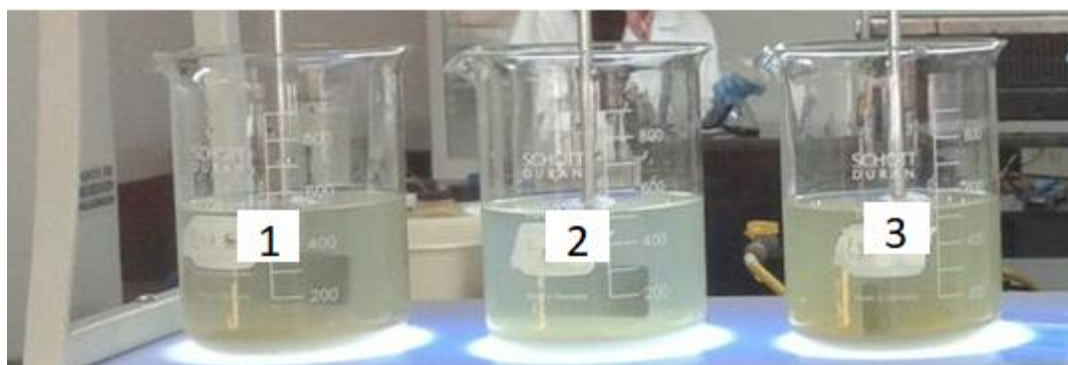
**Cuadro 10.** Dosificaciones y resultados del test de jarras en la prueba 3.

Exp.	Dosificación de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ analítico 10.000 mg/L	Dosificación de $\text{FeCl}_3$ 10.000 mg/L	Dosificación de PAC 2.000 mg/L	Turbiedad (NTU)
1	20 ml	0	0	25,63
2	0	20 ml	0	39,76
3	0	0	20 ml	10,5
Temperatura de la muestra de agua cruda: 16,8 °C				
Turbiedad inicial de la muestra de agua cruda: 140 NTU				
pH inicial de la muestra: 6,45				

**Figura 14.** Muestra de agua cruda prueba 3. Izquierda: Exp. 1, centro: Exp. 2 y Derecha: Exp. 3.



**Figura 15.** Muestra después del test de jarras de la prueba 3. Izquierda: Exp. 1, centro: Exp. 2 y Derecha: Exp. 3.



**4.3.5 Prueba de jarras 4.** Con el fin de disminuir aún más la turbiedad se aumentó la dosificación de los coagulantes, y se fue agregando hasta obtener el pH mínimo establecido por la norma (pH 5), el volumen se registró en el cuadro 11 al igual que los resultados obtenidos. El tiempo de mezcla rápida es de un minuto a 120 rpm, el tiempo de mezcla lenta es de 15 minutos a 40 rpm y el tiempo de sedimentación es de 15 minutos.

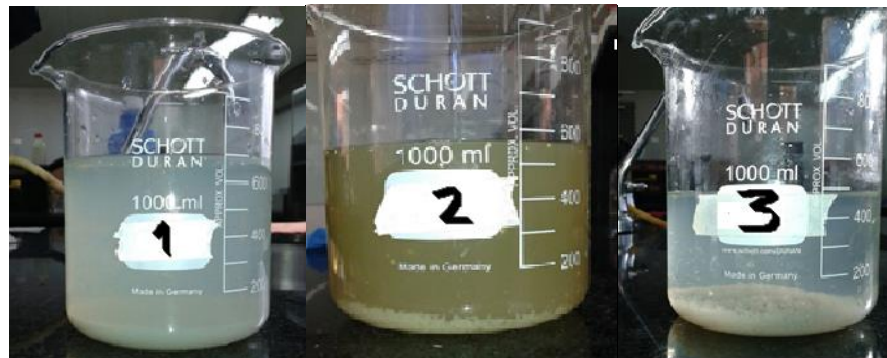
Se obtuvieron mejores resultados con la dosificación de sulfato de aluminio de tipo analítico obteniendo una reducción de turbiedad del 85%. Aunque se observa que en el experimento 3 en la figura 16 el agua es más traslúcida, presenta mayor turbiedad final que el experimento 1, esto se debe a que en la jarra 3 hay más sólidos suspendidos que dispersan la luz emitida por el turbidímetro. Por su parte la turbiedad obtenida al usar cloruro férrico a esa dosificación fue mayor que la inicial,

posiblemente esto se debe a que al aumentar la cantidad de coagulante este produce la inversión de la carga de las partículas, provocando la formación de microfloculos cuyas velocidades de sedimentación son muy bajas dando así una turbiedad final mayor. Por tal motivo se descarta el uso del cloruro férrico en los próximos experimentos. Sin embargo, se obtuvieron mejores resultados con el sulfato de aluminio a comparación de la prueba 3.

**Cuadro 11.** Dosificaciones y resultados del test de jarras en la prueba 4.

Exp.	Dosificación $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ analítico 300.000 mg/L	Dosificación $\text{FeCl}_3$ 300.000 mg/L	Dosificación PAC 240.000 mg/L	Turbiedad (NTU)	pH final
1	0,5 ml	0	0	13,54	6,01
2	0	0,3 ml	0	103	6,33
3	0	0	0,3 ml	47,02	6,03
Temperatura de la muestra de agua: 16,8 °C					
Turbiedad inicial de la muestra de agua: 95,7 NTU					
pH inicial de la muestra: 8					

**Figura 16.** Muestra de agua después del test de jarras de la prueba 4. Izquierda: Exp. 1, centro: Exp. 2 y Derecha: Exp. 3.



**4.3.6 Prueba de jarras 5.** Ahora se emplea un polímero catiónico como floculante con el fin de aglutinar los flóculos y que estos precipiten más fácilmente, agregando 1 mL de solución al 0,2%<sup>52</sup> de polímero catiónico. En la siguiente prueba se utiliza el sulfato de aluminio tipo A suministrado por la fábrica, debido a que es el más utilizado industrialmente; la dosificación del sulfato de aluminio se mantuvo constante variando el volumen cada 0,1 mL empezando con 0,3 mL hasta 0,7 mL.

<sup>52</sup> CRISTANCHO BELLO, Angie Julieth y NOY ORTIZ, Andrés Mauricio. Op. cit., p. 69.

Para el hidroxicloriguro de aluminio se empleó la dosificación y volumen agregado en la prueba 3 (ver cuadro 10) que mejor resultado ha dado hasta el momento.

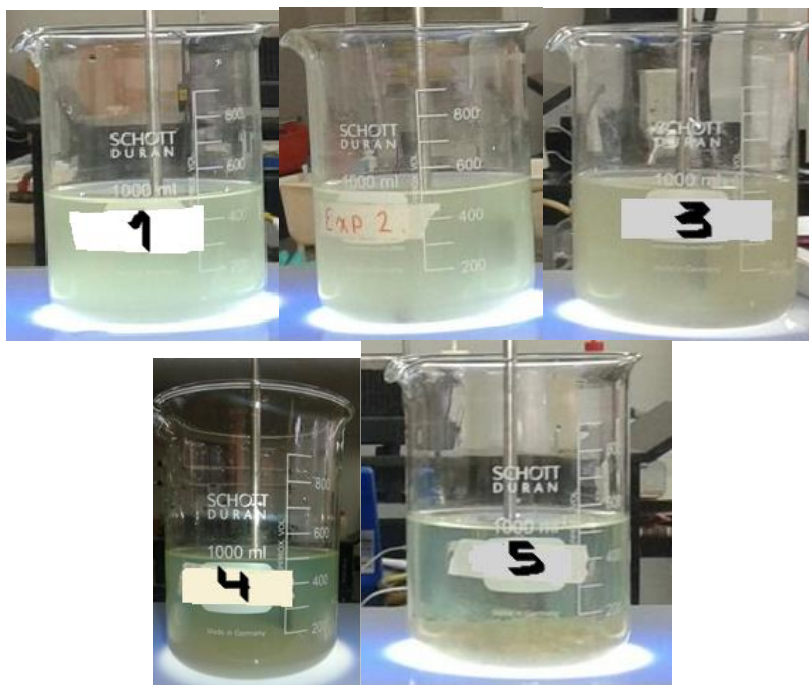
A partir de estos resultados se observa que a la misma dosificación y volumen agregado (30% y 0,5 mL) de sulfato de aluminio tipo A en la prueba 4 jarra 1 y sulfato de aluminio tipo analítico en la prueba 5 jarra 2, los porcentajes de remoción de la turbiedad son 36,15% y 85,85% respectivamente. Esta diferencia significativa en los resultados, se puede dar por varias causas: la primera se debe a la composición del sulfato de aluminio tipo A, ya que presenta 0,5% de materia insoluble, 0,75% de óxido de hierro ( $Fe_2O_3$ ) y 17% de óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ), mientras que el sulfato de aluminio analítico tiene un 99% de pureza, la segunda se debe a que se le aplica el test de jarras a dos muestras tomadas en días diferentes (ver cuadro 11 y 12) con una diferencia de turbiedad de 66,7 NTU y “para cada turbiedad existe una cantidad de coagulante, con el que se obtiene la turbiedad residual más baja, que corresponde a la dosis óptima”<sup>53</sup> y por último la presencia de sales disueltas en el agua, las cuales pueden modificar el rango de pH recomendado y la cantidad de coagulante requerido; debido al bajo rendimiento del sulfato de aluminio tipo A y a la imposibilidad de aumentar la dosificación por los límites permisibles de pH, se descarta el uso del sulfato de aluminio como coagulante ya que el tipo analítico presenta un mejor desempeño pero es más costoso que el tipo A (sulfato analítico: \$160 000 COP/kg, sulfato tipo A: \$12 000 COP/kg). Se escoge como mejor coagulante el hidroxicloriguro de aluminio debido a que es el coagulante que presento mejores resultados en cuanto a la remoción de turbiedad y se necesitan menores cantidades para su uso, por lo cual es rentable.

**Cuadro 12.** Dosificaciones y resultados del test de jarras en la prueba 5.

Exp	Dosificación $Al_2(SO_4)_3$ tipo A 300.000 mg/L	Dosificación PAC 2.000 mg/L	Dosificación polímero 2.000 mg/L (floculante)	Turbiedad (NTU)	pH final
1	0,4 mL	0	1 mL	90,75	7,83
2	0,5 mL	0	1 mL	103,7	7,52
3	0,6 mL	0	1 mL	85,89	7,64
4	0,7 mL	0	1 mL	33,88	6,45
5	0	20 mL	1 mL	3,38	7,92
Temperatura de la muestra de agua: 16,8 °C					
Turbiedad inicial de la muestra de agua: 162,4 NTU					
pH inicial de la muestra: 8					

<sup>53</sup> ANDÍA CÁRDENAS, Yolanda. Op. Cit., p. 19. ñ

**Figura 17.** Muestra de agua después del test de jarras de la prueba 5. Izquierda: Exp. 1, centro: Exp. 2, derecha: Exp. 3, abajo izquierda: Exp. 4 y abajo derecha: Exp. 5.

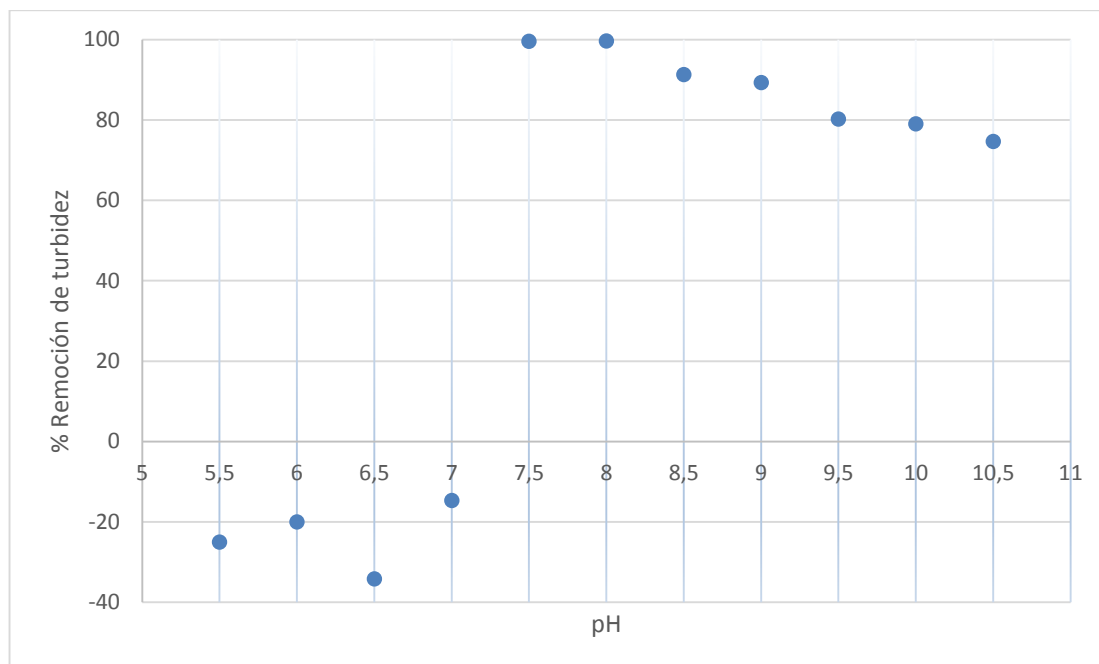


**4.3.7 Determinación del pH recomendado.** Según Cogollo<sup>54</sup> el rango de aplicación recomendado de pH para el hidroxiclورو de aluminio se encuentra entre 5,5 a 9,0 dependiendo del contenido de carbono orgánico disuelto en el agua. Sin embargo, “para cada agua existe un rango de pH óptimo para la cual la coagulación tiene lugar rápidamente, ello depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua”<sup>55</sup>. Con el fin de conocer dicho rango de pH, se deja constante la dosificación y el volumen de coagulante y floculante, así como la velocidad y tiempo de mezcla rápida y mezcla lenta, variando el pH de la muestra de agua cruda en cada prueba haciendo uso de 11 vasos de precipitado cada uno con un pH diferente (5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 7,5; 8,0; 8,5; 9,0; 9,5; 10,0 y 10,5), empleando ácido sulfúrico para disminuirlo e hidróxido de sodio para aumentarlo. Los resultados se muestran en la gráfica 15.

<sup>54</sup> COGOLLO FLÓREZ, Juan Miguel. Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclورو de aluminio. Medellín, 2010.

<sup>55</sup> ANDÍA CÁRDENAS, Yolanda. Op. Cit., p. 16.

**Gráfica 15.** Determinación del pH recomendado del hidroxicloriguro de aluminio.



A partir de esta gráfica se observa que el pH con mejor desempeño del hidroxicloriguro de aluminio está entre 7,5 y 8, con este último se obtuvo un porcentaje de remoción de turbidez del 99%; teniendo esto en cuenta, se mantiene el pH del agua en el rango señalado para obtener la mejor dosificación del coagulante. Los porcentajes de remoción de turbiedad negativos (pH de 5,5; 6; 6,5 y 7) se debe a que se obtiene una turbiedad mayor que la inicial, posiblemente esto es causado por la inversión de las cargas de las partículas a dichos pH lo que provoca la formación de microfloculos cuyas velocidades de sedimentación son muy bajas dando así una turbiedad final mayor.

**4.3.8 Prueba de jarras 6.** En la prueba siguiente se determina el volumen de floculante, aumentándolo 1 mL a una dosificación constante de hidroxicloriguro de aluminio, como se muestra en el cuadro 13.

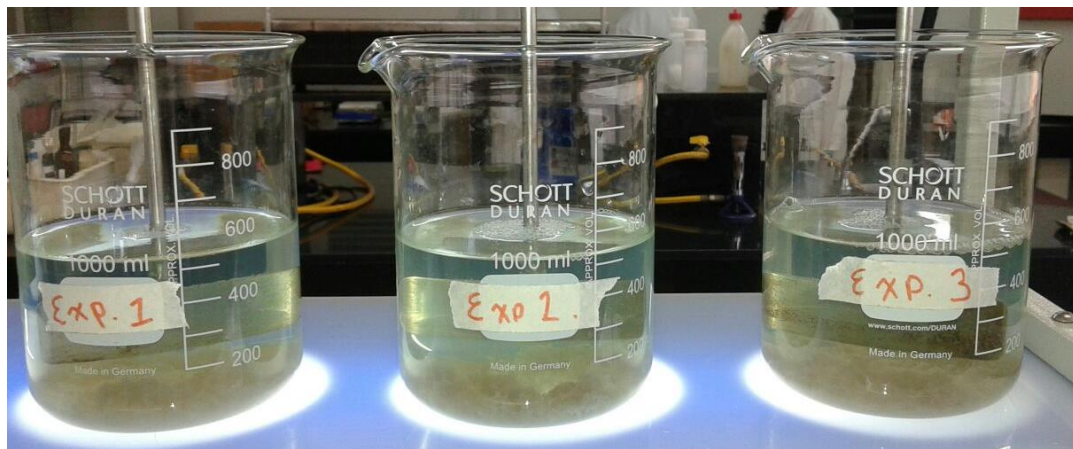
Con los valores obtenidos se concluye que el volumen de floculante no afecta significativamente el resultado de turbiedad del agua, debido a que al agregar un volumen mayor a 1 mL de floculante (ver cuadro 13) el porcentaje de remoción de turbiedad es menor; por tal motivo, se selecciona la dosificación de 2000 mg/L agregando 1 mL para los siguientes experimentos.



**Cuadro 13.** Dosificaciones y resultados del test de jarras en la prueba 6.

Exp	Dosificación PAC 2.000 mg/L	Dosificación polímero 2.000 mg/L	Turbiedad (NTU)	pH final
1	20 mL	1 mL	1,75	7,94
2	20 mL	2 mL	3,17	8,14
3	20 ml	3 mL	3,76	7,98
Temperatura de la muestra de agua: 17 °C				
Turbiedad inicial de la muestra de agua: 130,1 NTU				
pH inicial de la muestra: 8,33				

**Figura 18.** Muestra de agua después del test de jarras de la prueba 6. Izquierda: Exp. 1, centro: Exp. 2 y Derecha: Exp. 3.



**4.3.9 Prueba de jarras 7.** A continuación, se presentan las pruebas para determinar el volumen de coagulante, teniendo en cuenta que los mejores resultados de turbiedad se obtuvieron cuando se agregó como máximo 20 mL de hidroxocloruro de aluminio, pero se desconoce si al aumentar el volumen se obtienen mejores resultados. Por tanto, se aumentó el coagulante cada 10 mL, buscando reducir aún más la turbiedad.

**Cuadro 14.** Dosificaciones y resultados del test de jarras en la prueba 7.

Exp	Dosificación PAC 2.000 mg/L	Dosificación polímero 2.000 mg/L	Turbiedad (NTU)	pH final
1	20 mL	1 mL	1,75	7,94
2	30 mL	1 mL	0,54	7,93
3	40 mL	1 mL	0,01	7,85
4	50 mL	1 mL	0,38	7,63
Temperatura de la muestra de agua: 16 °C				
Turbiedad inicial de la muestra de agua: 130,1 NTU				
pH inicial de la muestra: 8,33				

**Figura 19.** Muestra de agua antes y después del tratamiento con 40 ml de coagulante al 1%.



A partir de estos resultados se escogió como dosificación del coagulante hidroxiclorigenato de aluminio 2000 mg/L (volumen: 40mL) junto con 2000 mg/L (volumen:1mL) del floculante polímero catiónico para el tratamiento del agua residual. Con el objetivo de determinar los porcentajes de remoción de DQO y DBO, se realizaron dos caracterizaciones al agua residual, la primera para determinar las concentraciones iniciales de estos parámetros y la segunda para determinar las concentraciones finales después de aplicar el tratamiento propuesto de coagulación-floculación; cabe mencionar que el muestreo puntual se llevó a cabo en el clarificador del tratamiento biológico el mismo día en que se aplicó el tratamiento, realizando la respectiva cadena de custodia; dichas caracterizaciones se mandaron hacer en el laboratorio de ingeniería ambiental de la Universidad



Nacional de Colombia. Los resultados obtenidos de la caracterización se muestran a continuación.

**Cuadro 15.** Caracterización del agua residual de la Fábrica de Chocolates Triunfo S.A. 19 de julio de 2017.

Parámetro	Unidades	Método	Resultado sin test de jarras	Resultado con test de jarras	%remoción
DBO <sub>5</sub>	mg/L O <sub>2</sub>	SM 5210 B	1107	284	74,35
DQO	mg/L O <sub>2</sub>	SM 5220 C	1680	680	59,5

Con el proceso de floculación y coagulación, como un tratamiento adicional al ya existente en la PTAR, se logró remover 823 mg/L O<sub>2</sub> de DBO<sub>5</sub> y 1000 mg/L O<sub>2</sub> de DQO, consiguiendo una disminución en un 74,35% y 59,5% respectivamente, logrando así el cumplimiento de la norma de vertimientos (Resolución 0631 del 17 de marzo de 2015). Sin embargo, no se puede asegurar que el tratamiento sea efectivo para periodos de alta producción debido a que la concentración inicial de DBO<sub>5</sub> y DQO obtenidos en la caracterización no reflejan las máximas concentraciones que se puedan llegar a tener a la salida de la PTAR, dicha caracterización se realizó el 19 de julio del 2017 el cual, según los históricos, es un mes de baja producción (... Véase el numeral 2.3...).

Dados los resultados anteriores, se optó por realizar una caracterización el 29 de septiembre de 2017 a la entrada y salida de la PTAR, ya que la fábrica estaba laborando en horario adicional, obteniendo concentraciones mayores de DQO y DBO<sub>5</sub>, dadas en el siguiente cuadro:

**Cuadro 16.** Caracterización del agua residual de la Fábrica de Chocolates Triunfo S.A. el 29 de septiembre de 2017.

Parámetro	Unidades	Afluente de la Trampa de grasas	Salida PTAR	%Remoción
DBO <sub>5</sub>	mg/L O <sub>2</sub>	10800	3230	70
DQO	mg/L O <sub>2</sub>	17500	5920	66
pH	Unidades	3,75	7,04	-
SS	mL/L-h	150	2	-
Temperatura	°C	20,1	20	-

Según los valores del cuadro 16, la remoción de DQO (66%) y DBO<sub>5</sub> (70%) por la PTAR ha descendido con respecto a las caracterizaciones históricas suministradas por la empresa, donde se registran porcentajes de remoción entre el 90% y 92% para DQO y DBO<sub>5</sub> respectivamente. Un posible factor que influye en estos resultados es el tiempo de retención, el cual disminuye cuando el caudal de entrada

a la PTAR aumenta por mayor utilización de agua en las actividades de la fábrica. A causa del aumento de las concentraciones a la salida de la PTAR se realizó nuevamente el test de jarras, puesto que, los datos de DQO y DBO<sub>5</sub> son cercanos a las máximas concentraciones presentadas en los históricos (DQO: 6820 mg/L y DBO: 3450 mg/L)

**4.3.10 Prueba de jarras 8.** Las condiciones a las cuales se llevó a cabo la prueba del test de jarras fueron las mismas manejadas anteriormente: velocidad de mezcla rápida 120 rpm durante un minuto, velocidad de mezcla lenta 40 rpm durante 15 minutos, tiempo de sedimentación de 15 minutos, pH inicial de 8 y volumen de agua a tratar 500 mL, con la dosificación de 2000 mg/L agregando 40 ml de PAC y 2000 mg/L agregando 1 mL de polímero catiónico.

El test de jarras bajo estas condiciones no presentó formación de flocs en la muestra debido a que la turbiedad del agua a tratar es mayor (1100 NTU contra 180 NTU). Por tal motivo se aumentó el volumen de floculante a 5 mL, y se decidió variar el volumen de coagulante cada 10 mL (iniciando en 20 mL), considerando que:

La cantidad de coagulante a adicionar en aguas con turbiedad por encima del rango estudiado puede ser menor al predicho por el modelo, debido a que cuando ésta aumenta, la probabilidad de colisión entre las partículas también es muy elevada y la coagulación se realizaría con facilidad usando menor concentración de coagulante. De modo análogo, cuando la turbiedad es baja, la coagulación se realiza difícilmente y la cantidad de coagulante es igual o mayor que si la turbiedad fuera alta<sup>56</sup>.

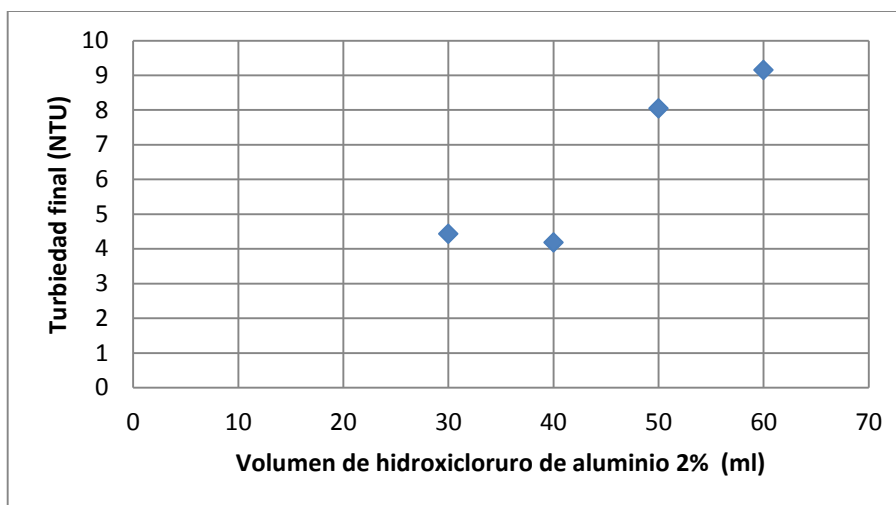
Estas nuevas condiciones de operación se muestran en el cuadro 17.

