

PROPUESTA DE UN SISTEMA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DE LA EMPRESA FOOD & DRINKS ALIMENTOS SAS A NIVEL
LABORATORIO

LEIDY GONZÁLEZ RIVERA

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

PROPUESTA DE UN SISTEMA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DE LA EMPRESA FOOD & DRINKS ALIMENTOS SAS A NIVEL
LABORATORIO

LEIDY GONZÁLEZ RIVERA

Proyecto integral grado para optar por al título de
INGENIERO QUÍMICO

Asesora
ELIZABETH TORRES GÁMEZ
Ing. Química

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

Nota de aceptación:

Firma del jurado 1

Firma del jurado 2

Bogotá D.C. Junio de 2020

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA

Consejero Institucional

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. MARÍA CLAUDIA APONTE GONZÁLEZ

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO

Secretaria General

Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN

Decano Facultad de Ingeniería

Ing. JULIO CÉSAR FUENTES ARISMENDI

Director Programa de Ingeniería Química

Ing. IVÁN RAMÍREZ MARÍN

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

DEDICATORIA

En primera instancia debo agradecer a Dios por permitirme llegar hasta acá, con su guía pude encontrar todas las soluciones a las adversidades presentadas durante este camino que requirió de muchos esfuerzos. A mi madre, Sandra, que siempre ha estado para mí en todos los momentos de mi vida y me brindó su apoyo y aliento cuando lo necesitaba; una gran mujer que siempre me inculco la responsabilidad y persistencia en todo sentido. A mis abuelos maternos, Marina y Fernando, y mi tío Juan que han sido mi soporte y ejemplo por seguir en cada objetivo que me pongo; a ellos les debo mi gran infancia. A mi novio, Leonardo, que estuvo conmigo desde el principio de este proyecto comprendiéndome, apoyándome y siendo paciente en cada momento que requería de un empuje para continuar. A mi hermanito, Alejo, que es mi motor para seguir adelante y por último a todos mis amigos: Paula, Jennifer, Lore, Juli y Gino que han estado conmigo desde hace más de 5 años ayudándome y creciendo conmigo profesionalmente.

Leidy González Rivera

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	21
INTRODUCCIÓN	22
OBJETIVOS	23
1. GENERALIDADES	24
1.1 HISTORIA DE LA EMPRESA	24
1.1.1 Descripción de la planta	24
1.1.2 Distribución de la planta	25
1.1.3 Medidas de seguridad y asepsia de producción	26
1.2 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LAS TRES LÍNEAS PRINCIPALES	26
1.2.1 Proceso de producción de quesos	27
1.2.1.1 Quesos frescos	32
1.2.1.2 Quesos maduros	32
1.2.1.3 Quesos semimaduros	32
1.2.2 Proceso de producción de yogures griegos	32
1.2.2 Proceso de producción de mantequilla clarificada (Ghee)	35
1.3.1 Leche	37
1.3.2 Contaminación en la industria láctea	38
1.3.3 Tratamiento de aguas residuales	38
1.3.3.1 Pre tratamiento	39
1.3.3.2 Tratamiento primario	39
1.3.3.3 Tratamiento Secundario	41
1.3.3.4 Tratamiento terciario	41
1.4 PARÁMETROS EVALUADOS POR LA NORMA PARA LA INDUSTRIA LÁCTEA	42
1.4.1 DBO (Demanda bioquímica de oxígeno)	42
1.4.2 DQO (Demanda química de oxígeno)	42
1.4.3 SDT (Solidos disueltos totales).	42
1.4.4 SSED (Solidos sedimentables)	43
1.5 MARCO LEGAL	43
1.5.1 Decreto 3930 de 2010	43
1.5.2 Resolución 631 de 2015	43
1.5.3 Decreto 1076 de 2015	44
2. DIAGNOSTICO	
2.1 FUENTES GENERADORAS DEL AGUA RESIDUAL	45
2.2 BALANCE HÍDRICO	46
2.2.1 Fuente de suministro de agua	46