**Cuadro 17.** Dosificaciones y resultados del test de jarras de la prueba 8.

Exp	Dosificación PAC 2000 mg/L	Dosificación polímero 2000 mg/L	Turbiedad (NTU)	pH final
1	20 mL	5 mL	313,32	7,52
2	30 mL	5 mL	4,44	7,48
3	40 mL	5 mL	4,19	7,46
4	50 mL	5 mL	8,05	7,39
5	60 mL	5 mL	9,16	7,34
Temperatura de la muestra de agua: 16 °C				
Turbiedad inicial de la muestra de agua: 1.100 NTU				
pH inicial de la muestra: 8				

<sup>56</sup> COGOLLO FLÓREZ. Op. Cit.

**Gráfica 16.** Turbiedad final en función de la dosis de coagulante de la prueba 8.



A partir de estos resultados se confirma que la dosificación de coagulante en la que se obtiene mayor remoción de turbiedad es 2000 mg/L agregando 40 mL, a las condiciones mencionadas, independientemente de la concentración de DQO y DBO<sub>5</sub> (para estos dos escenarios: alta y baja concentración). Sin embargo, no se logró una turbiedad menor a 1 NTU, como en las pruebas anteriores.

Se observa en la gráfica 16, el comportamiento del coagulante a diferente volumen de dosificación y se evidencia que los coagulantes presentan el mejor desempeño a una dosificación y condiciones específicas del tratamiento. Según Cogollo<sup>57</sup> si el coagulante se adiciona por debajo de la cantidad óptima, no se neutralizan las cargas de la partículas, la formación de microfloculos es escasa y la turbiedad del agua es alta; en cambio si el coagulante se adiciona en exceso invierte las cargas de las partículas y se forma gran cantidad de microfloculos con tamaños muy pequeños, sedimentación lenta y la turbidez se mantiene alta.

Se realizó la respectiva caracterización al agua residual sin y con el tratamiento de floculación-coagulación descrito anteriormente, cuyos resultados se muestran a continuación:

**Cuadro 18.** Caracterización del agua residual de la Fábrica de Chocolates Triunfo S.A. – 9 de octubre del 2017.

Parámetro	Unidades	Resultado sin test de jarras	Resultado con test de jarras	%Remoción
DBO <sub>5</sub>	mg/L O <sub>2</sub>	1980	1170	40,9
DQO	mg/L O <sub>2</sub>	4810	2880	40,12

<sup>57</sup> COGOLLO FLÓREZ. Op. cit.

Para esta prueba se logró reducir 810 mg/L O<sub>2</sub> de DBO<sub>5</sub> y 1930 mg/L de DQO, obteniendo una disminución cercana al 40% en ambos parámetros, lo cual no es suficiente para cumplir con la Resolución 0631. Sin embargo, en estas pruebas se obtuvo una mayor remoción en términos de la concentración de DQO que en la primera caracterización (1930 mg/L O<sub>2</sub> frente a 1000 mg/L O<sub>2</sub>); aunque los porcentajes de remoción son menores (59,5% frente a 40,12%). Para el parámetro DBO<sub>5</sub> se removió una concentración similar en ambas caracterizaciones y se presenta un porcentaje de remoción menor en esta última. Es decir, el tratamiento de coagulación-floculación es viable siempre y cuando se manejen concentraciones de DBO<sub>5</sub> y DQO cercanas a la primera caracterización (ver cuadro 15); esto se logra con rendimientos mayores al 85 % en el reactor biológico, los cuales ya se han alcanzado en las caracterizaciones históricas, y se logran con el tiempo de retención adecuado del reactor (de 6 a 7 días). En este sentido, queda demostrado que, a concentraciones mayores, el tratamiento propuesto bajo las mismas condiciones (exceptuando la cantidad de floculante), no cumple los límites permisibles de vertimientos.

A continuación se plantean dos escenarios hipotéticos, el primer escenario asume un porcentaje de remoción del 85%<sup>58</sup> del tratamiento biológico, el cual corresponde a la eficiencia de un tratamiento biológico típico, junto con los porcentajes de remoción del tratamiento fisicoquímico obtenidos en cada una de las caracterizaciones.

Las concentraciones iniciales de DQO y DBO<sub>5</sub> corresponden a las obtenidas en la caracterización del 29 de septiembre del 2017 (Ver cuadro 16) a la entrada de la PTAR (Trampa de grasas):

**Cuadro 19.** Escenario 1, porcentajes de remoción del tratamiento fisicoquímico obtenidos en la primera caracterización del 19 de julio de 2017.

<b>Parámetro</b>	<b>Entrada a la trampa de grasas</b>	<b>Tratamiento biológico (eficiencia 85%)</b>	<b>Tratamiento Fisicoquímico</b>	<b>%Remoción del tratamiento fisicoquímico</b>
DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)	10800	1620	415,53	74,35
DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	17500	2625	1063,12	59,5

<sup>58</sup> MARÍN MONTOYA, Jhoan Pablo y CORREA RAMÍREZ, Juan Carlos. Evaluación de la remoción de contaminantes en aguas residuales en humedales artificiales utilizando la *Guadua Angustifolia* Kunth. Pereira, 2010. p. 15.

**Cuadro 20.** Escenario 1, porcentajes de remoción del tratamiento fisicoquímico obtenidos en la caracterización del 9 de octubre de 2017.

<b>Parámetro</b>	<b>Entrada a la trampa de grasas</b>	<b>Tratamiento biológico (eficiencia 85%)</b>	<b>Tratamiento Fisicoquímico</b>	<b>%Remoción del tratamiento fisicoquímico</b>
DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)	10800	1620	957,42	40,9
DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	17500	2625	1571,85	40,12

El segundo escenario asume un porcentaje de remoción del 90% del tratamiento biológico el cual, corresponde a la mayor eficiencia que ha presentado dicho tratamiento en la fábrica, junto con los porcentajes de remoción del tratamiento fisicoquímico obtenidos en las dos caracterizaciones. Las concentraciones iniciales de DQO y DBO<sub>5</sub> corresponden a las obtenidas en la caracterización del 29 de septiembre del 2017 a la entrada de la PTAR:

**Cuadro 21.** Escenario 2, porcentajes de remoción del tratamiento fisicoquímico obtenidos en la caracterización del 19 de julio de 2017.

<b>Parámetro</b>	<b>Entrada a la trampa de grasas</b>	<b>Tratamiento biológico (eficiencia 90%)</b>	<b>Tratamiento Fisicoquímico</b>	<b>%Remoción del tratamiento fisicoquímico</b>
DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)	10800	1080	277,02	74,35
DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	17500	1750	708,75	59,5

**Cuadro 22.** Escenario 2, porcentajes de remoción del tratamiento fisicoquímico obtenidos en la caracterización del 9 de octubre de 2017.

<b>Parámetro</b>	<b>Entrada a la trampa de grasas</b>	<b>Tratamiento biológico (eficiencia 90%)</b>	<b>Tratamiento Fisicoquímico</b>	<b>%Remoción del tratamiento fisicoquímico</b>
DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)	10800	1080	638,28	40,9
DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	17500	1750	1047	40,12

A partir de los escenarios planteados anteriormente, se concluye que el único escenario en el que se cumple la normatividad 0631 es el presentado en el cuadro 21, con una eficiencia del tratamiento biológico del 90% y un porcentaje de remoción del tratamiento fisicoquímico para el DBO<sub>5</sub> y DQO del 74,35% y del 59,5% respectivamente.

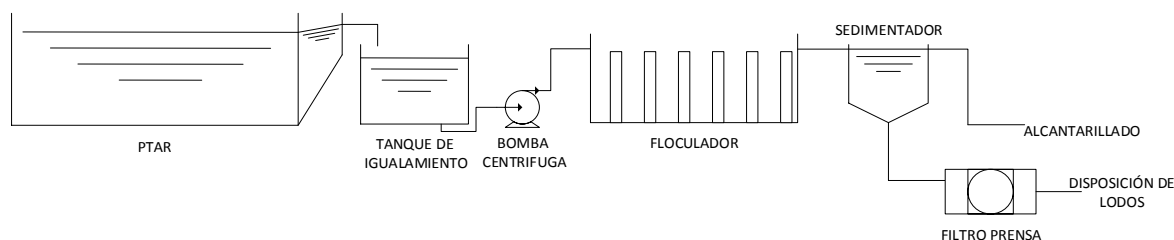
## 5. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA PROPUESTA DE MEJORA

En este capítulo se desarrolla el diseño conceptual del tratamiento de Coagulación-floculación a partir de los datos obtenidos en el desarrollo experimental, el cual incluye la descripción del proceso, dimensionamiento de equipos, diagrama de flujo de proceso, variables de operación y balance de materia.

### 5.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El proceso de coagulación-floculación que se propone es continuo durante el horario laboral de la fábrica (10 horas); debido a que el caudal no es constante a lo largo del día se debe hacer uso de un tanque de igualamiento.

El agua proveniente del clarificador del tratamiento biológico de la PTAR ingresa al tanque de igualación, el cual tiene un indicador de pH, aireación y un sensor de nivel, que activa una bomba cuando el nivel del tanque llegue a 1,55 m que equivale a 4 m<sup>3</sup> y la desactiva cuando el nivel desciende hasta 0,2 m. La bomba suministra un caudal continuo de 3 m<sup>3</sup>/h al proceso; la dosificación del coagulante se realiza directamente en la tubería contigua a la bomba, por medio de una bomba dosificadora. El agua ingresa por la parte superior de la unidad de floculación, la cual consiste en un tanque de flujo horizontal, donde se añade la dosificación del floculante por medio de una bomba dosificadora tipo diafragma. Por último, pasa a un sedimentador de flujo horizontal con un tiempo de retención de tres (3) horas, donde se depositan los lodos y se extrae el agua por rebose, para ser llevada al sistema de alcantarillado. Los lodos son retirados manualmente del clarificador cuando alcanzan una altura de 0,5 m y son secados en un filtro prensa para su disposición final en el relleno sanitario.



### 5.2 DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS

**5.2.1 Tanque de igualamiento.** Se hará uso de un tanque de igualamiento debido a que el caudal de salida del clarificador del reactor biológico no es constante y se necesita mitigar las variaciones para proveer un caudal continuo al proceso de coagulación-floculación; también se necesita para controlar el pH.

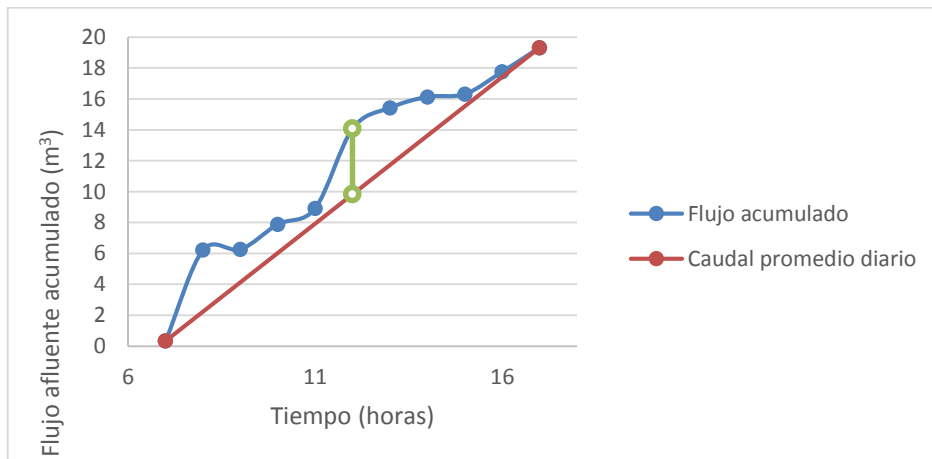
Con el fin de determinar el volumen del tanque de almacenamiento, se midió el caudal por el método volumétrico a la salida de la PTAR durante una jornada laboral extendida de 11 horas en periodo de alta producción, registrando los siguientes valores:

**Cuadro 23.** Cálculo del volumen de igualamiento.

Hora	Caudal total (m <sup>3</sup> /h)	Flujo acumulado (m <sup>3</sup> )
7:00	0,336	0,336
8:00	5,880	6,216
9:00	0,045	6,261
10:00	1,623	7,884
11:00	1,042	8,926
12:00	5,149	14,075
13:00	1,351	15,426
14:00	0,706	16,132
15:00	0,179	16,312
16:00	1,444	17,756
17:00	1,564	19,320
<b>Promedio</b>	1,756	

A partir de estos valores, el volumen requerido del tanque de igualamiento se obtiene, según Romero<sup>59</sup>, mediante un diagrama de masas, en el cual se grafica el caudal efluente acumulado contra la hora del día y el caudal promedio diario se representa por una línea recta que une el origen con el punto final de la curva de caudal acumulado. El volumen del tanque de igualamiento es igual a la distancia vertical (línea verde) entre el punto de tangencia más extremo de la curva del caudal acumulado y la recta del caudal promedio diario.

**Gráfica 17.** Diagrama de masa para la determinación del volumen de igualamiento.



<sup>59</sup> ROMERO ROJAS, Tratamiento De Aguas Residuales: Teoría y Principios De Diseño. Op. cit., p. 306-307.

$$V_{teórico} = 14,075 \text{ m}^3 - 9,829 \text{ m}^3 = 4,247 \text{ m}^3$$

Considerando un factor de seguridad del 10% a 20%<sup>60</sup>, escogiendo el 15% el volumen real del tanque de igualamiento es:

$$V_{real} = V_{teórico} * \text{Factor de seguridad} = 4,883 \text{ m}^3$$

$$V_{real} = 4,247 \text{ m}^3 * 1,15 = 4,883 \text{ m}^3$$

Para facilidad de operación, se aproxima este volumen a 5 m<sup>3</sup>, y se determinan las dimensiones del tanque a partir de las especificaciones de un tanque comercial con esta capacidad.

El tanque de Colempaques que se propone a continuación (figura 20) se seleccionó debido a que cumple con las siguientes características: apto para el almacenamiento de agua residual, fabricado en PVC, idóneo para el tratamiento de aguas, anticorrosivo, con aditivo UV haciéndolo resistente a la intemperie, no se oxida, evita la proliferación de algas y bacterias, no suelta sedimentos, económico y cuenta con la capacidad requerida (5 m<sup>3</sup>).

**Figura 20.** Dimensiones del tanque de almacenamiento cónico.



**Fuente:** Colempaques. [En línea]. [Citado septiembre 28, 2017]. Disponible en internet: <[https://coval.com.co/pdfs/manuales/man\\_colempaques\\_tanques\\_plasticos.pdf](https://coval.com.co/pdfs/manuales/man_colempaques_tanques_plasticos.pdf)>

<sup>60</sup> DA CÁMARA, Lesly, *et al.* Manual de diseño para plantas de tratamiento de aguas residuales alimenticias. p. 5.



Donde:

A: 173 cm

B: 207 cm

C: 218 cm

D: 194 cm

E: 215 cm

Se implementan difusores de aire los cuales, según Romero<sup>61</sup>, para requerimientos de mezcla son de 0,5 L/m<sup>3</sup>s a 0,8 L/m<sup>3</sup>s, para este caso se usará el promedio (0,65 L/m<sup>3</sup>s). La necesidad de aireación para el tanque de igualamiento se calcula de la siguiente manera:

**Ecuación 1.** Necesidad de aireación.

$$Q_n = 0,65 \frac{L}{m^3s} * VI$$

Donde, Q<sub>n</sub> es el caudal necesario de aireación y VI es el volumen del tanque de igualamiento.

$$Q_n = 0,65 \frac{L}{m^3s} * 5 m^3 = 3,25 \frac{L}{s}$$

Se seleccionan difusores de sistema de burbuja gruesa con el fin de minimizar el taponamiento, los cuales tienen una eficiencia de 1,6% a 2,5% por metro de inmersión (0,016/m a 0,025/m)<sup>62</sup>. El caudal de aire para una columna de agua de 155 cm (4 m<sup>3</sup>), donde está ubicado el sensor de nivel, se calcula de la siguiente manera:

**Ecuación 2.** Caudal de aire.

$$Q_{aire} = \frac{Q_n}{\eta \times h_{agua}}$$

Donde, Q<sub>aire</sub> es el caudal de aire, Q<sub>n</sub> es el caudal necesario de aire, η es la eficiencia por metro de inmersión y h<sub>agua</sub> es la altura de la columna de agua.

$$Q_{aire} = \frac{3,25 \frac{L}{s}}{0,025/m * 1,55m} = 83,871 L/s = 301,935 m^3/h$$

El número de difusores se determina con el flujo de aire por difusor que va desde 15 m<sup>3</sup>/h a 63 m<sup>3</sup>/h.<sup>63</sup>

---

<sup>61</sup> ROMERO ROJAS, Tratamiento De Aguas Residuales: Teoría y Principios De Diseño. Op. cit., p. 316.

<sup>62</sup> XYLEM: Let's solve wáter. Productos de aireación para un tratamiento biológico energéticamente eficiente.p. 10.

<sup>63</sup> Ibid., p. 10.

**Ecuación 3.** Número de difusores.

$$N_{Difusor} = \frac{Q_{aire}}{Q_{Difusor}}$$

Donde,  $N_{Difusor}$  es el número de difusores,  $Q_{aire}$  es el caudal de aire y  $Q_{Difusor}$  es el caudal de aire por difusor.

$$N_{Difusor} = \frac{301,935 \text{ m}^3/h}{39 \text{ m}^3/h} = 7,742 \approx 8 \text{ difusores}$$

El caudal de aire requerido se suplirá con 8 difusores con sistema de burbuja gruesa. Según Pallarés<sup>64</sup> la capacidad mínima de agitación de un tanque para que se considere agitado, es de 18 m<sup>3</sup>/min de aire por cada 1000 m<sup>3</sup> de agua, para el volumen del tanque de igualamiento es:

**Ecuación 4.** Capacidad de agitación.

$$CA = CA_{\min} \times V_{\text{agua}}$$

Donde, CA es la capacidad de agitación,  $CA_{\min}$  es la capacidad mínima y  $V_{\text{agua}}$  es el volumen de agua.

$$CA = \frac{18 \text{ m}^3 \text{ de aire} / \text{min} * 60 \text{ min}}{1000 \text{ m}^3 \text{ de agua}} * 4 \text{ m}^3 \text{ de agua}$$

$$CA = 4,320 \text{ m}^3 \text{ de aire} / h$$

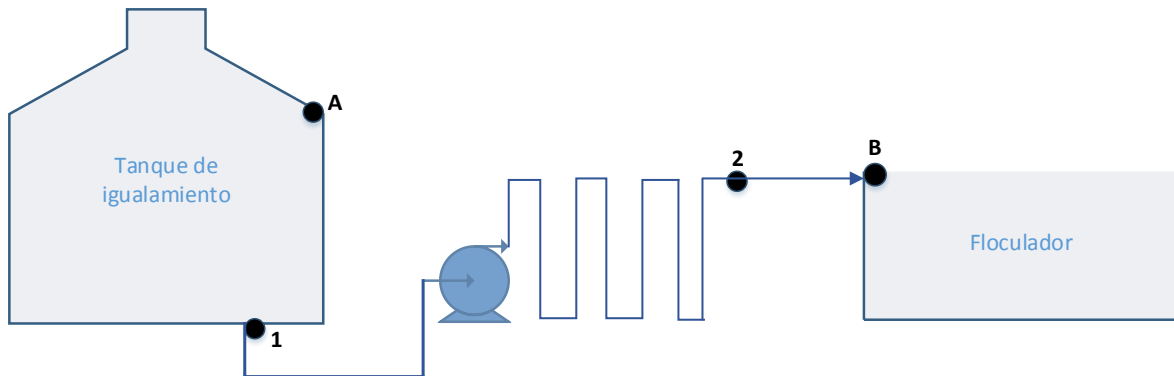
**Cuadro 24.** Sumario de las especificaciones del tanque de igualamiento.

Volumen total	5 m <sup>3</sup>
Diámetro superior	2,070 m
Diámetro inferior	1,730 m
Altura sin tapa	1,940 m
Columna de agua	1,55 m
Volumen de agua residual	4 m <sup>3</sup>
Caudal de aire requerido	301,935 m <sup>3</sup> /h
Cantidad de difusores	8
Capacidad de agitación	4,320 m <sup>3</sup> de aire/h
Material	PVC

<sup>64</sup> PALLARÉS BOSQUE, Cristina. Diseño y dimensionamiento de la línea de agua de una PTAR procedente de un matadero porcino. Castellón: Universidad Jaume I, 2016. p. 56.

**5.2.2 Unidad de coagulación.** El proceso de coagulación, es una unidad de mezcla rápida, que tiene como fin, la dispersión de la solución del coagulante en el agua a tratar. Para ello, se emplean diferentes dispositivos de difusión que pueden ser hidráulicos o mecánicos, con el objetivo de generar turbulencia en la masa de agua. Para generar dicha turbulencia se implementa una bomba a la salida del tanque de igualamiento que también va a proporcionar un caudal constante al proceso de coagulación- floculación.

**Figura 21.** Esquema de la unidad de coagulación.



**Cálculo de la altura útil de la bomba:**

Para determinar la altura útil de la bomba, se utiliza la Ecuación de Bernoulli:

**Ecuación 5.** Ecuación de Bernoulli.

$$\frac{P_A}{\rho g} + Z_A + \frac{v_A^2}{2g} + H_{\text{útil}} = \frac{P_B}{\rho g} + Z_B + \frac{v_B^2}{2g} + H_{1-2}$$

Donde,  $P_A$  y  $P_B$  son las presiones a la entrada y salida de la conducción, en Pa;  $Z_A$  y  $Z_B$  alturas entre la salida y entrada de la conducción, en m;  $v_A$  y  $v_B$  velocidades de la salida y entrada de la conducción, en m/s;  $H_{1-2}$  pérdidas de carga entre la salida y entrada de la conducción,  $\rho$  densidad del agua residual en  $\text{kg/cm}^3$ ,  $g$  aceleración de la gravedad  $\text{m/s}^2$  y  $H_{\text{útil}}$  es la altura útil de la bomba en mca (metros de columna de agua).

Las pérdidas de entrada y salida de la tubería con un  $K$  igual a 1 es:

**Ecuación 6.** Pérdidas en tubería.

$$H_{1-2} = K \frac{v_1^2}{2g} + K \frac{v_B^2}{2g}$$

Donde,  $K$  es la constante generada por la geometría y el accesorio y  $v_1$  es la velocidad en el punto 1 (Figura 21).

La velocidad en el punto 1, se termina por la formula de Torricelli:

**Ecuación 7.** Ecuación de Torricelli.

$$v_1 = \sqrt{2gh}$$

Donde,  $v_1$  es la velocidad en el punto 1 (ver figura 21),  $g$  es la aceleración de la gravedad y  $h$  es la altura a la cual se encuentra el punto 1.

$$v_1 = \sqrt{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 1,55 \text{ m}} = 5,5 \text{ m/s}$$

La velocidad en el punto B, se calcula por la Ecuacion de Bernoulli:

**Ecuación 8.** Velocidad en el punto B

$$v_B = \sqrt{2(0,5v_2^2 - gh_B)}$$

Donde,  $v_B$  es la velocidad en el punto B,  $v_2$  es la velocidad en el punto 2 (ver figura 21),  $g$  es la aceleración de la gravedad y  $h_B$  es la altura a la cual se encuentra el punto B.

$$v_B = \sqrt{2(0,5 \times (5,5 \text{ m/s})^2 - (9,8 \text{ m/s}^2 \times 1,2 \text{ m}))} = 2,6 \text{ m/s}$$

$$H_{1-2} = 1 \times \frac{(5,5 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2} + 1 \times \frac{(2,6 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2} = 1,88 \text{ m}$$

La velocidad en el punto A se calcula de la siguiente manera:

$$v_A = \frac{3m^3}{3600h} \div 11,34 \text{ m}^2 = 0,0000734 \text{ m/s}$$

Debido a que la velocidad en el punto A es muy pequeña (0,0000734 m/s) se puede despreciar de la ecuación, además las dos unidades están a presión atmosférica.

**Ecuación 9.** Altura útil.

$$H_{\text{útil}} = (Z_B - Z_A) + \frac{V_B^2}{2g} + H_{2-1}$$

Donde,  $H_{\text{útil}}$  es la altura útil de la bomba,  $Z_A$  y  $Z_B$  alturas entre la salida y entrada de la conducción,  $v_B$  velocidad en la entrada de la conducción,  $H_{1-2}$  pérdidas de carga entre la salida y entrada de la conducción y  $g$  aceleracion de la gravedad  $\text{m/s}^2$ .

$$H_{\text{útil}} = (1,2 \text{ m} - 1,55 \text{ m}) + \frac{(2,6 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2} + 1,88 \text{ m} = 1,87 \text{ m}$$

**Ecuación 10.** Potencia requerida por la bomba.

$$P_{requerida} = Q \times \rho \times g \times H_{\text{útil}}$$

Donde,  $P_{requerida}$  es la presión requerida por la bomba,  $Q$  es el caudal de la bomba,  $g$  es la aceleración de la gravedad y  $H_{\text{útil}}$  es la altura útil de la bomba.

$$P_{requerida} = \frac{3}{3600} m^3/s \times 998,77 kg/m^3 \times 9,8 m/s^2 \times 1,87m = 15,25 W = 0,021 HP$$

### Selección de la bomba

A continuación se presentan dos opciones de bombas para aguas residuales que pueden cumplir con la función de proporcionar un caudal constante al proceso y de generar la turbulencia necesaria de acuerdo con los parámetros obtenidos. La primera bomba se escoge del catálogo de Barnes<sup>65</sup> y la segunda del catalogo de Pedrollo<sup>66</sup>. Sus especificaciones se muestran a continuación:

**Cuadro 25.** Especificaciones de las bombas.

	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Modelo</b>	bomba modelo NSE 1 5-1-2-110 HF	TOP Vortex
<b>Marca</b>	Barnes	Pedrollo
<b>Voltaje</b>	110 v	110 v
<b>Diametro de descarga</b>	1"	1 ¼"
<b>H útil máxima</b>	7 mca	6,5 mca
<b>Caudal máximo</b>	23 gpm (5,2 m <sup>3</sup> /h)	180L/m (10,8m <sup>3</sup> /h)
<b>Potencia</b>	0,5 HP	0,5 HP
<b>Tipo</b>	Centrifuga	Sumergible
<b>Material</b>	Acero inoxidable	Tecnopolímero
<b>Precio</b>	250.000	1'159.900

Es importante mencionar que a nivel comercial no se encuentran bombas con una potencia menor a 0,5 HP para agua residual. Teniendo en cuenta el factor costo y que el caudal de diseño es 3 m<sup>3</sup>/h se selecciona la bomba Barnes.

Se escoge una tubería calibre 40 de acero con un tamaño nominal de 1", diámetro externo de 33,4 mm, diámetro interno 26,6 mm, área de flujo de 5,574×10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup> y longitud de tubería desde la bomba hasta el floculador es de 10 m (serpentin de

<sup>65</sup> BARNES DE COLOMBIA S.A. [En línea]. [Citado octubre 6, 2017]. Disponible en internet: <<http://www.barnes.com.co/aguas-residuales-en-acero-inoxidable-nse/#>>

<sup>66</sup> PEDROLLO. [En línea]. [Citado octubre 6, 2017]. Disponible en internet: <<https://www.pedrollo.com/es/top-vortex-gm-electrobomba-sumergible-para-drenaje-para-aguas-sucias/306>>

mezcla). Con el fin de verificar la turbulencia del fluido, se calcula el número de Reynolds:

**Ecuación 11.** Número de Reynolds.

$$Re = \frac{D_I \times v \times \rho}{\mu}$$

Donde, Re es el número de Reynolds,  $D_I$  es el diámetro interno de la tubería, v es la velocidad del fluido en la tubería,  $\rho$  es la densidad del agua y  $\mu$  es la viscosidad del agua.

$$Re = \frac{0,026 \text{ m} \times 5,5 \text{ m/s} \times 998,77 \text{ Kg/m}^3}{1,081 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}} = 132.122,34$$

El fluido se encuentra en régimen turbulento, ideal para la mezcla rápida, según Insfopal<sup>67</sup> quien recomienda un número de Reynolds mayor a 100.000.

El tiempo de mezcla rápida es igual a

**Ecuación 12.** Tiempo de mezcla rápida.

$$t = \frac{x}{v}$$

Donde, t es el tiempo de mezcla rápida, x es la longitud de la tubería y v es la velocidad del agua dentro de la tubería.

$$t = \frac{10 \text{ m}}{5,5 \text{ m/s}} \approx 2 \text{ s}$$

**5.2.3 Unidad de floculación.** Esta unidad efectúa el proceso de floculación, por medio de una mezcla lenta que tiene como fin, incrementar la tasa de colisiones entre los coloides que han sido previamente desestabilizados en el proceso de coagulación, sin que se rompan, incrementando su tamaño por aglomeración de los mismos y adquieran mayor densidad para que se logre una buena sedimentación.

Al igual que el proceso de coagulación, se determinaron los criterios de mayor importancia para el diseño del tratamiento, por tanto, para floculación son el gradiente de velocidad y el tiempo de agitación, esto se logran mediante dispositivos mecánicos e hidráulicos de mezcla lenta como:

Floculadores Mecánicos: Agitador de paletas de eje vertical u horizontal, impulsador de turbina y de flujo axial.

---

<sup>67</sup> INSFOPAL. Especificaciones para el diseño de plantas potabilizadoras de agua. 1970.

Floculadores Hidráulicos: Agitador de flujo horizontal y vertical.

Para el diseño de la unidad, se toma como base los valores obtenidos en el test de jarras, es decir, 40 rpm con un tiempo de retención de 15 minutos. La velocidad de flujo se calcula, según Lozano y Rivas<sup>68</sup>, por la siguiente ecuación que relaciona las rpm (N) con el diámetro del impulsor (d) en cm, para una jarra de un litro de sección circular:

**Ecuación 13.** Velocidad de flujo dentro del floculador.

$$v = \frac{N \times d}{2728}$$

Donde, v es la velocidad de flujo dentro del floculador, N son las rpm y d es el diámetro del impulsor (d)

$$v = \frac{(40)(7,2)}{2728} = 0,106 \text{ m/s}$$

Se selecciona como dispositivo un floculador hidráulico de flujo horizontal, debido a que son utilizados en plantas pequeñas con caudales menores a 50 L/s según menciona Romero<sup>69</sup> en su libro Purificación del agua.

A partir de la velocidad y el tiempo de agitación lenta se procede a calcular, la longitud total recorrida por agua en el floculador.

**Ecuación 14.** Longitud total recorrida en el floculador.

$$L = v * t$$

Donde, L es la longitud recorrida en el floculador, v es la velocidad de flujo dentro del floculador y t es el tiempo de mezcla lenta.

$$L = 0,106 \frac{m}{s} * 15min * 60 = 95,4 \text{ m}$$

El volumen de agua que hay que mezclar en cada periodo de 15 minutos para un caudal de 3 m<sup>3</sup>/s es:

**Ecuación 15.** Volumen de agua a mezclar.

$$V = Q * t$$

---

<sup>68</sup>LOZANO RIVA, William Antonio y LOZANO BRAVO, Guillermo. Potabilización del agua: principios de diseño, control de procesos y laboratorio. Bogotá D.C.: Colombia, 2015. p. 200.

<sup>69</sup> ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Purificación del agua. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2000. p. 84.

Donde, V es el volumen de agua a mezclar, Q es el caudal de diseño y t es el tiempo de mezcla lenta.

$$V = 3 \text{ m}^3/\text{h} * \frac{15 \text{ minutos}}{60} = 0,75 \text{ m}^3$$

El área transversal requerida de un canal entre bafles es:

**Ecuación 16.** Área transversal del canal.

$$a = \frac{V}{L}$$

Donde,  $\alpha$  es el área transversal del canal del floculador, V es el volumen del floculador y L es la longitud recorrida en el floculador

$$a = \frac{0,75\text{m}^3}{95,4 \text{ m}} = 0,008 \text{ m}^2$$

La distancia recomendada entre bafles según Romero<sup>70</sup> en su libro Purificación del agua es de 0.45 m, entonces la profundidad (d) del agua es:

**Ecuación 17.** Profundidad del agua en el floculador.

$$d = \frac{a}{d_{\text{bafles}}}$$

Donde, d es la profundidad del agua en el floculador,  $\alpha$  es el área transversal del canal del floculador y  $d_{\text{bafles}}$  es la distancia entre bafles.

$$d = \frac{0,008\text{m}^2}{0,45\text{m}} = 0,018 \text{ m}$$

Debido a que la altura mínima en floculadores de flujo horizontal es de 0.9m, se debe asumir una distancia entre bafles de 0.008m, entonces:

$$d = \frac{0,008\text{m}^2}{0,008\text{m}} = 1 \text{ m}$$

Con un factor de seguridad del 30%, la altura del tanque es de:

---

<sup>70</sup> ROMERO ROJAS, Purificación del agua. Op. cit., p. 96.



**Ecuación 18.** Altura del tanque floculador.

$$h_{floculador} = d * FS$$

Donde,  $h_{floculador}$  es la altura del tanque floculador,  $d$  es la profundidad del agua en el tanque y  $FS$  es el factor de seguridad.

$$h_{floculador} = 1 * 1,3 = 1,3m$$

El espacio entre los bafles y la pared del tanque es 1,5 veces la separación entre estos y debe ser mayor de 0,60 m:

**Ecuación 19.** Espacio libre.

$$c = 1,5 * d_{bafles}$$

Donde,  $c$  es el espacio libre y  $d_{bafles}$  es la distancia entre bafles.

$$c = 1,5 * 0,008m = 0,012 m$$

Se adopta un espacio libre de 0,60 m y si se toma un ancho útil de la cámara de floculación de 3 m, entonces la longitud efectiva del tanque es:

**Ecuación 20.** Longitud efectiva del tanque.

$$l = w_{\text{útil}} - c$$

Donde,  $l$  es la longitud efectiva del tanque,  $w_{\text{útil}}$  es el ancho útil y  $c$  es el espacio libre.

$$l = 3m - 0,6m = 2,4 m$$

A partir de estos valores se calcula el numero requerido de canales:

**Ecuación 21.** Número de canales.

$$N = \frac{L}{l}$$

Donde,  $N$  es el número de canales,  $l$  es la longitud efectiva del tanque y  $L$  es la longitud total recorrida en el floculador.

$$N = \frac{95,4 m}{2,4 m} = 39,75 \approx 40$$

Asumiendo que el espesor de cada tabique es de 3 cm, la longitud total interior de la cámara de floculación será:

**Ecuación 22.** Longitud total interior de la cámara de floculación.

$$L_{Total} = N * a + (N - 1) * w_{tabique}$$

Donde,  $L_{Total}$  es la longitud total interior de la cámara de floculación,  $N$  es el número de canales,  $a$  es el área transversal del canal y  $w_{tabique}$  es el espesor de tabique.

$$L_{Total} = 40 * 0,008 \text{ m} + 39 * 0,03 \text{ m} = 1,5 \text{ m}$$

La pérdida por fricción en el tanque, según la fórmula de Manning es:

**Ecuación 23.** Ecuación de Manning.

$$h_f = \frac{(nv)^2 L}{R^{4/3}}$$

Donde,  $v$  es la velocidad de flujo en m/s,  $L$  es la longitud total de canales,  $n$  es la constante de rugosidad ( $n=0,013$ ) y  $R$  es el radio hidráulico.

$$h_f = \frac{(0,013 * 0,106)^2 (2,4\text{m})(40)}{\left(\frac{0,008\text{m}^2}{0,008\text{m} + 2(1\text{m})}\right)^{4/3}} = 0,2886\text{m}$$

La pérdida adicional se calcula como:

**Ecuación 24.** Pérdida adicional en el floculador.

$$h = \frac{3,2(N - 1)v^2}{2g}$$

Donde,  $N$  es el número de canales,  $v$  es la velocidad de flujo entre los baffles en m/s,  $g$  es la aceleración de la gravedad

$$h = \frac{3,2(40 - 1) 0,106 \text{ m/s}^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2)} = 0,0715 \text{ m}$$

La pérdida total es:

**Ecuación 25.** Pérdida total en el floculador.

$$H = h_f + h$$

$$H = 0,2886m + 0,0715m = 0,3601m$$

Donde, H es la pérdida total en el floculador,  $h_f$  es pérdidas por fluido y h son las pérdidas adicionales.

El gradiente de velocidad del floculador a una temperatura de 15 °C con una viscosidad cinemática de  $1,14 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

**Ecuación 26.** Gradiente de velocidad del floculador.

$$G = \sqrt{\frac{gH}{\nu t}}$$

Donde, G es el gradiente de velocidad en el floculador, g es la aceleración de la gravedad, H es la pérdida total,  $\nu$  es la viscosidad cinemática y t es el tiempo de mezcla lenta.

$$G = \sqrt{\frac{(9,8)(0,3601)}{(1,14 * 10^{-6})(900)}} = 58,64s^{-1}$$

Numero adimensional de Camp es:

**Ecuación 27.** Número adimensional de Camp.

$$Gt = G * t$$

$$Gt = (58,64s^{-1})(900s) = 52782,92$$

Donde Gt es el número adimensional de Camp, G es el gradiente velocidad del floculador y t es el tiempo de mezcla lenta.

El material seleccionado para construir el floculador y los baffles es concreto según Romero<sup>71</sup>

---

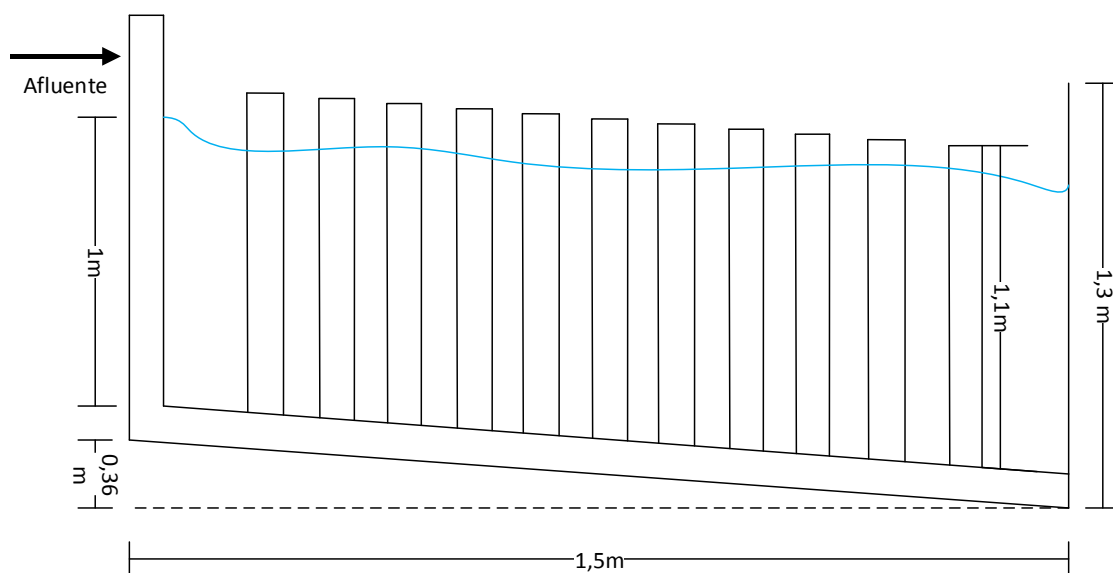
<sup>71</sup> ROMERO ROJAS. Purificación del agua. Op. cit., p. 96.

**Cuadro 26.** Sumario de las especificaciones de la unidad de floculación.

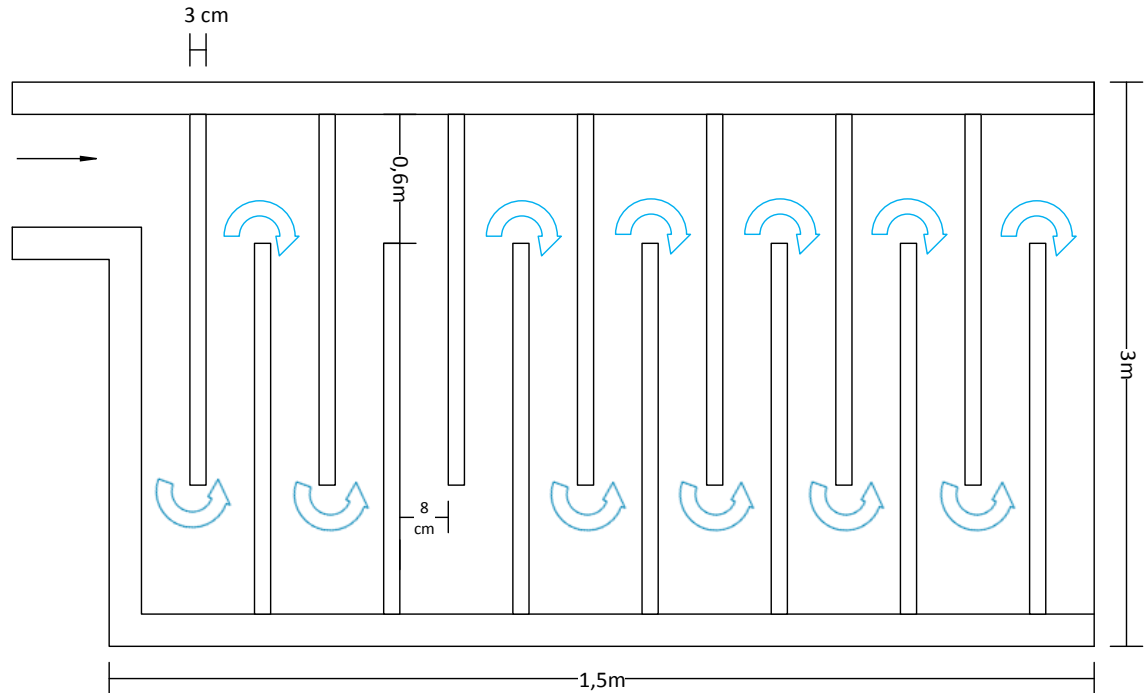
Gradiente de velocidad	58,64 s <sup>-1</sup>
Velocidad de flujo	0,106 m/s
Volumen de agua a tratar en 15 minutos	0,75 m <sup>3</sup>
Área transversal de un canal	0,008 m <sup>2</sup>
Distancia entre baffles	0,45 m
Profundidad del agua	1 m
Altura del tanque	1,3 m
Espacio entre baffles y la pared del tanque	0,6 m
Longitud del floculador	3 m
Espesor de cada baffle	3 cm
Longitud efectiva del tanque	2,4 m
Canales requeridos	40
Tiempo de retención	15 minutos
Material	Concreto

En la figura 22 se incluye el esquema del floculador hidráulico de flujo horizontal con sus respectivas dimensiones.

**Figura 22.** Diseño del floculador hidráulico de flujo horizontal. Arriba: Vista corte lateral. Abajo: Vista superior.



**Figura 22.** (Continuación)



**5.2.4 Sedimentador.** En esta unidad los floculos generados de la unidad de floculación sedimentan por gravedad, para luego ser removidos manualmente del fondo del tanque para su respectivo tratamiento. A continuación, se muestran los cálculos necesarios para el dimensionamiento del clarificador.

Según Romero<sup>72</sup> el tiempo de retención para un sedimentador convencional varía entre 2 a 4 horas. Para determinar el volumen del sedimentador se asume un tiempo de retención de 3 horas:

**Ecuación 28.** Volumen del sedimentador.

$$V = Qt$$

Donde, V es el volumen del sedimentador, Q es el caudal de diseño y t es el tiempo de retención del sedimentador.

$$V = 3 \text{ m}^3/\text{h} * 3 \text{ h} = 9\text{m}^3$$

Suponiendo una carga superficial de 14 m/d ( $\text{m}^3/\text{d} * \text{m}^2$ ) para el floc de alumbre, se calcula el área superficial:

<sup>72</sup> ROMERO ROJAS. Purificación del agua. Op. cit., p. 162.

**Ecuación 29.** Área superficial del sedimentador.

$$A = \frac{Q}{CS}$$

Donde, A es el área superficial del sedimentador, Q es el caudal de diseño y CS es la carga superficial.

$$A = \frac{72 \text{ m}^3/\text{día}}{14 \text{ m}/\text{día}} = 5,15 \text{ m}^2 \approx 5,2 \text{ m}^2$$

Para un tanque rectangular, la relación longitud/ancho va desde 3/1 a 6/1, se selecciona la relación 3/1, a partir de esto se determina el ancho y la longitud:

**Ecuación 30.** Ancho del sedimentador.

$$W_{\text{Sedimentador}} = \left(\frac{A}{3}\right)^{1/2}$$

Donde,  $W_{\text{Sedimentador}}$  es el ancho del sedimentador y A es el área superficial del sedimentador.

$$W_{\text{Sedimentador}} = \left(\frac{5,2 \text{ m}^2}{3}\right)^{1/2} = 1,32 \text{ m}$$

**Ecuación 31.** Longitud del sedimentador.

$$\text{Longitud} = \frac{A}{W_{\text{Sedimentador}}}$$

Donde, A es el área superficial del sedimentador y  $W_{\text{Sedimentador}}$  es el ancho del sedimentador.

$$\text{Longitud} = \frac{5,2 \text{ m}^2}{1,32 \text{ m}} = 3,94 \text{ m}$$

La profundidad del agua es:

**Ecuación 32.** Profundidad del agua en el sedimentador.

$$P = \frac{V}{W_{\text{Sedimentador}} * \text{Longitud}}$$

Donde, V es el volumen del sedimentador, P es la profundidad del agua en el sedimentador y  $W_{\text{Sedimentador}}$  es el ancho del sedimentador.

$$P = \frac{9 \text{ m}^3}{1,32 \text{ m} * 3,94 \text{ m}} = 1,73 \text{ m}$$

Asumiendo un borde libre de agua del 15% de la profundidad del agua y 0,5 m de altura de lodos, la profundidad del tanque es de 2,5m.

La velocidad de flujo es:

**Ecuación 33.** Velocidad de flujo en el sedimentador.

$$v = \frac{Q}{W_{Sedimentador} * P}$$

Donde, v es la velocidad de flujo en el sedimentador, Q caudal de diseño, P es la profundidad del agua en el sedimentador y  $W_{Sedimentador}$  es el ancho del sedimentador.

$$v = \frac{3 \text{ m}^3/h}{1,32\text{m} * 1,73\text{m}} = 1,31\text{m}/h = 0,04\text{cm}/s$$

La longitud del vertedero de salida, para una carga típica de rebose para floc de aluminio liviano es de 1,9 L/s\*m es:

**Ecuación 34.** Longitud del vertedero de salida.

$$L_{vertedero} = \frac{Q}{CR}$$

Donde,  $L_{vertedero}$  es la longitud del vertedero, Q es el caudal de diseño y CR es la carga de rebose,

$$L_{vertedero} = \frac{3 \text{ m}^3/h}{1,9 \text{ L/s} * \text{m} * \left( \frac{3600 \text{ s/h}}{1000 \text{ L/m}^3} \right)} = 0,44\text{m}$$

El clarificador tendrá en su base una pendiente hacia la tubería de desagüe, la cual según Sánchez<sup>73</sup> varía entre 2 y 3% y el diámetro mínimo de desagüe es de 30 cm. Para el diseño se tomará una pendiente del 2% y 30 cm de diámetro. El material seleccionado para construir el sedimentador es concreto con un recubrimiento de pintura epóxica.

---

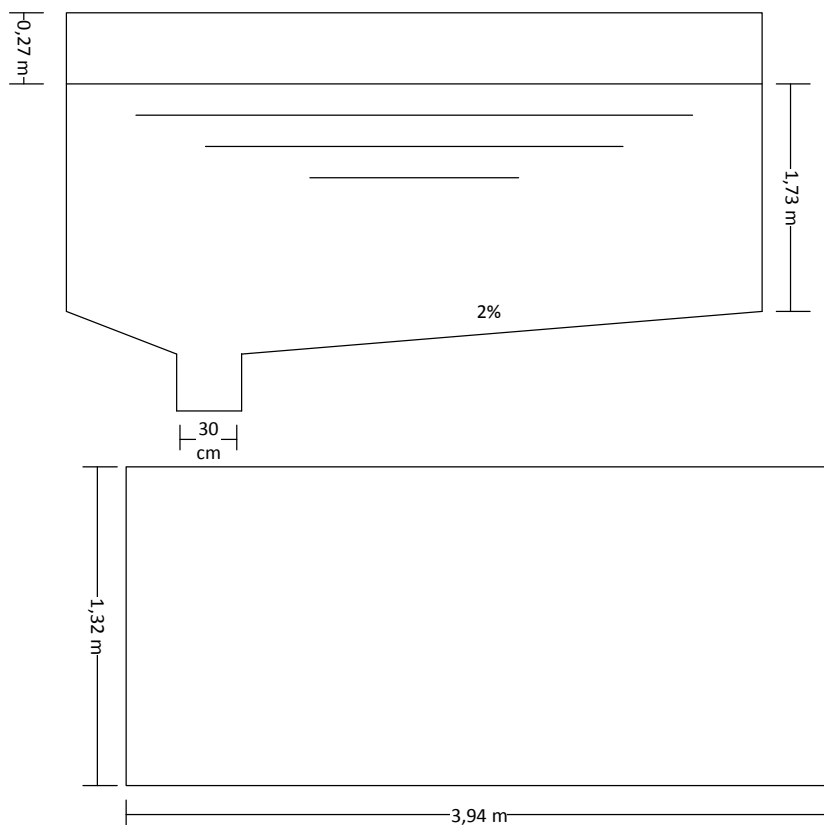
<sup>73</sup>SÁNCHEZ MONTENEGRO, Hernando. Ingeniería de acueductos y tratamiento de aguas. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. 1970.

**Cuadro 27.** Sumario de las especificaciones de la unidad de sedimentación.

Tiempo de retención	3 h
Volumen del sedimentador	9 m <sup>3</sup>
Área superficial	5,2 m <sup>2</sup>
Ancho	1,32 m
Longitud	3,94 m
Profundidad del agua	1,73 m
Altura de lodos	0,5 m
Borde libre	0,27 m
Longitud del vertedero	0,44 m
Velocidad de flujo	0,04 m
Diámetro del desagüe	30 cm
Pendiente en la base	2%
Material	Concreto

En la figura 23 se incluye el esquema del sedimentador horizontal con sus respectivas dimensiones.

**Figura 23.** Diseño del sedimentador horizontal. Arriba: Vista corte lateral. Abajo: Vista superior.





**5.2.5 Disposición de lodos.** Cuando la altura de lodos alcance los 50 cm del clarificador, se procede a ser retirados manualmente por la tubería de desagüe para ser tratados posteriormente. Para ello, se va a determinar el volumen de lodo de la siguiente manera:

**Ecuación 35.** Volumen de lodo.

$$W = (S + 0,3D)Q \times 10^3$$

Donde, W son los kg de lodo, S es la turbiedad máxima del agua cruda de acuerdo a la última caracterización en NTU, D es la dosis de alumbre en mg/L y Q es el caudal de agua tratada en m<sup>3</sup>/día.

$$W = \left( 1100NTU + 0,3 \left( \frac{189mg}{L} \right) \right) 72 \text{ m}^3/d \times 10^3 = 83,28 \text{ kg/d}$$

Según Romero<sup>74</sup> los lodos de sales de aluminio tienen un contenido de sólidos típico de 2%, teniendo en cuenta este valor, se calcula la masa diaria del lodo.

**Ecuación 36.** Masa diaria de lodo.

$$MDL = \frac{W}{0,02}$$

Donde, MDL es la masa diaria de lodo extraída y W es el volumen de lodo.

$$MDL = \frac{83,28 \text{ kg/día}}{0,02} = 4164 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

El volumen diario de lodo se determinó con la densidad del lodo húmedo:

**Ecuación 37.** Volumen diario de lodo.

$$VDL = \frac{MDL}{\rho_{LodoH}}$$

Donde, VDL es el volumen diario de lodo, MDL la masa diaria de lodo extraída y  $\rho_{LodoH}$  es la densidad del lodo húmedo.

$$VDL = \frac{4164 \text{ kg/día}}{1105 \text{ kg/m}^3} = 3,77 \text{ m}^3/\text{día}$$

**Ecuación 38.** Porcentaje de lodo diario.

$$\%Diario \text{ de lodo} = \frac{VDL * 100}{Q}$$

---

<sup>74</sup> ROMERO ROJAS. Purificación del agua. Op. cit., p. 313.

Donde, VDL es el volumen diario de lodo y Q es el caudal de diseño.

$$\% \text{Diario de lodo} = \frac{3,77 \text{ m}^3/\text{día} * 100}{72 \text{ m}^3/\text{día}} = 5\% (\text{Volumen})$$

El secado de los lodos se llevará a cabo en un filtro prensa, que para esta labor requiere de presiones a través del medio de filtración hasta de 1,725kPa (250 psi)<sup>75</sup>, para obtener lodos con 40% de sólidos. Por ello, se hará uso de un filtro prensa que posee la fábrica, para no incurrir en costos adicionales, con las siguientes especificaciones: se compone de varias placas separadas por marcos, para formar dentro de ellas una cámara que va a contener el líquido a filtrar. Para realizar el proceso, se requiere un medio filtrante ubicado entre la placa y el marco del filtro.

Los lodos se alimentan a través de los orificios centrales de las placas y se distribuyen sobre las telas, en las cuales se lleva a cabo la retención de sólidos y se produce el paso del líquido. El agua filtrada pasa por pequeños orificios ubicados en las caras de las placas y se evacua por grifos que recogerá el filtrado de todas las placas, llevándolo hacia un extremo del filtro.

Cuando las cámaras se han llenado, lo cual se visualiza por la presión alcanzada en la línea de alimentación, es necesario suspender la alimentación de lodos, y luego pasar aire para realizar el sacado de la torta y, por último, se debe abrir el filtro para evacuar las tortas que se han formado. Una vez descargadas las tortas se procede a retirar los restos de sólidos adheridos a las telas antes de iniciar el nuevo ciclo de filtración.

**Cuadro 28.** Características del filtro prensa modelo KKA-470-6AC-CMAN.

Formato	470x470 mm
Material de las placas	Polipropileno PPG
Cantidad de placas cámara	5
Cantidad de medias placas	2
Área total de filtración	2,2 m <sup>2</sup>
Espesor de torta por placa	32 mm
Volumen total de torta por ciclo	29 Litros
Caballote	En perfiles de acero al carbono con acabado en dos capas de pintura anticorrosivo epóxica y una pintura de acabado epoxifenólico
Cierre	Tornillo de accionamiento manual
Presión Máxima	140 psi (9,5 bar)
Lonas	Un juego en polipropileno monofilamentado
Sistema de recepción de tortas	Una bandeja localizada al lado del filtro fabricada en acero al carbono con recubrimiento en dos capas de pintura anticorrosivo epoxi y una epoxifenólica.

<sup>75</sup> ROMERO ROJAS. Purificación del agua. Op. cit., p. 320.

**Figura 24.** Filtro prensa modelo KKA-470-6AC-CMAN.



Los lodos secos se almacenan y se disponen al relleno sanitario.

### **5.3 VARIABLES DE OPERACIÓN**

Para que el tratamiento de coagulación-floculación tenga el mejor rendimiento posible, se requiere que las siguientes condiciones de operación, se encuentren en los rangos determinados en el desarrollo experimental.

**5.3.1 Temperatura.** Se mantendrá sujeta a la temperatura del agua a la salida del clarificador de tratamiento biológico, aproximadamente se encuentra entre 16 a 21°C. No se realizará modificaciones de temperatura debido a que solo se requiere que el efluente se encuentre en estado líquido.

**5.3.2 pH.** Según Cogollo<sup>76</sup> el rango de aplicación óptimo de pH para el hidroxiclورو de aluminio se encuentra entre 5,5 a 9,0 dependiendo del contenido de carbono orgánico disuelto en el agua. En el desarrollo experimental se determinó que el pH recomendado del hidroxiclورو de aluminio para el agua de la fábrica se encuentra entre 7 y 8. Por esta razón, se implementa un acondicionador de pH con soda cáustica para mantener este parámetro entre el rango recomendado de aplicación. Es importante mencionar que en la PTAR se realiza un proceso de neutralización con soda cáustica con el fin de aumentar el pH hasta 7 antes del tratamiento biológico.

**5.3.3 Velocidad de agitación y Tiempo de mezcla.** El diseño de los equipos de mezcla rápida y lenta se realizó con base en las velocidades de agitación y tiempos de mezcla empleados en el desarrollo experimental, es decir, para mezcla rápida 120 rpm en un minuto y para mezcla lenta 40 rpm en 15 minutos. Para la mezcla

---

<sup>76</sup> COGOLLO FLÓREZ. Op. cit.

rápida se utiliza la turbulencia del fluido generada por la bomba centrífuga en la tubería y el tiempo de retención es de 2 segundos, según los criterios de diseños establecidos en el Manual de diseño de plantas de tratamiento de agua de la AWWA, teniendo en cuenta el gradiente de velocidad determinado en el laboratorio.

Para la mezcla lenta, se utiliza un equipo de floculación de flujo horizontal, en el cual, el agua va a tener un tiempo de retención de 15 minutos, con un gradiente de velocidad de  $58,64 \text{ s}^{-1}$ .

**5.3.4 Dosificación de coagulante.** La dosificación del coagulante se llevará a cabo por una bomba dosificadora.

El caudal a dosificar es:

- Dosificación recomendada del coagulante hidroxicloriguro de aluminio: 40 mL con una concentración de 2000 mg/L en 500 mL de agua residual
- Caudal de tratamiento:  $3 \text{ m}^3/\text{h}$

**Ecuación 39.** Volumen a dosificar de coagulante.

$$VDH = \frac{Q \times DR}{500 \text{ mL}}$$

Donde, VDH es el volumen a dosificar por hora, Q es el caudal de diseño y DR es la dosificación recomendada de coagulante.

$$\text{Volumen a dosificar por hora} = \frac{3 \text{ m}^3/\text{h} \times 40 \text{ mL}}{500 \text{ mL}} = 0,24 \text{ m}^3/\text{h}$$

Con este caudal, se selecciona una bomba dosificadora impulsada por motor. La solución del coagulante se prepara en un tanque de 2000 L, con el fin de satisfacer la demanda diaria, la cual es de 1600 L para tratar un caudal de agua de  $20 \text{ m}^3/\text{día}$ . Por lo tanto, el volumen de coagulante diario requerido es de 12.8 L al 25%.

**5.3.5 Dosificación de floculante.** La dosificación del floculante se llevará a cabo por una bomba dosificadora. El caudal a dosificar es:

- Dosificación recomendada del floculante polímero catiónico es: 5 ml con una concentración de 2000 mg/L en 500 mL de agua residual
- Caudal de tratamiento:  $3 \text{ m}^3/\text{h}$

**Ecuación 40.** Volumen a dosificar de floculante.

$$VDH = \frac{Q \times DR}{500 \text{ mL}}$$

Donde, VDH es el volumen a dosificar por hora, Q es el caudal de diseño, DR es la dosificación recomendada de coagulante.

$$\text{Volumen a dosificar por hora} = \frac{3 \text{ m}^3/\text{h} \times 5 \text{ mL}}{500 \text{ mL}} = 0,03 \text{ m}^3/\text{h}$$

Con este caudal, se selecciona una bomba dosificadora de tipo solenoide.

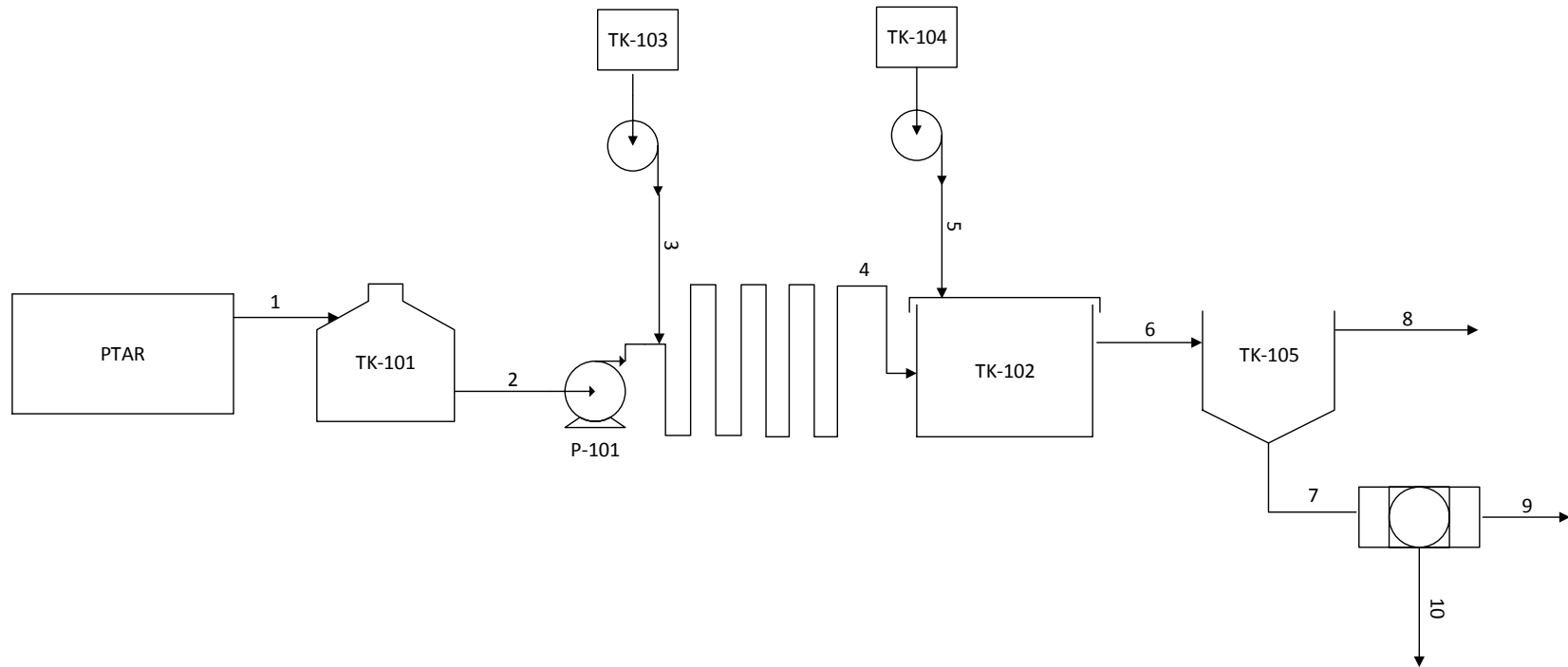
La solución de floculante se prepara en un tanque de 250 L con el fin de satisfacer la demanda diaria, la cual es de 200 L para tratar un caudal de agua de 20 m<sup>3</sup>/día. Por lo tanto, la cantidad de floculante diario requerido es de 0,4 kg.

#### **5.4 DIAGRAMA DE FLUJO Y BALANCE DE MATERIA**

En esta sección se realiza el balance de materia presentando el flujo másico y volumétrico, junto con la composición de cada corriente del tratamiento físico-químico propuesto descrito en el diagrama de flujo, el cual ilustra la dirección del flujo del agua residual dentro del proceso y los equipos involucrados en este.

El balance de materia por equipos se cumple. La corriente uno (1), que está compuesta por agua cruda con un porcentaje de sólidos de 3,6%, entra al tranque de igualación y de este sale la corriente dos (2) con la misma cantidad de sólidos suspendidos, por lo tanto, en esta unidad no se presenta acumulación. La corriente dos (2) ingresa a la unidad de coagulación al igual que la corriente tres (3), la cual está compuesta de 20% de hidroxiclورو de aluminio, de esta unidad sale la corriente cuatro (4) la cual pasa a la unidad de floculación, donde entra la corriente cinco (5), la cual está compuesta de 20% de polímero catiónico; la salida de esta unidad (corriente 6) ingresa al tanque sedimentador, de allí se desprenden dos corrientes: la corriente ocho (8) con un porcentaje de sólidos del 0,01% y la corriente siete (7) con un porcentaje de sólidos del 26%, la cual pasa a un filtro presa en donde se separan un 60% de sólidos en la corriente diez (10) y 40% en la corriente nueve (9).

## DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO



### BALANCE DE MATERIA DEL PROCESO

Numero de corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura (°C)	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Presión (atm)	0,7370	0,7369	0,737	0,747	0,737	0,737	0,737	0,737	0,737	0,737
Densidad (kg/m3)	998,77	998,77	1001,5	998,97	1075	999,67	1105	985,94	1105	
Flujo másico (kg/h)	2996,31	2996,31	240,36	3236,67	32,25	3268,92	416,59	2852,33	416,05	0,54
Flujo volumétrico (m³/h)	3	3	0,24	3,24	0,03	3,27	0,377	2,893	0,376	
Turbiedad (NTU)	1100	1100	-	1017	-	1006,8	2630	4,19	-	-
% másico por componente										
Agua	99,963	99,963	99,8	99,95	99,8	99,95	99,87	99,99	60	40
Hidroxiclورو de aluminio	0	0	0,2	0,0149	0	0,0147	0,1153	0	0	0
Polímero catiónico	0	0	0	0	0,2	0,00197	0,0155	0	0	0
Sólidos suspendidos	0,0367	0,0367	0	0,0339	0	0,0336	0,263	1,42x10 <sup>-4</sup>	40	60

## 6. EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA PROPUESTA

En el presente capítulo se analiza la propuesta desde el punto de vista financiero, iniciando con la estimación de costos de inversión y de operación, con base en el diseño conceptual, y se determina la relación beneficio costo teniendo en cuenta el flujo de caja con y sin proyecto.

### 6.1 COSTOS DE INVERSIÓN

Para lograr un estimado de los costos de inversión, se determinan los costos necesarios para llevar a cabo la instalación física de la propuesta, teniendo en cuenta el dimensionamiento de los equipos, los materiales con los cuales están contruidos y el costo de transporte e instalación.

El tanque de igualamiento con una capacidad de 5.000 L y los dos tanques de almacenamiento de las soluciones del coagulador y floculador, están fabricados en PVC como se determinó en el capítulo de diseño conceptual de la propuesta. Su costo es de 2'667.900 COP<sup>77</sup> para el tanque de igualamiento, 529.900 COP para el tanque de 2.000 L y 100.900 COP para el tanque de 250 L.

La cotización de las bombas, el controlador de pH y el sensor de nivel se encuentran en el anexo E y sus especificaciones en el anexo D.

**Tabla 17.** Listado de costos de equipos.

Equipo	Especificación	Cantidad	Valor unitario COP	Valor total COP
Tanque de igualamiento	5000 L en PVC	1	\$2 667 900	\$2 667 900
Difusores de aire	Burbuja gruesa	8	\$85 800	\$686 400
Bomba	Centrifuga	1	\$250 000	\$250 000
Floculador	Concreto Cemex corriente de 3000 psi x m <sup>3</sup>	7 m <sup>3</sup>	\$313 316 <sup>78</sup>	\$2 193 212
Bombas dosificadora de coagulante	Bomba de diafragma Caudal máximo de 0,26 m <sup>3</sup> /h	1	\$3 629 500	\$3 629 500

<sup>77</sup> HOMECENTER. Catálogo en línea. [En línea]. [Citado octubre 25, 2017]. Disponible en internet: <<http://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/04712/Tanque-5000-Litros/04712>>

<sup>78</sup> CONSTRUDATA. Catálogo en línea. [En línea]. [ Citado octubre 25, 2017]. Disponible en internet: <<http://www.construdata.com/BancoConocimiento/C/cuadropreciosconstrudata100205/cuadropreciosconstrudata100205.asp>>



**Tabla 17.** (Continuación)

Equipo	Especificación	Cantidad	Valor unitario COP	Valor total COP
Bomba dosificadora de floculante	Bomba de diafragma Caudal máximo de 0,05 m <sup>3</sup> /h	1	\$2 296 700	\$2 296 700
Sedimentador	Concreto Cemex corriente de 3000 psi x m <sup>3</sup>	10 m <sup>3</sup>	\$313 316	\$3 133 160
Tanque de almacenamiento	2000 L de PVC	1	\$529 900	\$529 900
Tanque de almacenamiento	250 L de PVC	1	\$100 900	\$100 900
Controlador de Nivel	Sensor Horizontal de nivel de Agua – Flotador Interruptor	2	\$18 300	\$36 600
Controlador de pH	Controlador de pH con bomba dosificadora	1	\$2 940 895	\$2 940 895
Tubería	Acero calibre 40 de 1' x 6 metros	12 m	\$72 289	\$144 578
TOTAL				\$18 609 745

## 6.2 COSTOS DE OPERACIÓN

Para estimar los costos de operación se tendrá en cuenta las materias primas o insumos, costos de mantenimiento, costos de consumo de energía eléctrica y agua.

**6.2.1 Materias primas e insumos.** En la presente propuesta los insumos corresponden al hidroxiclورو de aluminio y al polímero catiónico; en el diseño conceptual, se determinaron las dosificaciones, el caudal a dosificar y el volumen diario requerido, pero para efectos prácticos, se estimará el costo de estos insumos anualmente, teniendo en cuenta que la fábrica labora 5 días a la semana durante todo el año, como se muestra a continuación:

**Tabla 18.** Costos de insumos.

Insumos	Presentación (kg)	Costo (COP)	Dosis anual (kg)	Costo total anual (COP)
Hidroxiclورو de aluminio	1	\$1 964	4 147 (3072 L)	\$8 145 100
Polímero catiónico	1	\$19 040	96	\$1 827 840
TOTAL				\$9 972 941

Las cotizaciones de los insumos se muestran en el anexo E

**6.2.2 Costos de servicios.** Estos involucran la energía eléctrica necesaria para la operación de las bombas y el agua requerida para la preparación de las soluciones de coagulante y floculante, teniendo en cuenta el valor por m<sup>3</sup> de agua establecido por el acueducto para el 2017 en zonas industriales y la tarifa de energía eléctrica (COP/kWh) regulada por la comisión de regulación de energía y gas (CREG) para octubre del 2017.

**Tabla 19.** Costos de servicios.

Servicio	Unidad	Valor / Unidad	Requerimiento anual	Costo total anual (COP)
Energía eléctrica	COP/kWh	\$478	1832,27 kWh	\$875 825,06
Agua	COP/m <sup>3</sup>	\$9 077	429 m <sup>3</sup>	\$3 894 033
TOTAL				\$4 769 858,06

**6.2.3 Costos de Caracterizaciones.** Se realizarán dos caracterizaciones anuales, cada seis meses, a la salida del tratamiento fisicoquímico, para verificar que los parámetros del agua estén cumpliendo con la resolución 0631. El costo se muestra en la tabla 19 y los parámetros que incluye se encuentran especificados en el anexo E.

**Tabla 20.** Costo de caracterización del agua residual.

	Costo / Unidad	Cantidad	Costo total anual
Caracterización y muestreo	\$1 855 210	2	\$3 710 420

**6.2.4 Costos de mantenimiento.** Se estima que el costo anual de manteniendo del tratamiento propuesto es de \$2 000 000, los cuales incluye el agua utilizada para el lavado, los utensilios de aseo y el jabón.

**Cuadro 29.** Totalización de los costos de operación anuales.

Materia Prima o Insumos	\$9 972 941 COP
Costo de servicios	\$4 769 858 COP
Costo caracterización	\$3 710 420 COP
Costo de mantenimiento	\$2 000 000 COP
TOTAL	\$20 453 219 COP

### 6.3 CÁLCULO DE LA TASA INTERNA DE OPORTUNIDAD (TIO)

**Ecuación 41.** Tasa interna de oportunidad.

$$TIO = 1 - [(1 + DTF) \times (1 + TASA DE INFLACIÓN) \times (1,05)]$$

$$TIO = 1 - [(1 + 0,0535) \times (1 + 0,04) \times (1,05)] = 0,150 = 15\%$$

La DTF corresponde a 5,35% según el reporte semanal del Banco de la República<sup>79</sup> y la tasa de inflación es del 4%

### 6.4 CÁLCULO DE MULTAS POR INFRACCIÓN A LA NORMATIVIDAD AMBIENTAL

Para determinar el valor estimado de la multa económica que se le impondría a la fábrica por incumplir los límites permisibles de vertimientos, estipulados en la resolución 0631 de 2015, se procede hacer el cálculo según lo dictado por la resolución 2086 del 2010, “por la cual se adopta la metodología para la tasación de multas consagradas en el numeral 1° del artículo 40 de la ley 1333 del 21 de julio de 2009”<sup>80</sup>; esta última determina el procedimiento sancionatorio ambiental.

El artículo cuatro (4) presenta el siguiente modelo matemático:

**Ecuación 42.** Multa.

$$Multa = B + [(\alpha \times i) \times (1 + A) + Ca] \times C_s$$

Donde B es el beneficio ilícito,  $\alpha$  es el factor de temporalidad, i es el grado de afectación ambiental y/o evaluación del riesgo, A son circunstancias agravantes y atenuantes, Ca son los costos asociados y  $C_s$  es la capacidad socioeconómica del infractor.

Ahora, se procede a calcular cada uno de los ítems del modelo matemático según lo estipulados en dicha resolución (2086 del 2010)

#### **Beneficio ilícito (B)**

Según el artículo seis (6), el cálculo del beneficio ilícito obtenido por el infractor se realiza mediante la siguiente ecuación:

---

<sup>79</sup> BANCO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. [En línea]. [Citado noviembre 15, 2017]. Disponible en internet: <<http://www.banrep.gov.co/es/dtf>>

<sup>80</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Op. cit., p.1-11.

**Ecuación 43.** Beneficio ilícito.

$$|B| = \frac{Y \times (1 - p)}{p}$$

Donde, B es el beneficio ilícito, Y es la sumatoria de ingresos y costos, p es la capacidad de detección de la conducta, la cual puede tomar los siguientes valores: p es 0,4 cuando la capacidad de detección es baja, p es 0,45 cuando es media y p es 0,5 cuando es alta.

Los costos e ingresos de la fábrica son alrededor de 700 millones mensuales y la capacidad de detección de la conducta es baja, debido a que tiene un sistema de tratamiento de agua residual en funcionamiento actualmente.

$$|B| = \frac{700'000.000 \text{ COP} \times (1 - 0,4)}{0,4} = \$1\ 050\ 000\ 000 \text{ COP}$$

### **Grado de afectación ambiental (i)**

Según el artículo siete (7), para la estimación del grado de afectación ambiental, primero se debe determinar la importancia de la afectación mediante el siguiente modelo matemático:

**Ecuación 44.** Importancia de afectación ambiental.

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

Donde, I es la importancia de afectación y IN, EX, PE, RV, MC son la calificación de los siguientes atributos teniendo en cuenta la resolución (2086 del 2010)

Intensidad (IN) = 4

Extensión (EX)=4

Persistencia (PE)=1

Reversibilidad (RV)=3

Recuperabilidad (MC)=1

$$I = (3 \times 4) + (2 \times 4) + 1 + 3 + 1 = 25$$

Según el cuadro 31 extraída de la resolución 2086 del 2010, la importancia de afectación se puede clasificar como moderada:

**Cuadro 30.** Clasificación de la importancia de afectación.

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
		Critico	61-80

Ahora se determina el grado de afectación ambiental en unidades monetarias:

**Ecuación 45.** Grado de afectación ambiental.

$$i = (22,06 \times SMMLV) \times I$$

Donde, i es el valor monetario del grado de afectación, SMMLV es el salario mínimo mensual legal vigente (737.717 COP) y I es la importancia de afectación.

$$i = (22,06 \times 737.717 COP) \times 25 = \$406 850 926 COP$$

**Factor de temporalidad ( $\alpha$ )**

Se determina a partir del artículo siete (7) párrafo tercero, por la siguiente relación:

**Ecuación 46.** Factor de temporalidad.

$$\alpha = \frac{3}{364} d + \left(1 - \frac{3}{364}\right)$$

Donde, d es el número de días continuos o discontinuos durante los cuales sucede el ilícito (entre 1 y 365).

$$\alpha = \frac{3}{364} (220) + \left(1 - \frac{3}{364}\right) = 2,8$$

**Circunstancias agravantes y atenuantes (A)**

Se determina con la sumatoria aritmética del valor de los agravantes y el valor atenuantes, según los escenarios presentados en la resolución. Ninguno de los escenarios agravantes descritos aplica a la empresa, en el caso de los atenuantes aplica el resarcir o mitigar por iniciativa propia el daño, compensar o corregir el perjuicio causado antes de iniciarse el procedimiento sancionatorio ambiental,

siempre que con dichas acciones no se genere un daño mayor. Por lo tanto, el valor de este ítem es de -0.4.

### **Capacidad Socioeconómica del infractor (Cs)**

Según el artículo diez (10), para el cálculo de este ítem se hace la diferenciación entre persona natural, persona jurídica y ente territorial. La fábrica es una persona jurídica y es una empresa mediana, por ello el valor para este factor es de 0,75.

### **Costos asociados (Ca)**

Según el artículo once (11), dichos costos corresponden a aquellas erogaciones en las cuales incurre la autoridad ambiental durante el proceso sancionatorio y que son responsabilidad del infractor en los casos en que establece la ley. Por facilidad de cálculo se tomará un valor base de un (1) SMMVL

Ahora se procede a calcular el valor de la multa:

$$\begin{aligned} \text{Multa} &= 1050'000.000\text{COP} + [(2,8 \times 406'850.926\text{COP}) \times (1 - 0.4) + 737.717\text{COP}] \\ &\times 0,75 = \$1\ 563\ 185\ 455\ \text{COP} \end{aligned}$$

## **6.5 FLUJO DE CAJA SIN PROYECTO**

En este flujo de caja sin proyecto se tiene en cuenta los costos que actualmente genera el funcionamiento de la PTAR y se mantiene constante en los próximos a 5 años despreciando el aumento anual de los precios. Los costos, suministrados por la fábrica, a tener en cuenta son:

- Costo de mano de obra que corresponde al salario mensual de 1'000.000 COP de un operario de la fábrica encargado de la PTAR., el cual se mantendrá constante durante el periodo establecido para facilidad de cálculo.
- Costo de servicios que corresponde al costo de energía requerido por la bomba sumergible de la trampa de grasas (1 HP), la bomba del ecualizador (1HP), las dos bombas dosificadoras (19 W cada una) y el soplador (10 HP) y el costo de agua utilizada en la preparación de las soluciones.

**Tabla 21.** Costo anual actual de energía.

<b>Servicio</b>	<b>Consumo anual</b>	<b>Valor / unidad</b>	<b>Costo anual (COP)</b>
Bomba sumergible	1640,54 kWh		\$784 178,12
Bomba del ecualizador	1640,54 kWh		\$784 178,12
Bomba dosificadora A	41,8 kWh	478 \$/kWh	\$19 980,4
Bomba dosificadora B	41,8 kWh		\$19 980,4
Soplador	13671,17 kWh		\$6 534 817,67
Agua	165 m <sup>3</sup>	9 077 \$/m <sup>3</sup>	\$1 497 705
	<b>TOTAL</b>		<b>\$9 640 834</b>

- Costo de mantenimiento que corresponde al consumo actual de agua que se emplea en la limpieza de equipos y preparación de soluciones, jabón y utensilios. Se estima un valor de \$2 000 000 COP.
- Costo de insumos que corresponde a las bacterias que se utilizan en el tratamiento biológico, urea, fosfato y soda cáustica.

**Tabla 22.** Costo anual actual de insumos.

<b>Insumo</b>	<b>Costo anual (COP)</b>
Bacterias	\$8 362 640
Urea Técnica	\$1 421 211
Fosfato Trisodico	\$2 521 184
Soda cáustica en escamas	\$2 700 000
<b>TOTAL</b>	<b>\$15 005 035</b>

- La sanción aproximadamente es de \$1 563 185 455 COP

Debido a que este proyecto no genera ningún ingreso a la fábrica, el flujo de caja, no tendrá valores positivos. A continuación, se presenta el flujo de caja sin proyecto.

**Cuadro 31.** Flujo de caja sin proyecto.

FLUJO DE CAJA SIN PROYECTO						
Años	0	1	2	3	4	5
Ingresos	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Mano de obra	-\$11,000,000	-\$11,000,000	-\$11,000,000	-\$11,000,000	-\$11,000,000	-\$11,000,000
Costos de servicios	-\$9,640,834	-\$9,640,834	-\$9,640,834	-\$9,640,834	-\$9,640,834	-\$9,640,834
Costos de mantenimiento	-\$2,000,000	-\$2,000,000	-\$2,000,000	-\$2,000,000	-\$2,000,000	-\$2,000,000
Costos de insumos	-\$15,005,035	-\$15,005,035	-\$15,005,035	-\$15,005,035	-\$15,005,035	-\$15,005,035
Costo caracterización	-\$3,710,420	-\$3,710,420	-\$3,710,420	-\$3,710,420	-\$3,710,420	-\$3,710,420
Sanción	-\$1,563,185,455	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
<b>Total Costos</b>	<b>-\$1,604,541,744</b>	<b>-\$41,356,289</b>	<b>-\$41,356,289</b>	<b>-\$41,356,289</b>	<b>-\$41,356,289</b>	<b>-\$41,356,289</b>

## 6.6 FLUJO DE CAJA CON PROYECTO

En este flujo de caja con proyecto se tiene en cuenta los costos de inversión y operación determinados anteriormente para la propuesta de mejora y los costos que actualmente incurre la PTAR como se muestra a continuación:

**Cuadro 32.** Flujo de caja con proyecto.

FLUJO DE CAJA CON PROYECTO						
Años	0	1	2	3	4	5
Ingresos	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Mano de obra		-\$11,000,000	-\$11,000,000	-\$11,000,000	-\$11,000,000	-\$11,000,000
Costo de servicios		-\$14,410,692	-\$14,410,692	-\$14,410,692	-\$14,410,692	-\$14,410,692
Costos de mantenimiento		-\$4,000,000	-\$4,000,000	-\$4,000,000	-\$4,000,000	-\$4,000,000
Costos de insumos		-\$24,977,976	-\$24,977,976	-\$24,977,976	-\$24,977,976	-\$24,977,976
Costo caracterización		-\$3,710,420	-\$3,710,420	-\$3,710,420	-\$3,710,420	-\$3,710,420
Sanción	\$0					
Inversión	-\$18,609,745	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
<b>Total Costos</b>	<b>-\$18,609,745</b>	<b>-\$47,099,088</b>	<b>-\$47,099,088</b>	<b>-\$47,099,088</b>	<b>-\$47,099,088</b>	<b>-\$47,099,088</b>

## 6.7 FLUJO DE CAJA DIFERENCIAL

A continuación, se presenta el flujo de caja diferencial en el cuadro 36, el cual corresponde a la diferencia entre el flujo de caja sin proyecto y el flujo de caja con proyecto, con este se calcula el valor presente neto (VPN) y la relación beneficio-coste, cuyos resultados se encuentran en el cuadro 37.



**Cuadro 33.** Flujo de caja diferencial.

Años	0	1	2	3	4	5
Beneficios	\$1,585,931,999	-\$5,742,799	-\$5,742,799	-\$5,742,799	-\$5,742,799	-\$5,742,799

**Cálculo del valor presente neto (VPN)**

**Ecuación 47.** Valor presente neto

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Donde,  $V_t$  representa los flujos de caja en cada periodo  $t$ ;  $I_0$  es el valor inicial de la inversión,  $n$  es el número de períodos considerados y  $i$  es la tasa interna de oportunidad.

$$VPN = \left( \frac{-5\,742\,799}{(1+0,15)^1} + \frac{-5\,742\,799}{(1+0,15)^2} + \frac{-5\,742\,799}{(1+0,15)^3} + \frac{-5\,742\,799}{(1+0,15)^4} + \frac{-5\,742\,799}{(1+0,15)^5} \right) + 1\,585\,931\,999$$

**Cuadro 34.** Determinación de la relación beneficio costo.

<b>Inversión</b>	\$18 609 745
<b>VPN</b>	\$1 362 331 518,13
<b>Beneficio/Costo</b>	\$73 205
<b>TIO</b>	0,15

El valor de la relación beneficio costo es positivo, lo que significa que el proyecto es económicamente viable, debido a que es mayor el valor de las sanciones que se impondrían de no cumplir con la norma a la implementación de la presente propuesta de mejora.

## 7. CONCLUSIONES

- Al realizar el respectivo análisis de las caracterizaciones históricas de la PTAR de la Fábrica de Chocolates Triunfo S.A., se concluye que el tratamiento biológico de lodos activados ya existente, con una eficiencia mayor al 80%, no es suficiente para disminuir las concentraciones de DQO y DBO<sub>5</sub>; puesto que las concentraciones actuales según la última caracterización realizada el 29 de septiembre de 2017 son 3230 mg/L O<sub>2</sub> para DQO y 5920 mg/L O<sub>2</sub> para DBO<sub>5</sub>.
- Según el diagnóstico realizado a la PTAR hay una relación directa entre la concentración de los parámetros del agua residual y la producción de la fábrica, presentando las máximas concentraciones de DQO y DBO a mediados de cada año (entre los años 2013-2014 y 2016-2017), en los periodos de mayor producción. Sin embargo, cabe resaltar que en los periodos de baja producción las concentraciones de DQO y DBO<sub>5</sub> disminuyen, pero no alcanzan a cumplir la normatividad de vertimientos.
- Con la matriz de priorización planteada se analizan cuatro alternativas de tratamiento de aguas residuales que han sido implementados en industrias de alimentos, los cuales son coagulación -floculación, electrocoagulación, ozonización y tratamiento biológico adicional; escogiendo como mejor alternativa el tratamiento fisicoquímico de coagulación-floculación. Este obtuvo el mayor puntaje en la matriz de priorización, donde se evaluó el porcentaje de remoción según la literatura (55,4%), el costo estimado de insumos y equipos (28,2%), el área requerida para la implementación (15%) y la disponibilidad de materiales y equipos para la evaluación a escala laboratorio (1,4%).
- A partir del desarrollo experimental se concluye que el mejor coagulante para este tipo de agua es el hidroxiclорuro de aluminio (PAC) a una concentración del 2%, junto con el polímero catiónico a una concentración del 2%. Según el caudal promedio diario de la fábrica de 19 m<sup>3</sup>/día es necesario dosificar 0,24 m<sup>3</sup>/h de coagulante (PAC) y 0,03 m<sup>3</sup>/h de floculante (polímero catiónico).
- Los porcentajes de remoción de turbiedad que se obtienen en el desarrollo experimental son mayores al 99%. Aplicando el tratamiento propuesto a las condiciones establecidas, se obtiene un porcentaje de remoción del 59,5% para la DQO y del 74,35% para la DBO<sub>5</sub> en periodos de baja producción (julio), y un porcentaje de remoción del 40,12% para la DQO y del 40,9% para la DBO<sub>5</sub> en periodos de alta producción (octubre).
- El análisis financiero de la propuesta de mejora “coagulación-floculación” es económicamente viable debido a que el valor presente neto (VPN) es positivo y la relación beneficio/costo es mayor a 1. Para este análisis se tiene en cuenta una situación sin proyecto, que involucra los costos de operación actuales de la PTAR (\$ 41 356 289) y las sanciones por incumplimiento de la norma (\$ 1 563

185 455) y una situación con proyecto, que tiene en cuenta los costos de inversión (\$18 609 745 COP) y los costos anuales operacionales (\$20 453 219 COP).

## 8. RECOMENDACIONES

- Evaluar y ajustar si es necesario el tratamiento biológico de lodos activados que actualmente funciona en la fábrica.
- Para lograr una buena remoción en los parámetros de DQO y DBO<sub>5</sub> se recomienda verificar los tiempos de retención del tratamiento biológico de lodos activados.
- Realizar una prueba piloto en planta antes de la implementación de la propuesta
- Evaluar la eficiencia del tratamiento de coagulación-floculación con respecto a los parámetros de grasas y aceite y sólidos suspendidos totales.
- Evaluar la propuesta de mejora en periodos de alta producción y alto rendimiento en el tratamiento biológico.
- Se recomienda evaluar el tratamiento físico-químico empleando un polímero aniónico.
- Evaluar la eficiencia del cloruro férrico y el sulfato de aluminio a diferentes pH.
- Evaluar otra alternativa como electrocoagulación, la cual, fue la segunda alternativa con mejor puntaje en la matriz de selección.

## BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR ASCON, Edwar Alejandro. Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2015. p. 64.

ANDÍA CÁRDENAS, Yolanda. Tratamiento de agua: Coagulación y floculación. Lima: SEDAPAL, 2000. p.16.

BANCO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. [En línea]. [Citado noviembre 15, 2017]. Disponible en internet:<<http://www.banrep.gov.co/es/df>>

BARNES DE COLOMBIA S.A. [En línea]. [Citado octubre 6, 2017]. Disponible en internet:<<http://www.barnes.com.co/aguas-residuales-en-acero-inoxidable-nse/#>>

BOHÓRQUEZ TORRES, Lorena Angélica. Propuesta Para La Evaluación De DQO En El Agua Residual Generada Por La Fábrica De Chocolates Triunfo S.A. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América, 2016. p. 33.

CAMISÓN, Cesar; CRUZ, Sonia y GONZÁLEZ, Tomás. Gestión de la calidad: conceptos, enfoques, modelos y sistemas. Valencia: Universitat de València, 2006. p. 1306- 1318.

CAÑIZARES, Pablo, *et al.* Cost of electrochemical oxidation of wastewaters: a comparison with ozonation and fenton oxidation processes. Ciudad Real: Universidad de Castilla- La Mancha, 2007. p. 412 – 418.

CASTAÑEDA JIMÉNEZ, Amparo Carolina. Procesos de oxidación avanzada aplicados en el tratamiento de aguas de la industria del petróleo. Bogotá D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2014. p. 39.

COGOLLO FLÓREZ, Juan Miguel. Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclورو de aluminio. Medellín, 2010.

COLOMBIA, CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 09. (24, enero, 1979). Por la cual se dictan medidas sanitarias. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 1979. p. 1.

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 1333. (21, julio, 2009). Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2009. No. 47413. p. 1.

COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Decreto 3930. (25, octubre, 2010). Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2010. No. 47873. p. 1.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 0631 (17, marzo, 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 disposiciones. Bogotá D.C.: El ministerio, 2015. p. 62.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2086 (25, octubre, 2010). Por la cual se adopta la metodología para la tasación de multas consagradas en el numeral 1° del artículo 40 de la ley 1333 del 21 de julio de 2009 y se toman otras determinaciones. Bogotá D.C.: El ministerio, 2010. p. 1-11.

CONSTRUDATA. Catálogo en línea. [En línea]. [ Citado octubre 25, 2017]. Disponible en internet:<<http://www.construdata.com/BancoConocimiento/C/cuadropreciosconstrudata100205/cuadropreciosconstrudata100205.asp>>

CRISTANCHO B., Angie J. y NOY O., Andrés M. Diseño conceptual de una planta de tratamiento de aguas residual para Pelikan Colombia S.A.S. Bogotá, 2016, 203 h. Trabajo de grado (Ingeniero químico). Universidad de América. Facultad de ingenierías.

DA CÁMARA, Lesly, *et al.* Manual de diseño para plantas de tratamiento de aguas residuales alimenticias. p. 5.

DONNELL, *et Al.*, Ozone in food processing. Oxford: Blackwell publishing LTD., 2012. p. 206.

FÁBRICA DE CHOCOLATES TRIUNFO S.A., Manual de Operación y mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales de la Fábrica de Chocolates Triunfo S.A. 2005.

F & T WATER SOLUTIONS. Variable electro precipitator™: 2 - 10 gpm portable pilot system. [en línea]. <<http://www.ftwatersolutions.com/electrocoagulation/commercial-systems>> [citado en 12 de enero de 2018].

GIL CASADIEGO Mauricio. Impacto de grasas y aceites en agua de tipo no domesticas, y alternativas de tratamiento. [En línea]. <<http://www.serquimsa.com/impacto-de-grasas-y-aceites-en-aguas-de-tipo-no-domesticas-y-alternativas-de-tratamiento/>> [citado en 8 de enero de 2018].

HEMCEMTER. Catálogo en línea. [En línea]. [Citado octubre 25, 2017]. Disponible en internet: <<http://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/04712/Tanque-5000-Litros/04712>>

INSFOPAL. Especificaciones para el diseño de plantas potabilizadoras de agua. 1970.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Procedimiento para el ensayo de coagulación-floculación en un recipiente con agua o método de jarras. Bogotá: ICONTEC, 2010. 2 p (NTC 3903)

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

\_\_\_\_\_. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Bogotá D.C.: El instituto, 2008. 36p. 2008.

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

\_\_\_\_\_. Calidad del agua. Muestreo. Parte 3: Directrices para la preservación y manejo de las muestras. Bogotá: ICONTEC, 2004. 2 p.(NTC-ISO 5667-3)

\_\_\_\_\_. Gestión ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Directrices para el diseño de programas de muestreo. Bogotá: ICONTEC, 1995. 2 p.(NTC-ISO 5667-1)

\_\_\_\_\_. Gestión ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas generales de muestreo. Bogotá: ICONTEC, 1995. 2 p.(NTC-ISO 5667-2)

LOZANO RIVA, William Antonio y LOZANO BRAVO, Guillermo. Potabilización del agua: principios de diseño, control de procesos y laboratorio. Bogotá D.C.: Colombia, 2015. p. 200.

MARÍN MONTOYA, Jhoan Pablo y CORREA RAMÍREZ, Juan Carlos. Evaluación de la remoción de contaminantes en aguas residuales en humedales artificiales utilizando la *Guadua Angustifolia* Kunth. Pereira, 2010. p. 15.

MARTINEZ NAVARRO, Fabiola. Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional. Ciudad Real: Universidad de Castilla- La Mancha, 2008, p. 170.

MELO P., Anderson y HERRERA D., Juan S. Diseño y construcción de una planta piloto para el tratamiento de agua potable en el laboratorio de la Universidad Católica de Colombia. Bogotá, 2016, 107 h. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Católica de Colombia. Facultad de ingeniería.

PALLARÉS BOSQUE, Cristina. Diseño y dimensionamiento de la línea de agua de una PTAR procedente de un matadero porcino. Castellón: Universidad Jaume I, 2016. p. 56.

PAVÓN-SILVA, Thelma, *et al.* Physicochemical and biological combined treatment applied to a food industry wastewater for reuse. En: Journal of Environmental Science and Health part A. Marzo, 2012, vol. 44 no. 1, p. 108-115.

PEDROLLO. [En línea]. [Citado octubre 6, 2017]. Disponible en internet:<<https://www.pedrollo.com/es/top-vortex-gm-electrobomba-sumergible-para-drenaje-para-aguas-sucias/306>>

QASIM,Wael y MANE,A. V. Characterization and treatment of selected food industrial effluents by coagulation and adsorption techniques. En: WATER RESOURCES AND INDUSTRY. December 2013.vol. 4, no. Supplement C, p. 1-12

RAMALHO, Rubens Sette, *et al.* Tratamiento De Aguas Residuales. Barcelona: Editorial Reverté, 1996. p. 91.

RESTREPO MEJIA, Ana Patricia, *et al.* La electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas. Bogotá D.C.: Universidad de la Salle, 2006. p. 72.

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Purificación del agua. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2000. p. 84.

\_\_\_\_\_. Tratamiento De Aguas Residuales: Teoría y Principios De Diseño. 3 ed. Bogotá D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008.

RUSTEN, B. *et al.* Coagulation as pretreatment of food industry wastewater. En: Water science and technology. No. 9 (1990); p. 1-8.

SÁNCHEZ MONTENEGRO, Hernando. Ingeniería de acueductos y tratamiento de aguas. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. 1970.

TOVAR, Julia Amanda y RODRIGUEZ, Jayerth. Manual de laboratorio de química industrial inorgánica experimental. Bogotá D.C.: Fundación universidad de américa, 2012. p. 54-57.

UPADHYAY, Arun, *et al.* Treatability study of soap and detergent industry wastewater by ozonation process. India: Ujjaine engineering collage, 2012.

WEBER, Walter J.; BESSA F., Jorge y AREAL G., Rogelio. Control De La Calidad Del Agua: Procesos Físicoquímicos. España: Editorial Reverté, 1979. p. 66.

XYLEM: Let's solve wáter. Productos de aireación para un tratamiento biológico energéticamente eficiente.p. 10



# ANEXO A

## CARACTERIZACIONES



### LABORATORIO INGENIERIA AMBIENTAL INFORME DE RESULTADOS



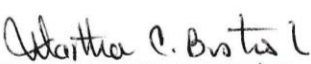
INFORMACIÓN DEL CLIENTE			
Cliente:	LÓPEZ BARROSO MARÍA FERNANDA	ANÁLISIS N°:	33961
Persona a contactar:	SRA. MARÍA FERNANDA LÓPEZ BARROSO	Cotización N°:	214-2017
Dirección / Ciudad:	CARRERA 17 No. 18 A- 13 SUR / BOGOTÁ	Orden de trabajo:	078-2017
Teléfono Fijo/Fax/Movil:	320 2890302	Recibida por:	D.A.
Fecha de Registro:	2017-07-19	Fecha de Entrega:	2017-08-03

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA			
Municipio:	BOGOTÁ	Departamento:	CUNDINAMARCA
Procedencia:	FÁBRICA DE CHOCOLATES EL TRIUNFO- SIN TEST DE JARRAS	Toma de Muestra:	NO
Punto de Captación:	SALIDA PTAR	Tipo de Muestra:	AGUA RESIDUAL
Fecha de Toma de Muestra:	2017-07-19	Tipo Toma de Muestra:	PUNTUAL


RESULTADOS				
Parámetro	Unidades	Método	Fecha análisis	Resultado
DBO <sub>5</sub>	mg/L O <sub>2</sub>	SM 5210 B	2017-07-21	1107
DQO	mg/L O <sub>2</sub>	SM 5220 C	2017-07-24	1680

**OBSERVACIONES:**

La muestra analizada No fue recolectada por personal del laboratorio ni bajo supervisión del mismo, por lo que estos resultados son solamente válidos para esta muestra

  
 Dra. MARTHA CRISTINA BUSTOS LÓPEZ  
 Coordinadora Laboratorio Ing Ambiental



  
 Q. CÉSAR AUGUSTO COY VELANDÍA  
 Responsable Técnico M.P. Q-3246

**LABORATORIO INGENIERIA AMBIENTAL  
INFORME DE RESULTADOS**


INFORMACIÓN DEL CLIENTE			
<b>Cliente:</b>	LÓPEZ BARROSO MARÍA FERNANDA	<b>ANALISIS N°:</b>	33960
<b>Persona a contactar:</b>	SRA. MARÍA FERNANDA LÓPEZ BARROSO	<b>Cotizacion N°:</b>	214-2017
<b>Dirección / Ciudad:</b>	CARRERA 17 No. 18 A- 13 SUR / BOGOTÁ	<b>Orden de trabajo:</b>	078-2017
<b>Telefono Fijo/Fax/Movil:</b>	320 2890302	<b>Recibida por:</b>	D.A.
<b>Fecha de Registro:</b>	2017-07-19	<b>Fecha de Entrega:</b>	2017-08-03

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA			
<b>Municipio:</b>	BOGOTÁ	<b>Departamento:</b>	CUNDINAMARCA
<b>Procedencia:</b>	FÁBRICA DE CHOCOLATES EL TRIUNFO- TEST DE JARRAS	<b>Toma de Muestra:</b>	NO
<b>Punto de Captación:</b>	SALIDA PTAR	<b>Tipo de Muestra:</b>	AGUA RESIDUAL
<b>Fecha de Toma de Muestra:</b>	2017-07-19	<b>Tipo Toma de Muestra:</b>	PUNTUAL


RESULTADOS				
Parámetro	Unidades	Método	Fecha análisis	Resultado
DBO <sub>5</sub>	mg/L O <sub>2</sub>	SM 5210 B	2017-07-21	284
DQO	mg/L O <sub>2</sub>	SM 5220 C	2017-07-24	680


**OBSERVACIONES:**

La muestra analizada No fue recolectada por personal del laboratorio ni bajo supervision del mismo, por lo que estos resultados son solamente válidos para esta muestra



**Dra. MARTHA CRISTINA BUSTOS LÓPEZ**  
Coordinadora Laboratorio Ing Ambiental





**Q. CÉSAR AUGUSTO COY VELANDIA**  
Responsable Técnico M.P. Q-3246



CONSULTORIA Y SERVICIOS AMBIENTALES  
CONOSER Ltda.  
**FABRICA DE CHOCOLATES TRIUNFO S.A.**  
Página 7 de 7

PARAMETRO	Muestra No. 52221 Entrada Trampa de Grasas	Muestra No. 52222 Salida PTAR	Remociones (%)
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	10.800	3.230	70
DQO (mg/L)	17.500	5.920	66
pH (Unidades)	3,75	7,04	—
SS (mL/L-h)	150	2,0	—
Temperatura (°C)	20,1	20,0	—
<b>FABRICA DE CHOCOLATES TRIUNFO S.A.</b>	<b>TABLA 2 REMOCIONES (Septiembre 29 de 2017)</b>	CONOSER LTDA	

<Fin de texto>  
R: SS

100 DBO

## RESULTADOS DE LABORATORIO

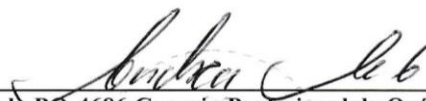
Muestra No.:	52289	Fecha de Recepción:	Octubre 9 de 2017
Procedencia:	Fábrica de Cholates Triunfo S.A.	Fecha de Toma:	Octubre 9 de 2017
Dirección:	Carrera 68B No. 10 - 10	Sitio de Toma	Clarificador sin Tratamiento de Floculación y Coagulación
Tipo de Muestra:	Agua / Muestreo Puntual	Tomada por:	Puesta en Laboratorio

PARAMETRO		CONC.	PARAMETRO		CONC.
Aceites y Grasas	mg/L		Fenoles	mg/L	
Acidez Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>		Formaldehido	mg/L	
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>		Fosforo	mg/L-P	
Aluminio	mg/L-Al		o-Fosfatos	mg/L-PO <sub>4</sub>	
Arsénico	mg/L-As		Hidrocarburos	mg/L-Hc	
Bario	mg/L-Ba		Hidrocarburos Aroma.	mg/L- HAP	
Cadmio	mg/L-Cd		Hierro	mg/L-Fe	
Cianuros	mg/L CN		Mercurio	mg/L-Hg	
Cloruros	mg/L Cl <sup>-</sup>		Molibdeno	mg/L-Mo	
Cobre	mg/L Cu		Níquel	mg/L-Ni	
Coliformes Fecales	NMP/100mL		Nitratos	mg/L-NO <sub>3</sub>	
Coliformes Totales	NMP/100mL		Nitritos	mg/L-NO <sub>2</sub>	
Color	UPC		Nitrógeno Amoniacal	mg/L	
Coefficiente Absorción	436 nm (m <sup>-1</sup> )		Nitrógeno Total	mg/L-NKT	
Coefficiente Absorción	525 nm (m <sup>-1</sup> )		Plata	mg/L-Ag	
Coefficiente Absorción	620 nm (m <sup>-1</sup> )		Plomo	mg/L-Pb	
Cromo Total	mg/L-Cr		Selenio	mg/L-Se	
Compuestos SV .Fenoli.	mg/L		SAAM	mg/L	
Conductividad	μS/cm		Sólidos Suspendidos T	mg/L	
DBO <sub>5</sub>	mg/L-O <sub>2</sub>	1.980	Sulfatos	mg/L- SO <sub>4</sub>	
DQO	mg/L-O <sub>2</sub>	4.810	Sulfuros	mg/L-S-	
Dureza Cálctica	mg/L CaCO <sub>3</sub>		Titanio	mg/L	
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>		Vanadio	mg/L-V	
Estaño	mg/L-Sn		Zinc	mg/L-Zn	

Fecha de Análisis Conoser Ltda.: 9 de Octubre 2017 a 16 de Octubre de 2017

**Observaciones:**

Jefe de Laboratorio:



Fecha: Octubre 20 de 2017

Q. Andrea Arce G. Matrícula PQ-4686 Consejo Profesional de Química

PBX: 2312699. Dir. Carrera 27B No. 70 - 10, Bogotá

Resultados validos únicamente con firma (JL) y sello seco.





## RESULTADOS DE LABORATORIO

<b>Muestra No.:</b>	52290	<b>Fecha de Recepción:</b>	Octubre 9 de 2017
<b>Procedencia:</b>	Fábrica de Cholates Triunfo S.A.	<b>Fecha de Toma:</b>	Octubre 9 de 2017
<b>Dirección:</b>	Carrera 68B No. 10 - 10	<b>Sitio de Toma</b>	Clarificador con Tratamiento de Floculación y Coagulación
<b>Tipo de Muestra:</b>	Agua / Muestreo Puntual	<b>Tomada por:</b>	Puesta en Laboratorio

PARAMETRO	CONC.	PARAMETRO	CONC
Aceites y Grasas	mg/L	Fenoles	mg/L
Acidez Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Formaldehido	mg/L
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Fosforo	mg/L-P
Aluminio	mg/L-Al	o-Fosfatos	mg/L-PO <sub>4</sub>
Arsénico	mg/L-As	Hidrocarburos	mg/L-Hc
Bario	mg/L-Ba	Hidrocarburos Aroma.	mg/L- HAP
Cadmio	mg/L-Cd	Hierro	mg/L-Fe
Cianuros	mg/L CN	Mercurio	mg/L-Hg
Cloruros	mg/L Cl <sup>-</sup>	Molibdeno	mg/L-Mo
Cobre	mg/L Cu	Níquel	mg/L-Ni
Coliformes Fecales	NMP/100mL	Nitratos	mg/L-NO <sub>3</sub>
Coliformes Totales	NMP/100mL	Nitritos	mg/L-NO <sub>2</sub>
Color	UPC	Nitrógeno Amoniacal	mg/L
Coefficiente Absorción	436 nm (m <sup>-1</sup> )	Nitrógeno Total	mg/L-NKT
Coefficiente Absorción	525 nm (m <sup>-1</sup> )	Plata	mg/L-Ag
Coefficiente Absorción	620 nm (m <sup>-1</sup> )	Plomo	mg/L-Pb
Cromo Total	mg/L-Cr	Selenio	mg/L-Se
Compuestos SV .Fenoli.	mg/L	SAAM	mg/L
Conductividad	μS/cm	Sólidos Suspendidos T	mg/L
DBO <sub>5</sub>	mg/L-O <sub>2</sub>	Sulfatos	mg/L- SO <sub>4</sub>
DQO	mg/L-O <sub>2</sub>	Sulfuros	mg/L-S-
Dureza Cálctica	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Titanio	mg/L
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Vanadio	mg/L-V
Estaño	mg/L-Sn	Zinc	mg/L-Zn

Fecha de Análisis Conoser Ltda.: 9 de Octubre 2017 a 16 de Octubre de 2017

**Observaciones:**

Jefe de Laboratorio:

Fecha: Octubre 20 de 2017

Q. Andrea Arce G. Matrícula PQ-4686 Consejo Profesional de Química

PBX: 2312699. Dir. Carrera 27B No. 70 - 10, Bogotá

Resultados validos únicamente con firma (JL) y sello seco.

## ANEXOS B

### FICHAS TÉCNICAS DE LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS



QUIMICA INTEGRADA S.A.  
NIT. 800.078.640-1  
PLANTA: km. 34 Vía Neiva - Bogotá • Aipe, Huila  
CORRESPONDENCIA: Calle 8 No. 10 - 69 Neiva, Huila.  
TELEFAX: 8389038, 8389327, 8389935, 8389224, 8389914  
www.quinsa.com.co | e-mail: quinsa01@hotmail.com

#### HIDROXICLORURO DE ALUMINIO (HIDROX-CLAL-QUIN)

Es un polinuclear de aluminio líquido (Hidroxiclорuro de Aluminio) que se desempeña efectivamente como coagulante inorgánico para aguas tanto potables como residuales.

#### VENTAJAS:

- Económico, efectivo a dosis muy bajas.
- Trabaja en rango amplio de pH.
- No altera el pH del sistema.
- Velocidad de alta sedimentación.
- Bajo volumen de lodos.
- Mayor carrera de filtros.
- Fácil de dosificar y manejar.
- No requiere el uso de alcalinizantes.

**FORMULA:**  $Al_n(OH)_m Cl_{(3n-m)}$   $0 < m < 3n$

#### ESPECIFICACIONES:

Contenido  $Al_2O_3$  (%): 18.0 - 24.0

Basicidad (%):  $\geq 70$

Acidez (%): 11.0 – 12.5

Turbiedad (NTU): 50 máximo

Densidad: 1.30 – 1.40 g/ml

Fecha de vencimiento: 12 meses

**PRESENTACIÓN:** El Hidroxiclорuro de Aluminio se despacha en isotanques, tambores plásticos, garrafas y a granel.

**USO DEL PRODUCTO:** empleado como coagulante-floculante en clarificación para condiciones de alta turbiedad sin disminuir el pH. En la industria del papel para el proceso de encolado, piscinas, en la industria petrolera y tratamiento de aguas residuales industriales.

**CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO:** Se debe almacenar en tanques cerrados de fibra de vidrio, polietileno, polipropileno, en garrafas, tambores y contenedores plásticos.

**PRECAUCIONES PARA EL USO Y SEGURIDAD:** Es astringente, se requiere de gafas protectoras, guantes de Neopreno o plásticos. No es un producto tóxico, pero puede producir leve resequead e irritación en la piel y ojos por tratarse de un producto de carácter ácido.

# Hoja de Seguridad POLICLORURO DE ALUMINIO

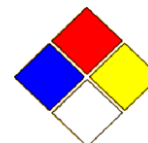
Preparado por Química Integrada S.A. según Norma Técnica Colombiana NTC 4435 de 1998-07-22



IDENTIFICACION U.N : 3264

**UN 3264**

IDENTIFICACION NFPA



<b>Salud</b>	Azul	1
<b>Inflamabilidad</b>	Rojo	0
<b>Reactividad</b>	Amarillo	0
<b>Riesgo especial</b>	Blanco	

### 1. Identificación del producto y de la empresa

Producto	:	POLICLORURO DE ALUMINIO
Sinónimos	:	PAC, Hidroxicloruro de Aluminio, Cloruro de Polialuminio
Fabricante/distribuido	:	Química Integrada S.A. QUINSA
r Dirección	:	KM. 34 Vía Neiva
Código postal y ciudad	:	Bogotá Neiva - Huila
País	:	Colombia
Número de	:	098-
teléfono Telefax	:	8389038
E-mail	:	098-8389224 / 8389327
CISTEMA	:	quinsa01@hotmail.com m 01 – 8000 – 941414

### 2. Composición/información de los componentes

El producto es un polímero inorgánico

Contenido de Alúmina	:	22.0%
Contenido de Acidez	:	11.5%

### 3. Identificación de peligros

En los ojos causa irritación.  
No es tóxico, puede causar irritación al contacto con la piel por tratarse de una sal ácida. Corrosivo.  
Si se ingiere puede ser fatal.



QUIMICA INTEGRADA S.A.  
NIT. 800.078.640-1

PLANTA: km. 34 Vía Neiva - Bogotá • Aipe, Huila  
CORRESPONDENCIA: Calle 8 No. 10 - 69 Neiva, Huila.  
TELEFAX: 8389038, 8389327, 8389935, 8389224, 8389914  
www.quinsa.com.co | e-mail: quinsa01@hotmail.com

## SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO A

Producto obtenido generalmente por la reacción entre el ácido sulfúrico y una fuente rica en aluminio.

**FORMULA:**  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14 - 18 H_2O$ .

### ESPECIFICACIONES:

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> mínimo	17.0%
Hierro como Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,, máx.	0.75%
Materia insoluble, máx.	0.50%
Basicidad mínimo	0.05%

**GRANULOMETRIA:** Pasa 100% malla 4, Máximo 10 % retiene malla 10, Máximo 10 % pasa malla 100.

**PRESENTACIÓN:** Granulado, en bultos de 25 Kg. y 50 Kg.

**USOS DEL PRODUCTO:** Este producto es utilizado para el tratamiento de aguas potables, piscinas, en la fabricación de detergentes, en la industria petrolera y tratamiento de aguas residuales industriales.

**ALMACENAMIENTO:** Por ser un producto higroscópico es empacado en sacos de polipropileno con laminado interno. Debe ser almacenado en bodegas cerradas sobre estibas plásticas o de madera.

**PRECAUCIONES PARA EL USO Y SEGURIDAD:** Para su manipulación se requiere de equipo de protección: Máscaras para polvos, gafas protectoras y buena ventilación. No es un producto tóxico, pero puede producir leve irritación nasal, por tratarse de una sal ácida.



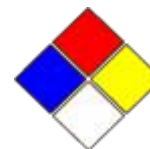
# Hoja de Seguridad

## SULFATO DE ALUMINIO TIPO A SÓLIDO

Preparado por Química Integrada S.A. según Norma Técnica Colombiana NTC 4435 de 1998-07-22

IDENTIFICACION NFPA

No. NTC – 1692: 8  
Corrosivo



No. ONU : UN 3260

**UN 3260**

<b>Salud</b>	Azul	<b>1</b>
<b>Inflamabilidad</b>	Rojo	
<b>Reactividad</b>	Amarillo	
	Blanco	

0

0

<b>Riesgo especial</b>	Blanco	
------------------------	--------	--

### 1. Identificación del producto y de la empresa

Producto	:	SULFATO DE ALUMINIO TIPO A SÓLIDO
Fabricante/distribuidor	:	Química Integrada S.A.
Dirección	:	QUINSA KM. 34 Vía Neiva
Código postal y ciudad	:	Bogotá
País	:	Neiva -
Número de teléfono	:	Huila
Telefax	:	Colombi
E-mail	:	a 098-8389038
CISTEMA	:	098-8389224 / 8389327
MA	:	quinsa01@hotmail.com 01 – 8000 – 941414

## 2. Composición/información de los componentes

El producto es una sal inorgánica, compuesta por una mezcla de sulfatos de aluminio y férricos en presencia de diferentes minerales inertes e insolubles en agua.

Contenido de Aluminio : 9.0%

Contenido de Hierro : 0.40%

Contenido de Sulfatos : 47.1%

## 3. Identificación de peligros

En los ojos causa irritación.

El material fino puede ser inhalado y producir irritaciones en mucosas. No es un producto combustible, pero emite vapores al ser incinerado.

## 4. Primeros auxilios

<b>Instrucciones generales</b>	
Facilitar siempre al médico la hoja de datos de seguridad.	
<b>En caso de inhalación</b>	
Si se sienten molestias, acudir al médico.	
<b>En caso de contacto con la piel</b>	
Lavar la zona afectada inmediatamente con agua y jabón. Si persisten los síntomas de irritación, acudir al médico.	
<b>En caso de contacto con los ojos</b>	
Lavar los ojos afectados inmediatamente con agua abundante durante 15 minutos. Tratamiento médico necesario.	
<b>En caso de ingestión</b>	
No provocar el vómito. Requerir inmediatamente ayuda médica. Beber abundante agua	
<b>5. Medidas de lucha contra incendios</b>	
El producto no arde por sí mismo.	
Los restos del incendio así como el agua de extinción contaminada, deben eliminarse según las normas locales en vigor.	
Evite inhalar vapores desprendidos.	
<b>6. Medidas a tomar en caso de vertido accidental</b>	
El material en estado sólido es inofensivo. Se debe rociar cal sobre los residuos que queden después de recoger el material derramado, para evitar acidificación del suelo cuando haya corrientes de agua.	
<b>7. Manipulación y almacenamiento</b>	
Almacenar sobre estibas, en un lugar protegido de la humedad.	
Evitar vertimientos a los cursos de agua.	
<b>8. Control de exposición y medidas de protección personal</b>	
Emplear gafas protectoras y mascarillas para evitar inhalar el material fino	
<b>9. Propiedades físicas y químicas</b>	
Formula Química	: $Al_2(SO_4)_3 - 14.3 H_2O$
Aspecto	: Granular o Polvo
Color	: Blanco
Olor	: Ninguno
Punto de fusión	: ND
Temperatura de ignición	: ND

El material no es corrosivo cuando está seco; es moderadamente corrosivo cuando se disuelve en agua.

#### **10. Estabilidad y reactividad**

El producto es estable en condiciones normales de almacenamiento. Reacciona con agentes quelantes.

Libera gases tóxicos en caso de incendio.



## FICHA TÉCNICA POLÍMERO CATIÓNICO

### 1. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

El ARIFLOC C605, es un producto en polvo de color blanco, el cual mejora el proceso de separación y remoción de contaminantes del agua para consumo humano y aguas residuales provenientes de la actividad industrial.

### 2. USOS

Como floculante para procesos de remoción de contaminantes y clarificación del agua. En tratamiento de agua potable, se emplea en condiciones de agua que presentan una alta turbidez como ayudante de flocuación y en aguas que presentan muy baja turbidez, para mejorar la cohesión de lodos. En tratamiento de efluentes, se aplica para reducir los sólidos en suspensión y la carga orgánica, etc. Se utiliza también como agente astringente en el proceso de concentración de lodos.

### 3. VENTAJAS

- Se diluye con facilidad. Es 100% soluble en agua.
- Dosis de aplicación muy baja. Disminuye el tiempo de sedimentación. No modifica el pH del agua.
- No mancha, ni colorea el agua.
- Se puede almacenar por largos períodos de tiempo. El cloro no afecta el rendimiento de este producto.

### 4. MODO DE EMPLEO

Aplicar el ARIFLOC C605 se debe aplicar diluyendo el producto entre 0.01 a 0.1% mediante bombas dosificadoras de diafragma o bombas periféricas de flujo controlado. La zona de aplicación debe presentar fuerte agitación o zonas de alto resalto hidráulico para una buena mezcla y distribución en la masa del agua a tratar. Si el producto se aplica por gravedad, se debe controlar el flujo de aplicación, midiendo aforos y ajustando la alimentación del producto. En el tratamiento de agua para consumo humano, se aplica el ARIFLOC C605, en la zona de ingreso del agua antes del salto hidráulico e inmediatamente después del coagulante principal. La dosis de aplicación dependerá de la cantidad de sólidos en suspensión.

## 5. CONSUMO

Los consumos referenciales del ARIFLOC C605, es aproximadamente de 0.10 a 0.50 gr./m<sup>3</sup> de agua que presente un bajo contenido de sólidos en suspensión y de 0.50 a 1.00 gr./m<sup>3</sup> de agua que presente una alta cantidad de sólidos en suspensión o carga orgánica. No obstante, se recomienda realizar siempre pruebas de Jar test antes de su aplicación en planta para cada tipo de agua.

---

## 6. DATOS TÉCNICOS

Aspecto y color	Polvo blanco
Viscosidad mPa.s (0.1%)	400 ± 40
Monómeros libres (%)	1.0 Máximo

## 7. PRESENTACION Y DESPACHO

Bolsas de Polietileno de 25 Kg. herméticamente cerradas que garantizan la concentración y calidad del producto.

### ARIS INDUSTRIAL S.A.

Av. Industrial 491 – Lima. Teléfono: (511) 336-5428 Fax: (511) 336-7473  
[www.aris.com.pe](http://www.aris.com.pe)



## HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

### COLORURO FÉRRICO HEXAHIDRATADO

#### Identificación de la sustancia/preparado y de la sociedad o empresa

##### 1.1 Identificación de la sustancia o del preparado

Denominación:

Hierro(III) Cloruro 6-hidrato

**Sinónimo:**

##### 1.2 Uso de la sustancia o preparado:

Usos: para usos de laboratorio, análisis, investigación y química fina.

##### 1.3 Identificación de la sociedad o empresa:

CONTROL TÉCNICO Y REPRESENTACIONES, S.A. DE C.V.

Av. Lincoln No. 3410 Pte. Col. Mitras Norte www.ctr.com.mx

Tels. (81) 8158 0600, 8158 0628, 8158 0633

e-mail : ctrscientific@infosel.net.mx

Apdo. Postal 044-C Monterrey N.L. C.P. 64320, México

#### 2. Identificación de los peligros

##### Pictogramas de peligrosidad



##### Palabra de advertencia

Atención

**Indicaciones**

**de**

**peligro**

Nocivo en caso de ingestión. Provoca irritación ocular grave. Provoca irritación cutánea

##### Consejos de prudencia

Lavarse concienzudamente tras la manipulación. No comer, beber ni fumar durante su utilización. Llevar guantes/prendas/gafas/máscara de protección. EN CASO DE INGESTIÓN: Llamar a un CENTRO DE INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA o a un médico si se encuentra mal.

EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL: Lavar con agua y jabón abundantes.

#### 3. Composición/Información de los componentes

Denominación: Hierro(III) Cloruro 6-hidrato

Fórmula:  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  M.= 270,30

#### **4. Primeros auxilios**

##### **4.1 Indicaciones generales:**

En caso de pérdida del conocimiento nunca dar a beber ni provocar el vómito.

##### **4.2 Inhalación:**

Trasladar a la persona al aire libre.

##### **4.3 Contacto con la piel:**

Lavar abundantemente con agua. Quitarse las ropas contaminadas.

##### **4.4 Ojos:**

Lavar con agua abundante manteniendo los párpados abiertos. En caso de irritación, pedir atención médica.

##### **4.5 Ingestión:**

Beber agua abundante. Provocar el vómito. Pedir atención médica.

#### **5. Medidas de lucha contra incendio**

##### **5.1 Medios de extinción adecuados:**

Los apropiados al entorno. Utilizar agua pulverizada para arrastrar los vapores desprendidos.

##### **5.2 Medios de extinción que NO deben utilizarse:**

No se conocen

##### **5.3 Riesgos especiales:**

Incombustible. En caso de incendio pueden formarse vapores tóxicos de Cl<sub>2</sub>, HCl.

##### **5.4 Equipos de protección:**

Ropa y calzado adecuados.

#### **6. Medidas a tomar en caso de vertido accidental**

##### **6.1 Precauciones individuales:**

No inhalar el polvo.

##### **6.2 Precauciones para la protección del medio ambiente:**

No permitir el paso al sistema de desagües. Evitar la contaminación del suelo, aguas y desagües.

##### **6.3 Métodos de recogida/limpieza:**

Recoger en seco y depositar en contenedores de residuos para su posterior eliminación de acuerdo con las normativas vigentes. Limpiar los restos con agua abundante.

#### **7. Manipulación y almacenamiento**

##### **7.1 Manipulación:**

Sin indicaciones particulares.

##### **7.2 Almacenamiento:**

Recipientes bien cerrados. Ambiente seco. Protegido de la luz. En local bien ventilado. Temperatura ambiente.



## 8. Controles de exposición/protección personal

### 8.1 Medidas técnicas de protección:

Sin indicaciones particulares.

### 8.2 Control límite de exposición:

Datos no disponibles.

### 8.3 Protección respiratoria:

En caso de formarse polvo, usar equipo respiratorio adecuado.

### 8.4 Protección de las manos:

Usar guantes apropiados

### 8.5 Protección de los ojos:

Usar gafas apropiadas.

### 8.6 Medidas de higiene particulares:

Quitarse las ropas contaminadas. Usar ropa de trabajo adecuada. Lavarse las manos antes de las pausas y al finalizar el trabajo.

### 8.7 Controles de la exposición del medio ambiente:

Cumplir con la legislación local vigente sobre protección del medio ambiente.

## 9. Propiedades físicas y químicas

Aspecto: Sólido Color: N/A Granulometría N/A Olor: Característico. pH: 1,8 (sol. 10 g/l)

Punto de fusión/punto de congelación 37 °C

Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición: N/A

Punto de inflamación: N/A

Inflamabilidad (sólido, gas): N/A

Límite superior/inferior de inflamabilidad o de explosividad: N/A

Presión de vapor: N/A

Densidad de vapor: N/A

Densidad relativa: N/A

Solubilidad: 920 g/l en agua 20 °C

Coefficiente de reparto n-octanol/agua: N/A Temperatura

de auto-inflamación: N/A Temperatura de

descomposición: N/A

Viscosidad: N/A

## 10. Estabilidad y reactividad

### 10.1 Condiciones que deben evitarse:

El producto es químicamente estable bajo condiciones normales (Temperatura ambiente).

### 10.2 Materias que deben evitarse:

Metales alcalinos. Oxidos de etileno.

### 10.3 Productos de descomposición peligrosos:

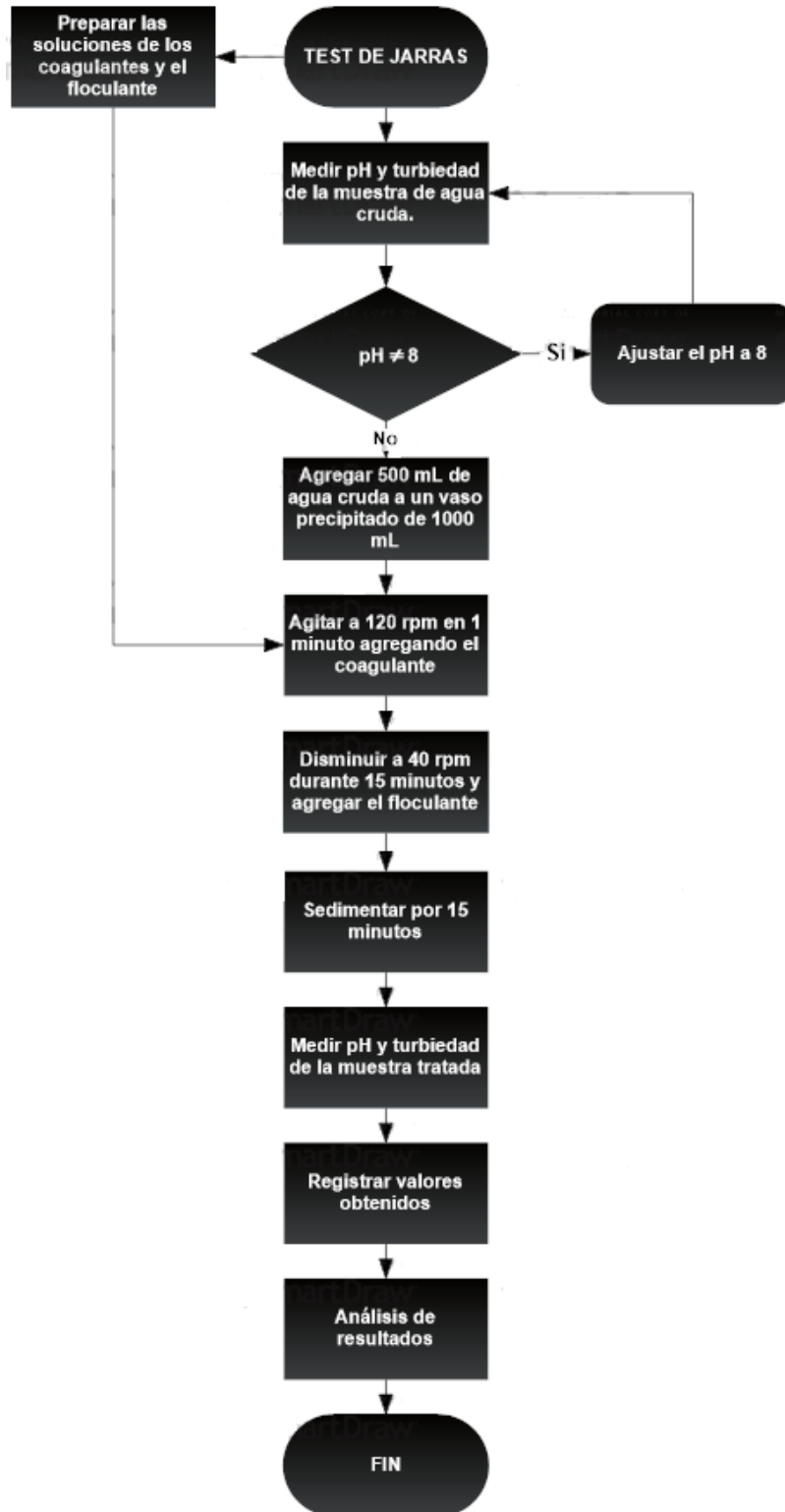
Cloro. Cloruro de hidrógeno.

### 10.4 Información complementaria:



No se conocen

## ANEXO C

### DIAGRAMA DE FLUJO DEL TEST DE JARRAS



**ANEXO D**  
**ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS**

 			<p><b>Sumergibles Aguas Residuales.</b></p> <p><b>Serie NSE.</b></p> <p>Acero inoxidable.</p> <p><b>NSE 1 5-1-2-110 HF</b></p>		
Características de la bomba					
Tipo de bomba	Acoplamiento	Impulsor	Temperatura máx. líquido		
Centrífuga	Monobloque	Abierto	35°C (95°F) Continua		
Etapas	Conexión eléctrica	Ø máximo de suspensión	de sólidos en		
1	Conjunto de cable de 10 m	5 mm			
Modelo	Ref.	Ø Descarga	Peso (kg)	H máx (mca) *	Q máx. (gpm) **
NSE 1 5-1-2-110 HF	E074 1	1" NPT	21,0	7	23

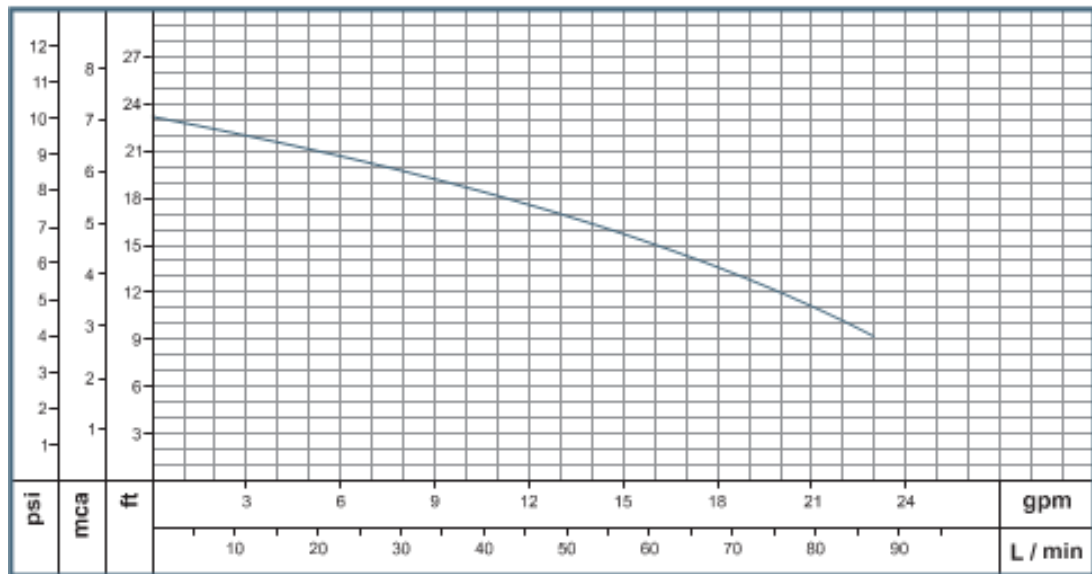
\*La altura (H) máxima se logra con la válvula totalmente cerrada. (mca= metros columna de agua).

\*\* El caudal (Q) máximo se logra con la válvula totalmente abierta. (gpm= galones por minuto).

Características del motor		
Alimentación	Velocidad (rpm)	
Eléctrica	3.600 (nominal)	
Cerramiento	Frecuencia (Hz)	
ODP	60	
Potencia (hp)	Fases	Voltaje

(V)		
0,5	1	110

Curva de Rendimiento



## ESPECIFICACIÓN DEL SENSOR DE NIVEL

Sensor Horizontal de Nivel de Agua – Flotador Interruptor

Marca: Electroniclab.

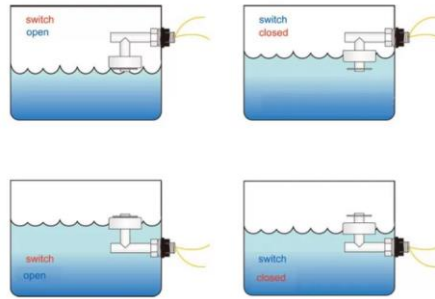
SKU: SNF0004

Características del producto

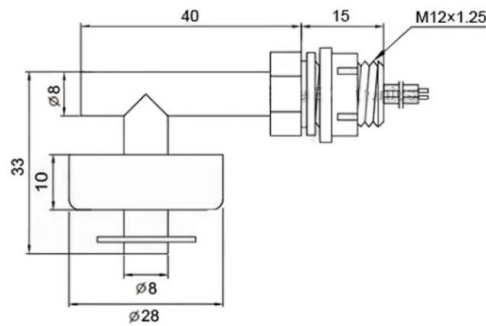
- Nuevo y de alta calidad.
- Se puede utilizar para detectar el nivel de líquido en un tanque
- Puede activar una bomba, un indicador, una alarma u otro dispositivo
- Puede utilizarlo en aplicaciones con hidroponía, tanques de agua salada, tanques de agua dulce, jardinería, control de potencia para acuarios, tazones de las mascotas, peceras, filtración, calefacción, o cualquier proyecto.
- Capacidad de los contactos: 70W
- Tensión de conmutación: DC110V
- Corriente de conmutación: 0.5A
- Resistencia de aislamiento: > 10 MΩ
- Temperatura de funcionamiento: -10 ~ 85 °C




## Diagrama de Uso



## Dimensiones

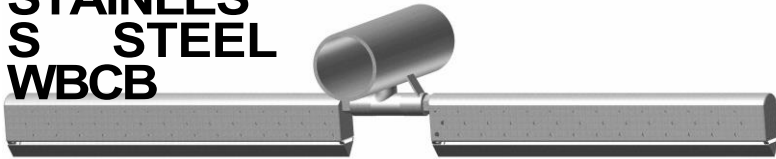


## ESPECIFICACIONES DEL CONTROLADOR DE pH

Código	P103725
Referencia	CONTPH
Características	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Dimensiones del producto: 20.7 x 10.7 x 19.6 cm</li> <li>* Peso del producto: 862 g</li> <li>* Rango de control: 0.1 - 13.9 pH</li> <li>* Tasa de Dosis: 10 ml por minuto</li> <li>* Resolución: 0,1 pH</li> <li>* Precisión a 25 ° C / 77 ° F: ± 0,1 pH</li> <li>* Compensación automática de temperatura: Sí, si la sonda de temperatura está en misma solución que la sonda de pH</li> <li>* Temperatura de funcionamiento: 0 - 50 C / 32 - 122 ° F</li> <li>* Calibración: Dos o tres puntos, pH 7,0 y pH 4,0 y calibración / o pH 10.0</li> <li>* Fuente de alimentación: Fuente de alimentación internacional</li> <li>* Certificaciones: CE, FCC</li> <li>* Pantalla de visualización Idiomas: Inglés; Deutsch; Español; français; Nederlands</li> </ul>
Marca	bluelab
Bajar Manual	 <a href="#">controlador-de-ph-con-bomba-dosificadora-automatica-contph-bluelab-manual-nojes</a>

# SSI™ COARSE BUBBLE DIFFUSERS

## STAINLESS STEEL WBCB



Our Stainless Steel WBCB diffusers are available in 304L or 316L stainless steel. The diffuser is made with cast endcaps welded all around. A typical piping system utilizing SSI WBCB diffusers is made from Stainless Steel pipe with 3/4" FNPT gusseted tees or elbows welded to the bottom center line. Deflectors are supplied with each diffuser but can be removed. The coarse bubble diffuser is intended to be a clog-free design, with oxygen transfer rates of 0.5 to 0.8% per foot of submergence (1.7 to 2.5% SOTE/m).

They have a reliable alpha value and are designed to economically cover the tank floor. This diffuser is most often applied for mixing in aerobic digesters, channels, equalization tanks and grit chambers.



## THE SSI™ RELIA-BILL™ COARSE BUBBLE DIFFUSER

This excellent diffuser from SSI is a non-

## CAP AFC75

Caps are most commonly used in

aerobic digesters and equalization tanks where high rate oxygen transfer efficiency is not required. They are manufactured from black Acrylic plastic containing UV protection and membranes are made from the same EPDM compound that SSI uses in fine bubble disc diffusers. Caps have a

3/4" MNPT thread. SSI's Cap diffuser is a non-clog design and operates well under intermittent and continuous conditions. A typical



n Design Flow

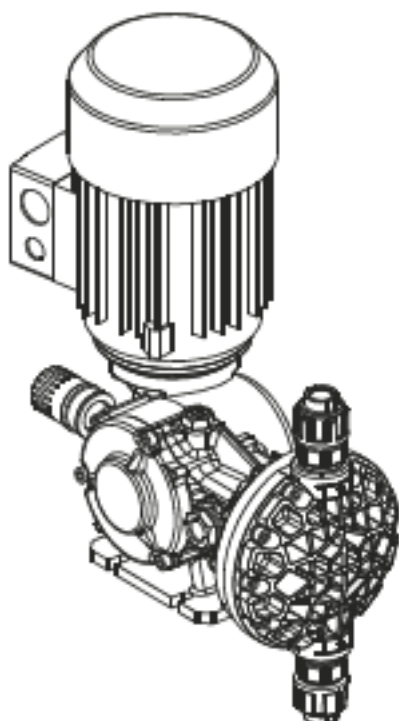
3-6 SCFM (7-10 Sm<sup>3</sup>/hr)

## ESPECIFICACIONES DE LAS BOMBAS DOSIFICADORAS



### DOSING PUMP

#### MS1 SERIES- Mechanical diaphragm pump



#### Technical characteristics

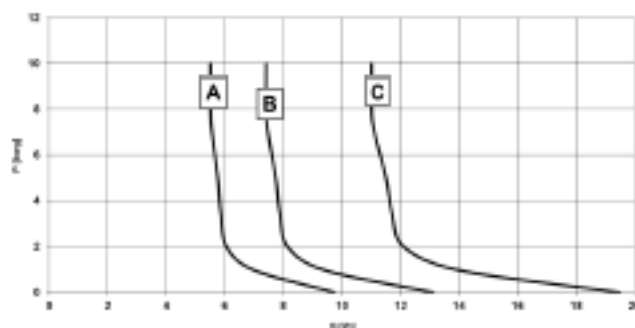
- Flow rates: from 5.5 to 500 l/h
- Max Pressure: up to 10 bar (145 psi)
- Motor:
  - 0.18 kW - 3 ph (IP55)
  - 0.25 kW - 3 ph or 1 ph (IP55)
  - 0.37 kW - 3 ph or 1 ph (IP55)
  - 0.55 kW - 1 ph (IP55)
- Stroke rate: 58 – 78 – 116 strokes/minute
- Stroke length: 2 – 4 – 6 mm
- Diaphragm diameter: from 64 to 165 mm
- Pump head:
  - SS 316 L
  - PP
  - PVC
  - PVDF
- Max. dosing temperature:
  - SS 316 L 40° C
  - PP 40° C
  - PVC 40° C
  - PVDF 40° C
- Range of ambient temperature of use:
  - 5 + 40° C

Seko mechanical diaphragm metering pump MS1 Series has a wide range product. MS1 Series performances covers from 5.5 to 500 l/h with a back pressure up to 10 bar, having several configurations available for the pump head and power, in order to have the characteristics most suitable for processes where required.

MS1 pump have a spring return mechanism into an aluminum housing

Each model has 3 values of stroke rate, which can be set manually or automatically using a linear actuator which accepts a signal 4 – 20 mA. Moreover they can be supplied with a 3 phases or 1 phase electric motor with protection class IP55.

Curve Q-p MS1



## PUMP KEY CODE

1 <sup>st</sup>	Model								
M	Diaphragm								
2 <sup>nd</sup> / 3 <sup>rd</sup>	Mechanism Type								
51	Membrane								
4 <sup>th</sup>	Stroke Length [mm]								
A	2								
B	4								
C	6								
5 <sup>th</sup> / 6 <sup>th</sup> / 7 <sup>th</sup>	Diaphragm Diameter [mm]								
064	64								
094	94								
108	108								
138	138								
165	165								
8 <sup>th</sup>	Stroke Rate [stroke/min]								
A	58								
B	78								
C	116								
9 <sup>th</sup> / 10 <sup>th</sup>	Pump Head Material								
	Pump Head	Diaphragm	Valves	Seat Valves	Equipment				
21	SS 316	PTFE	SS 316	SS 316	Standard				
31	PVC	PTFE	Ceramic	PVC					
51	PP	PTFE	Ceramic	PVC					
41	PVDF	PTFE	Ceramic	PVDF	Special				
42	PP	PTFE	Ceramic	PVDF					
52	PP	PTFE	SS 316	SS 316					
11 <sup>th</sup> / 12 <sup>th</sup>	Electric Motor Type [kW]								
A4	0,18 (4 poles - 230 Vac - 50 Hz - 3 ph)								
B4	0,25 (4 poles - 230 Vac - 50 Hz - 3 ph)								
C4	0,37 (4 poles - 230 Vac - 50 Hz - 3 ph)								
H4	0,25 (230 Vac - 50 Hz - 1 ph)				For the same performances. Use one size bigger than 3ph				
I4	0,37 (230 Vac - 50 Hz - 1 ph)								
L4	0,55 (230 Vac - 50 Hz - 1 ph)								
13 <sup>th</sup>	Stroke Regulation								
0	Manual								
L	Automatic linear SEKO								
14 <sup>th</sup>	Customization								
0	Standard								
15 <sup>th</sup>	Optional								
0	Standard								
M	S1	B	094	A	51	C4	0	0	0



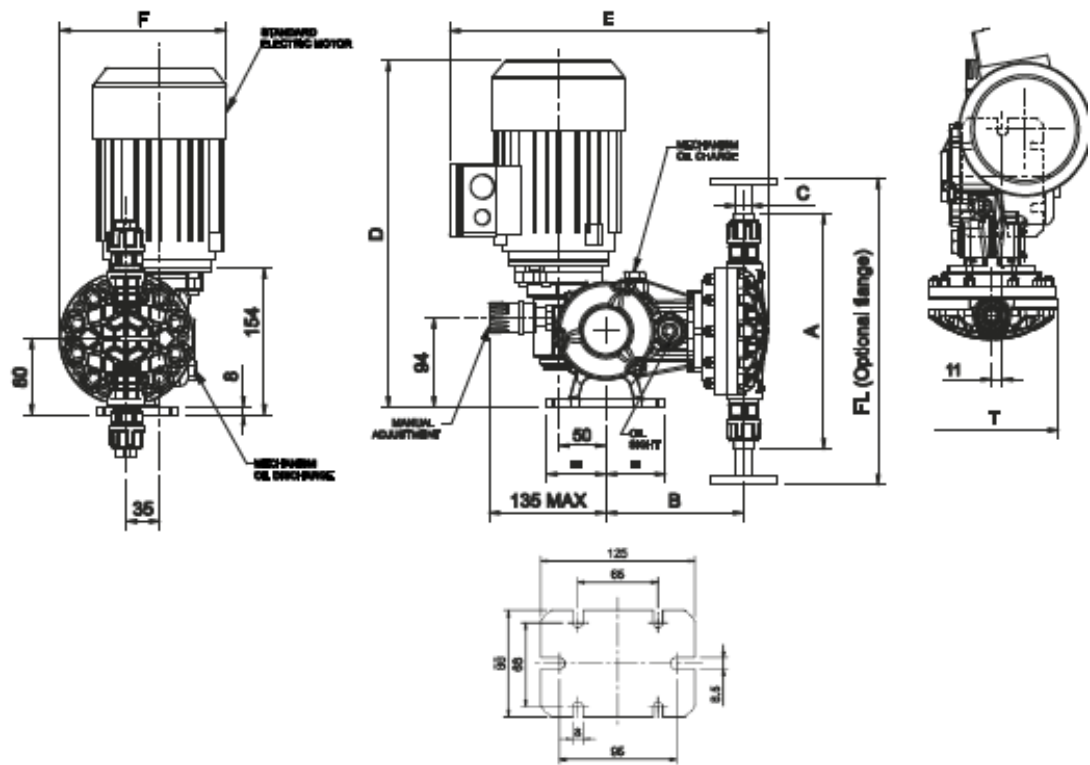
## HYDRAULIC CHARACTERISTICS

Pump Model	Diaphragm Diameter [mm]	Stroke/min	Flow rate		Max back pressure				Suction/Discharge Connection		Electric Motor 50 Hz 3 phases [kW]
			l/h	g/l/h	bar		p.s.i.		SS 316	PP	
					SS 316	PP	SS 316	PP			
M S 1 A 0 6 4 A	64	58	5.5	1.45	10	10*	145	145	1/4" G F	1/4" G F	0,18 (A4)
M S 1 A 0 6 4 B		78	8	2.12							
M S 1 A 0 6 4 C		116	11	2.91							
M S 1 A 0 9 4 A	94	58	20	5.59	10	10*	145	145	3/8" G F	1/4" G F	0,25 (B4)
M S 1 A 0 9 4 B		78	26	6.88				145			
M S 1 A 0 9 4 C		116	40	10.58				145			
M S 1 B 1 0 8 A	108	58	60	15.87	10	10	145	145	3/8" G F	3/8" G F	0,37 (C4)
M S 1 B 1 0 8 B		78	80	21.16				145			
M S 1 B 1 0 8 C		116	120	31.75				145			
M S 1 C 1 3 8 A	138	58	155	41	7	7	101	101	3/4" G F	3/4" G F	0,37 (C4)
M S 1 C 1 3 8 B		78	220	58.2				3/4" G F	3/4" G F		
M S 1 C 1 3 8 C		116	310	82				1" G F	1" G F		
M S 1 C 1 6 5 A	165	58	230	60.85	5	5	72.5	72.5	1" G F	1" G F	0,37 (C4)
M S 1 C 1 6 5 B		78	330	87.30				72.5			
M S 1 C 1 6 5 C		116	500	132.3				43.5			

\* Available with special reinforced pump head for use with pressure up to 16 bar - 14" Field (Optional) in the Key Code identified by "H"

## PUMP HEAD MATERIAL

Material	Standard			Special	
	21	31	51	41	52
Pump Head	SS 316	PVC	PP	PVDF	PP
Diaphragm	PTFE	PTFE	PTFE	PTFE	PTFE
Valves	SS 316	Ceramic	Ceramic	Ceramic	SS 316
Seat Valves	SS 316	PTFE	PTFE	PVDF	SS 316

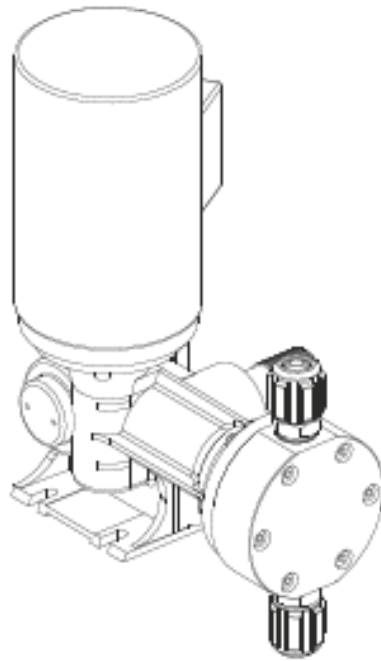


Material Pump Head	Pump Model	DIMENSIONS [mm]					3 PHASE					1 PHASE				
		A	FL	B	C	T	P kW	Size	D mm	E mm	F mm	P kW	Size	D mm	E mm	F mm
AISI 316 (21)	MS1A*064	192	292	144	1/4" G F	98	0.18	63 B14	333	321	146	0.37	71B14	371	343	155
	MS1A*094	172	272	146	3/8" G F	118	0.25	71 B14	371	335	165	0.37	71B14	371	346	165
	MS1A*108	213	313	148	3/8" G F	138	0.37	71 B14	371	337	175	0.55	80B14	396	379	184
	MS1A*138	261	361	158	3/4" G F - 1" G F	168	0.37	71 B14	371	352	190	0.75	80B14	396	394	199
	MS1A*165	297	397	165	1" G F	188	0.37	71 B14	371	372	200	0.75	80B14	396	414	209
PP (42-51-52) PVC (31) PVDF (41)	MS1A*064	239	439	149	3/8" G F	98	0.18	63 B14	333	326	146	0.37	71B14	371	348	155
	MS1A*094	242	442	144	3/8" G F	124	0.25	71 B14	371	340	168	0.37	71B14	371	351	168
	MS1A*108	250	450	147	3/4" G F - 1" G F	142	0.37	71 B14	371	343	177	0.55	80B14	396	385	186
	MS1A*138	347	547	159	1" G F	166	0.37	71 B14	371	364	189	0.75	80B14	396	406	198
	MS1A*165	375	575	172	1" G F	195	0.37	71B14	371	374	214	0.75	80B14	396	416	223

\* With the stroke length identified with letter A, B, C, the dimensions still remain the same



## Mechanical Diaphragm Metering Pump MS0 SERIES



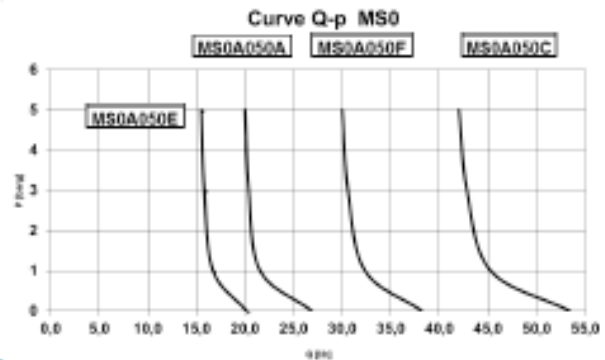
### Technical characteristics

- Flow rates: from 15 to 60 l/h
- Max Pressure: up to 5 bar (72.5 psi)
- Motor:
  - 0.09 kW - 3 ph (IP55)
- Stroke rate: 41 - 58 - 82 - 116 - 164 strokes/min
- Stroke length: 2 mm
- Diaphragm diameter: 50 mm
- Pump head:
  - SS 316 L
  - PP
  - PVC
- Max. dosing temperature:
  - SS 316 L 40° C
  - PVC 40° C
  - PP 40° C
  - PVDF 40° C

Seko mechanical diaphragm metering pump MS0 Series has a wide range product. MS0 Series performances covers from 15 to 60 l/h with a back pressure up to 5 bar, having several configurations available for the pump head and power, in order to have the characteristics most suitable for processes where required. MS0 pumps have a spring return mechanism into an aluminum housing.

MS0 series is available with 5 values of stroke rate, which can be set manually only.

Moreover they are supplied with a 3 phases electric motor with 4 and 2 poles, protection class IP55



Model	Pressure [barg]			
	0	1	3	5
	Flow rate [l/h]			
MS0A050E	20,2	16,7	15,8	15,5
MS0A050A	26,9	21,5	20,4	20
MS0A050F	38,2	32,3	30,5	30
MS0A050C	53,4	45,2	42,8	42

**PUMP KEY CODE**

1'	Model				
M	Diaphragm				
2'/3'	Mechanism Type				
S0	Membrane				
4'	Stroke Length [mm]				
F	5				
5'/6'/7'	Diaphragm Diameter [mm]				
050	50				
8'	Stroke Rate [stroke/min]				
E	41				
A	58				
F	82				
C	116				
G	164				
9'/10'	Pump Head Material				
	Pump Head	Diaphragm	Valves	Seat Valves	Equipment
21	SS 316	PTFE	SS 316	SS 316	Standard
31	PVC	PTFE	Ceramic	PVC	
51	PP	PTFE	Ceramic	PVC	
41	PVDF	PTFE	Ceramic	PVDF	Special
51	PP	PTFE	SS 316	SS 316	
11'/12'	Electric Motor Type [kW]				
F4	0,09 (4 poles - 230 Vac - 50 Hz - 3 ph)				
F2	0,09 (2 poles - 230 Vac - 50 Hz - 3 ph)				
13'	Stroke Regulation				
0	Manual				
14'	Customization				
0	None				
15'	Optional				
0	Standard				

M	S0	A	050	F	21	F4	0	0	0
---	----	---	-----	---	----	----	---	---	---

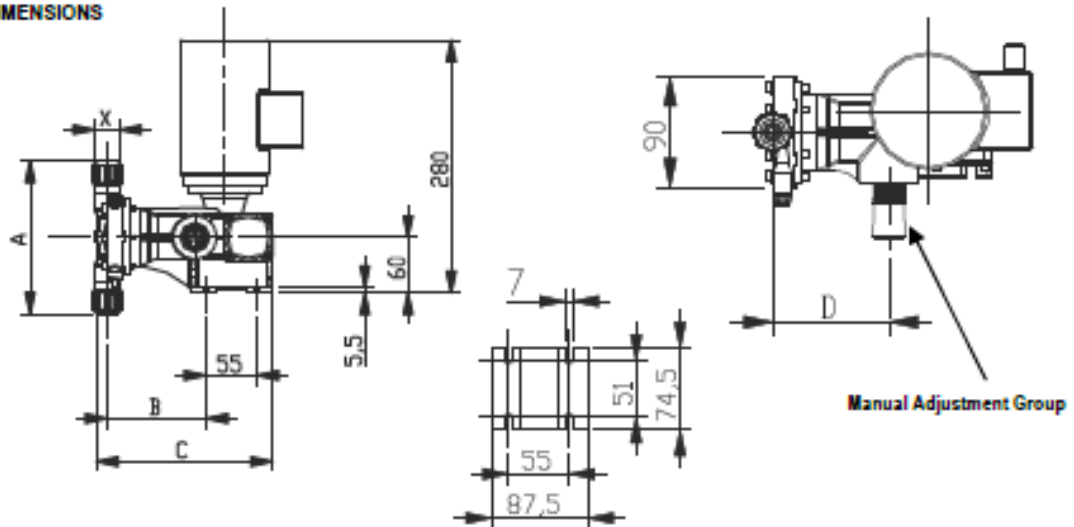
## HYDRAULIC CHARACTERISTICS

Pump Model	Piston Diameter [mm]	Stroke/min	Flow rate		Max back pressure		Suction/Discharge Connection		Electric Motor 50 Hz 3 phases [kW]
			l/h	g/lh	bar	p.s.i.	SS 316	PP/PVC	
M 8 0 A 0 5 0 E	50	41	15	3.97	5	72.5	1/2" G M	3/4" G M (1/2" G M)	0.09 (F4)
M 8 0 A 0 5 0 A		58	20	5.29					
M 8 0 A 0 5 0 F		82	30	7.94					
M 8 0 A 0 5 0 C		116	42	11.11					
M 8 0 A 0 5 0 G		164	60	15.87					

## PUMP HEAD MATERIAL

Material	Standard		
	21	31	51
Pump Head	88 316	PVC	PP
Diaphragm	PTFE	PTFE	PTFE
Valves	88 316	Ceramic	Ceramic
Seat Valves	88 316	PVC	PVC

## DIMENSIONS



Material Pump Head	Pump Model	DIMENSIONS [mm]				Connection (in/out)
		A	B	C	D	
AISI 316 (21)	M80F050...	166	110	196	112	G 1/2"
PVC (31)	M80F050...	166	110	192	95	G 3/4" (G 1/2" with reducer)
PP (51)	M80F050...	166	110	192	95	G 3/4" (G 1/2" with reducer)



## COTIZACIÓN DE LOS DIFUSORES DE AIRE DE BURBUJA GRUESA



**ISAPINHER S.A.S.**  
"Nuestra Utilidad es el Ambiente"

En atención a su amable solicitud presentamos nuestra propuesta económica para los productos y servicios que interés de los que cito los valores a continuación:

N I T	CLIENT E	CONTACT O
0	LAURA MENDOZA	LAURA MENDOZA
<b>TELEFONO</b>	<b>DIRECCIÓN</b>	<b>E-MAIL</b>
31230752 59	0	<a href="mailto:lauracmendoza2401@gmail.com">lauracmendoza2401@gmail.com</a>

ITE M	PRESENTACIÓN	PRODUCT O	CAN T.	PRECIO UNITARIO
1	unidad	Difusores burbuja gruesa con las siguientes características: técnicas:  Marca: Stamford Scientific international, Inc. Modelo AFC 75  Tipo de burbuja Gruesa disco de 3-5/8" de diámetro nominal <p style="text-align: right;">Conexión 3/4"</p> NPT Membrana Ultra resistente de EPDM flexible. Caudal Se recomienda 8 a 11 SCFM por difusor. Caída de Presión De 100 mm columna de agua.	8	\$85.800
				<b>SUBTOTAL</b>
				<b>IVA</b>
				<b>TOTAL</b>

CONDICIONES COMERCIALES
<i>DISPONIBILIDAD: 15 a 20 días hábiles por fabricación del material</i> <i>LUGAR DE ENTREGA: Ipiales</i> <i>FORMA DE PAGO: 50% anticipo y saldo previo al despacho</i>

En caso de ser aceptada esta oferta puede realizar el pago realizando consignación o transferencia a cuenta corriente Bancolombia # 20633793306 a nombre de Isapinher S.A.S.

CLAUDIA JOYA V. DTO COMERCIAL ISAPINHER

## COTIZACIÓN DEL SENSOR DE NIVEL

Sensor Horizontal de Nivel de Agua – Flotador Interruptor

Marca: Electroniclab.

SKU: SNF0004



Cantidad	Precio Unidad	Descuento
1+	\$18,300	-
3+	\$17,934	2%
5+	\$17,751	3%
10+	\$17,568	4%
25+	\$17,385	5%

## COTIZACIÓN CONTROLADOR DE pH

### Cotización

No. 634190

**Imprimir**

**Fecha:** 12/11/2017  
**Empresa:**  
**Aten:** Laura Mendoza Arias  
**Telefono:** 3123075259  
**E-mail:** lauracmendoza2401@gmail.com  
**Vendedor:** **WEB**

Comprar

Verifique el contenido de su cotización, las características de los productos, borre o agregue mas productos y ordene su pedido presionando el botón **Comprar** o [contáctenos](#)

Imagen	Código / Ref	Descripción	Cant.	Precio / Unitario	Precio / Total	Borrar
	<a href="#">P103725</a> CONTPH	Controlador de ph con bomba dosificadora automática, bluelab, Entrega: 10 DIAS	1	2.471.340	2.471.340	<input type="button" value="Borrar"/>

[Catalogo](#)

[Agregar otros productos](#)  
[Agregar mas controladores-de-ph](#)

Precios en Pesos Colombianos	SubTotal : \$ 2.471.340 Des. %: \$ Sub. Con Des.: \$ 2.471.340 IVA : \$ 469.555 Flete: \$ 0 Total : \$ 2.940.895
------------------------------	---



## COTIZACIÓN DE LA TUBERIA DE AERO INOXIDABLE DE CALIBRE 40

### LISTA DE PRECIOS - COLMENA - TUBERÍAS METÁLICAS GALVANIZADAS Y NEGRAS

Descripción	Referencia	Diámetro	Precio x Tubo	Descripción	Referencia	Diámetro	Precio x Tubo
<b>Agua</b>				<b>Gas</b>			
<b>Galvanizada NIC 505-001, tramos de 6mt</b>	50410010	1/2"	35,855	<b>Galvanizada A53 SCH40, tramos de 6mt</b>	50460010	1/2"	50,091
	50410020	3/4"	46,290		50460020	3/4"	66,553
	50410030	1"	72,289		50460030	1"	98,309
	50410040	1 1/4"	93,016		50460040	1 1/4"	132,960
	50410050	1 1/2"	114,071		50460050	1 1/2"	158,879
	50410060	2"	157,114		50460060	2"	313,264
	50410070	2 1/2"	217,344		50460070	2 1/2"	368,769
	50410080	3"	267,323		50460080	3"	574,009
	50410090	4"	388,601		50460090	4"	862,590
<b>Agua Contraincendios</b>				<b>Gas</b>			
<b>Negra ASTM A795 SCH10, tramos de 6mt</b>	50260020	3/4"	33,774	<b>Negra A53 SCH40, tramos de 6mt</b>	50160010	1/2"	32,272
	50260030	1"	55,318		50160020	3/4"	42,944
	50260040	1 1/4"	71,140		50160030	1"	63,527
	50260050	1 1/2"	82,150		50160040	1 1/4"	86,143
	50260060	2"	103,936		50160050	1 1/2"	102,915
	50260070	2 1/2"	139,118		50160060	2"	138,236
	50260080	3"	170,679		50160070	2 1/2"	219,297
	50260090	4"	221,175		50160080	3"	286,890
	50260000	6"	366,014		50160090	4"	408,355
						50160000	6"
				50160001	8"	1,074,374	
				50160002	10"	1,522,392	
				50160002	12"	2,012,516	

Septiembre 04/17 reemplaza Marzo 01/17 - Incluye Iva 19 %  
Pagina 1 de 1

PRINCIPAL COTA (CUND.): Autop. Medellín Km. 2.5, Parque Guadalajara, Bodega 3 - PBX/Fax (1) 875-9100  
BOGOTA NORTE - CALI - CHIA - DUITAMA - SOPO - VILLAVICENCIO  
www.coval.com.co - info@coval.com.co



## COTIZACIÓN DE LAS BOMBAS DOSIFICADORAS



Bombas para agua e industriales tipo piñones, vacío, dosificadoras, acero inoxidable para aplicación química, petrolera, farmacéutica y alimenticia. Equipos de Presión Constante y Contra Incendio, Compresores y Motores

Bogotá D.C. Noviembre 24 de 2017

**COTIZACION HB 7437**

Señores:

**FÁBRICA DE CHOCOLATES TRIUNFO S.A.**

**Atn. Laura Mendoza**

e-mail: [lauracmendoza2401@gmail.com](mailto:lauracmendoza2401@gmail.com)

Ciudad-

En atención a su amable solicitud, presentamos la siguiente cotización:

**ÍTEM No.1**

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

**BOMBA DOSIFICADORA PARA COAGULANTE**

Tipo : Dosificadora  
 Marca : SEKO SPRING SERIE MSI  
 Modelo : MS1C138B51C4  
 Regulación : Electrónica  
 Construcción : Polipropileno-PVC  
 Diafragmas : PTFE (Teflón)  
 Conexiones : 3/4" NPT  
 Caudal máximo : 264 LPH (0.26 m3/hora)  
 Presión máxima : 5.5 Bar (80 PSI)  
 Líquido de bombeo : Productos químicos  
 Acoplamiento : Directo (Monoblock)  
 Motor : Trifásico de 0.37 Kw@220V, 60 Hz.  
 Incluye : Accesorios de conexión (Mangueras, válvula de pie, válvula de cheque, grifo de purga.)

<b>VALOR UNITARIO BOMBA DESCRITA</b>	<b>\$ 3.050.000</b>
<b>MÁS IVA 19%</b>	<b>\$ 579.500</b>
<b>VALOR TOTAL</b>	<b>\$ 3.629.500</b>



**ÍTEM No.2**

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

**BOMBA DOSIFICADORA PARA FLOCULANTE**

Tipo : Dosificadora  
 Marca : SEKO SPRING SERIE MSO  
 Modelo : MSOF050C51F4  
 Regulación : Electrónica  
 Construcción : Polipropileno-PVC  
 Diafragmas : PTFE (Teflón)  
 Conexiones : 3/4" NPT  
 Caudal máximo : 50 LPH (0,05 m3/hora)  
 Presión máxima : 4 Bar (58 PSI)  
 Líquido de bombeo : Productos químicos  
 Acoplamiento : Directo (Monoblock)  
 Motor : Trifásico de 0,09 Kw@220V, 60 Hz.  
 Incluye : Accesorios de conexión (Mangueras, válvula de pie, válvula de cheque, grifo de purga.)

<b>VALOR UNITARIO BOMBA DESCRITA</b>	<b>\$ 1.930.000</b>
<b>MÁS IVA 19%</b>	<b>\$ 366.700</b>
<b>VALOR TOTAL</b>	<b>\$ 2.296.700</b>

**CONDICIONES COMERCIALES**

Validez de la Oferta : 20 Días.  
 Tiempo de Entrega : Inmediata salvo venta previa.  
 Forma de Pago : Contada.  
**GARANTIA** : 12 meses por defectos de fabricación

Cordialmente,

**Ing. CHRISTIAN DUVAN MILA**  
 Ventas Industriales  
 Tel. 757 90 82 - 547 46 31  
 Cel. 320 496 27 61

## COTIZACIÓN DE LOS INSUMOS



**QUIMICA INTEGRADA S.A.**  
NIT. 800.078.640-1

Planta de Producción: Km. 34 vía Melica - Bñ • Ape - Huila  
Teléfono: +57 (8) 838 9036 / 838 9327 / 838 9935 Móvil: 313 890 2959  
Correspondencia: Calle 8 No. 10-69 • Níva - Huila  
Sede Bogotá: Calle 17 No. 133-14 Fontibón  
Teléfono: +57 (1) 415 7067 Móvil: 313 890 2961  
www.quinsa.com.co • quinsa01@hotmail.com

### COTIZACIÓN

**COTIZACIÓN N°: COQ-515-17 CIUDAD Y FECHA: BOGOTA, NOVIEMBRE 09 DE 2017**  
**ENTIDAD QUE SOLICITA LA COTIZACION: N/A**  
**PERSONA QUE SOLICITA LA COTIZACION: LAURA MENDOZA**

PRODUCTO	TIPO DE EMPAQUE	VALOR kg	LUGAR DE ENTREGA	PRESENTACION
HIDROXICLORURO DE ALUMINIO	GARRAFA X 25 KG / TAMBOR X 250 / IBC X 1100	\$1650+IVA	BODEGA QUINSA BTA	
HIDROXICLORURO DE ALUMINIO	GRANEL(CUENTE TRAE ENVASE PARA LLENADO)	\$1350+IVA	BODEGA QUINSA BTA	
POLIMERO CATIONICO	SACOS X 25 KG	16000 + IVA	BODEGA QUINSA BTA	

**POR FAVOR TENER EN CUENTA LAS SIGUIENTES CONDICIONES ACORDADAS EN ESTA COTIZACION:**

**FORMA DE PAGO: CONTADO TRANSFERENCIA**

**TIEMPO DE ENTREGA DE LOS PRODUCTOS: INMEDIATO DESPUES DE OC**

**LUGAR DE ENTREGA: BODEGA QUINSA BOGOTA**

En espera de poder prestarles nuestros servicios, nos suscribimos a ustedes.

Atentamente,

**TESPIS PEREZ MENDOZA**  
3138932981  
investigación@quinsa.com.co  
QUIMICA INTEGRADA S.A



## COTIZACIÓN DE LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA

Bogotá, Marzo 31 de 2017

Señores:  
**UNIVERSIDAD AMERICAS**  
 Atn: Laura Mendoza  
[carlotica-11@hotmail.com](mailto:carlotica-11@hotmail.com)



Cotización No. 0611

Según su amable solicitud me permito informarle los precios unitarios de los análisis fisicoquímicos de agua residual. (Resolución 0631/15 Elaboración de productos alimenticios).

Variable	Método <small>(Métodos estándar edición 22)</small>	Precio Unitario (\$)	Número	Subtotal (\$)
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	5210 B Incubación 5 Días	50.000	1	50.000
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	5220 C Reflujo Cerrado	51.000	1	51.000
Sólidos Suspendidos Totales	2540 D Gravimétrico Secado 103°C – 105°C	20.000	1	20.000
Aceites y Grasas	5520 D Gravimétrico Extracción Soxhlet	62.000	1	62.000
SAAM	5540 C Surfactantes Aniónicos	53.000	1	53.000
Alcalinidad	2320 B Titulación	7.500	1	7.500
Nitratos*	Salicilato de Sodio J. Rodier 9ª Edición 2009	15.000	1	15.000
Nitritos*	4500 NO <sub>2</sub> B Colorimétrico	15.000	1	15.000
Nitrógeno Amoniacal*	4500 B C Destilación – Volumetría	25.000	1	25.000
Nitrógeno Total NKT*	4500 B Macro Kjeldahl	53.000	1	53.000
Sulfatos	4500 SO <sub>4</sub> D Gravimétrico Con Secado de Residuos	16.000	1	16.000

Cotización válida por un mes. No incluye asesoría.

\*Análisis subcontratado con laboratorio acreditado IDEAM en este parámetro.

Acidez	2310 B Titulométrico	13.000	1	13.000
Cadmio*	3030 E / 3111 B Digestión / Absorción Atómica	30.000	1	30.000
Cianuros*	ASTDM D 7511-09 Detección Ampliométrica	60.000	1	60.000
Cloruros	4500 Cl B Argentométrico	17.000	1	17.000
Cobre*	3030 E / 3111 B Digestión / Absorción Atómica	30.000	1	30.000
Color Real (3 longitudes de Onda)	2120 C Espectrofotométrico	20.000	1	20.000
Compuesto Semivolátiles Fenólicos*	EPA 3510C/EPA 8100 Extracción Líquido – Líquido, CG/FID	275.000	1	275.000
Cromo Total*	3030 E / 3111 B Digestión / Absorción Atómica	30.000	1	30.000
Dureza Cálctica	3500 Ca B Volumétrico EDTA	10.000	1	10.000
Dureza Total	2340 C Volumétrico EDTA	7.500	1	7.500
Fosforo*	4500 P D Cloruro Estannoso	27.000	1	27.000
Mercurio*	EPA 200.8 Espectrofotometría de Masas por Plasma	60.000	1	60.000
Níquel*	EPA 200.8 Espectrofotometría de Masas por Plasma	50.000	1	50.000
Ortofosfatos*	4500 C Colorimetría	32.000	1	32.000
Plomo*	3030 E / 3111 B Digestión / Absorción Atómica	30.000	1	30.000
Zinc*	3030 E / 3111 B Digestión / Absorción Atómica	30.000	1	30.000
Muestreo Compuesto (1 punto x 8 horas)	---	470.000	1	470.000

Cotización válida por un mes. No incluye asesoría.

\*Análisis subcontratado con laboratorio acreditado IDEAM en este parámetro.

<b>Subtotal</b>	----	----	----	<b>1.559.000</b>
<b>IVA 19%</b>	----	----	----	<b>296.210</b>
<b>Total</b>	----	----	----	<b>1.855.210</b>

Cotización válida por un mes. No incluye asesoría.

\*Análisis subcontratado con laboratorio acreditado IDEAM en este parámetro.

**Muestreo Compuesto:** Se realiza durante una jornada de trabajo (17 tomas en jornada diurna en Bogotá), y considera la medición cada 30 minutos de pH, temperatura y el caudal, los sólidos Sedimentables (SS) se medirán horariamente, según los procedimientos aceptados por el IDEAM.

**Informe:** Incluye

1. El origen de las descarga (s) monitoreadas
2. Tiempo de descarga
3. Frecuencia de la descarga
4. El cálculo para caudal promedio de descarga
5. Los volúmenes de composición de cada alicuota en ml.
6. El volumen proyectado para realizar el monitoreo expresado en litros
7. Variación del Caudal vs tiempo
8. Caudales de la composición de la descarga expresada en L.p.s. vs. Tiempo de aforo para cada descarga expresado en segundos representado en tablas.
9. Cálculo de carga contaminante.
10. Comparación con las normas.

**Tiempo de entrega de resultados:** 20 días hábiles.

**Forma de pago:** 50% anticipo y 50% para la entrega de resultados.

**Calidad.** Conoser Ltda. Fue el primer laboratorio ambiental privado en Colombia que obtuvo la acreditación del IDEAM como laboratorio competente para realizar ciertos análisis fisicoquímicos, muestreos de agua, muestreos de residuos sólidos peligrosos y suelos (IDEAM Resolución No. 2772 del 7 de Diciembre 2016 vigente hasta el 7 de Diciembre de 2020). Así mismo Conoser participa en el programa interlaboratorios de control de calidad de agua potable PICCAP, dando cumplimiento al Artículo 27 del Decreto 1575/07 del MPS-MAVDT. Nuestra empresa también cuenta con la certificación en la norma ISO 9001/08 otorgada por la empresa SGS Colombia para los servicios de: Muestreos, análisis fisicoquímicos, análisis bacteriológico, y asesoría ambiental en aguas, residuos sólidos, aire y ruido.

Esta cotización fue realizada y aprobada previa revisión de la capacidad del laboratorio (personal, equipos, recursos, capacitación y métodos)

## ANEXO F

### PREPARACIÓN DE SOLUCIONES

- **Sulfato de aluminio tipo analítico y tipo A**

La solución de sulfato de aluminio analítico con una concentración de 10.000 mg/L se prepara pesando 1g de sulfato de aluminio en la balanza analítica y disolviéndolo en un balón aforado de 100 ml con agua destilada.

La solución de sulfato de aluminio analítico con una concentración de 300.000 mg/L se prepara pesando 30g de sulfato de aluminio y disolviéndolo en un balón aforado de 100 ml con agua destilada, con ayuda de un agitador magnético.

- **Cloruro férrico**

La solución de cloruro férrico con una concentración de 10.000 mg/L se prepara pesando 1g de cloruro férrico en la balanza analítica y disolviéndolo en un balón aforado de 100 ml con agua destilada.

La solución de cloruro férrico con una concentración de 300.000 mg/L se prepara pesando 30g de cloruro férrico y disolviéndolo en un balón aforado de 100 ml con agua destilada, con ayuda de un agitador magnético.

- **Hidroxiclорuro de aluminio (PAC)**

El PAC usados en los experimentos viene en forma líquida al 25% según el proveedor. A partir de la siguiente ecuación se determina la concentración de la solución de coagulante.

$$\text{volumen 1} * \text{concentración 1} = \text{volumen 2} * \text{concentración 2}$$

Donde, el volumen 1 son los ml del PAC que se le agrega al balón aforado, la concentración 1 corresponde al PAC dado por el proveedor (250.000 mg/L), el volumen 2 es el volumen del balón aforado en ml y la concentración 2 es la concentración de la solución de coagulante en el balón.


La solución de hidroxiclорuro de aluminio a una concentración de 2.000 mg/L se prepara midiendo un volumen de 0.8 ml con una pipeta graduada de 5 ml y agregándolo en un balón aforado de 100 ml con agua destilada.

$$\text{Volumen 1} = \frac{100 \text{ ml} \times 2000 \text{ mg/l}}{250000 \text{ mg/l}} = 0.8 \text{ ml}$$

- **Polímero catiónico**

La solución del polímero catiónico con una concentración de 2.000 mg/L se prepara pesando 0,2g de polímero catiónico en la balanza analítica y disolviéndolo en un balón aforado de 100 ml con agua destilada.



 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016


## AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES




Nosotros **María Fernanda López Barroso y Laura Carlota Mendoza Arias** en calidad de titulares de la obra **DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE MEJORA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA REDUCCIÓN DE LA DQO Y DBO EN LA FÁBRICA DE CHOCOLATES TRIUNFO S.A.** elaborada en el año **2017**, autorizamos al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que nos corresponden y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autores manifestamos conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autores establecemos las siguientes condiciones de uso de nuestra obra de acuerdo con la **licencia Creative Commons** que se señala a continuación:

	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

	Atribución- no comercial- sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.	<input checked="" type="checkbox"/>
	Atribución – no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.	<input type="checkbox"/>
	Atribución – no comercial – compartir igual: permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.	<input type="checkbox"/>

Licencias completas: [http://co.creativecommons.org/?page\\_id=13](http://co.creativecommons.org/?page_id=13)

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a sus autores.

De igual forma como autores autorizamos la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:

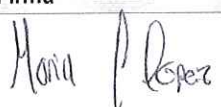
AUTORIZAMOS	SI	NO
La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso	X	
La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación	X	

Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicaremos, en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso.	SI	NO
		X

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá, a los 9 días del mes de febrero del año 2018.

#### LOS AUTORES:

##### Autor 1

Nombres	Apellidos
María Fernanda	López Barroso
Documento de identificación No	Firma
1010226073	

##### Autor 1

Nombres	Apellidos
Laura Carlota	Mendoza Arias
Documento de identificación No	Firma
1010226074	