2.2.2	Red de aguas industriales generadas por la empresa	47
2.2.3	Resumen del balance hídrico total de la empresa	54
2.3	DISPOSICIÓN ACTUAL DEL VERTIMIENTO	55
2.4	REVISIÓN NORMATIVA LEGAL APLICABLE	56
2.4.1	Parámetros de evaluación para la industria láctea.	56
2.4.2	Descripción del muestreo.	56
2.4.3	Caracterización del agua entregada al laboratorio Quimicontrol Ltda	57
2.4.4	Análisis de los parámetros fuera de la norma del vertimiento de aguas.	59
3.	SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	60
3.1	PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS A IMPLEMENTAR.	60
3.1.1	Selección de parámetros para el tratamiento	60
3.1.2	Tratamientos de aguas residuales utilizados en industrias lácteas.	60
3.1.2.1	Grasas y aceites	60
3.1.2.2	DBO ₅ y DQO	61
3.1.2.3	pH	63
3.1.2.4	Sólidos suspendidos totales	64
3.3	ALTERNATIVAS SELECCIONADAS EN EMPRESAS LÁCTEAS	65
3.4	CRITERIOS DE SELECCIÓN	67
3.5	EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS	68
3.5.1	Matriz de selección del sistema de tratamiento de aguas de la empresa	69
3.6	MATRIZ DE REACTIVOS QUÍMICOS SELECCIONADOS	72
3.6.1	Coagulación / Floculación	72
3.7	DESARROLLO DE LA EXPERIMENTACIÓN	75
3.7.1	Diseño de la trampa de grasas	75
3.7.2	Neutralización	77
3.7.3	Prueba de tratabilidad test de jarras	78
3.7.3.1	Prueba de alcalinidad	79
3.7.3.2	Test de Jarras	82
3.7.4	Diseño del DAF a escala piloto	87
3.7.4.1	Experimentación	93
3.7.5	Diseño de filtro de arena y carbón activado a escala piloto	96
3.7.5.1	Filtro de arena	96
3.7.5.2	Diseño del filtro de arena a escala piloto	97
3.7.5.3	Filtro de carbón activado	99
3.7.5.4	Planos de los filtros	101
3.8	RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACIÓN	103
3.8.1.	Resultados a nivel laboratorio del efluente tratado	103
3.8.2.	Análisis de los resultados obtenidos con base a la Resolución 0631 de 2015	105
4.	REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA	107
4.1	DISEÑO GENERAL DAF	107
4.1.1	Unidad de pH	110

4.1.2	Tanque homogeneizador	110
4.1.3	Filtro de arena a escala industrial	112
4.1.4	Filtro de carbón activado a escala industrial	113
4.2	Cálculos de los respectivos reactivos	114
4.2.1	Hidróxido de sodio (Neutralizante)	114
4.2.2	Cloruro férrico (Coagulante)	115
4.2.3	Poliacrilamida (Floculante)	115
4.3	CUANTIFICACION MENSUAL DE REACTIVOS PARA LA PROPUESTA PLANTEADA	116
5.	ANÁLISIS DE COSTOS	117
5.1	COSTOS DE INVERSIÓN (EQUIPOS)	117
5.2	COSTOS DE OPERACIÓN	117
5.2.1	Insumos	118
5.2.2	Costos energéticos	118
5.2.3	Mano de obra	119
5.3	COSTOS TOTALES	119
5.4	COSTOS DE MULTAS	120
6.	CONCLUSIONES	124
7.	RECOMENDACIONES	125
	BIBLIOGRAFÍA	126
	ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Foto local externo	24
Figura 2. Logo de la empresa	24
Figura 3. Ubicación satelital de la empresa	24
Figura 4. Plano planta Food & Drinks Alimentos SAS	25
Figura 5. Cantinas acero inoxidable de la empresa	28
Figura 6. Tanque de enfriamiento	28
Figura 7. Tina de cuajado	29
Figura 8. Mesa de escurrido	30
Figura 9. Prensa de aire	30
Figura 10. Cava de sostenimiento refrigerado	31
Figura 11. Marmita	34
Figura 12. Modelo de trampa de grasas	39
Figura 13. Plano general de la trampa	77
Figura 14. Lectura de la neutralización de la muestra	78
Figura 15. Ensayo de los tres tipos de coagulantes por alcalinidad	80
Figura 16. Montaje test de jarras	82
Figura 17. Preparación de reactivos de la prueba de tratabilidad	83
Figura 18. Desarrollo experimental ensayo de jarras 2	85
Figura 19. Jarra con mayor cantidad de floc fisicoquímico con cloruro férrico	86
Figura 20. Remoción de carga suspendida operativamente vs. carga hidráulica	89
Figura 21. Plano del DAF a escala piloto	92
Figura 22. Burbujeo del DAF para la adhesión de partículas	94
Figura 23. Partículas sedimentadas en el DAF	95
Figura 24. Obtención del agua clarificada en la cámara de salida	95
Figura 25. Montaje filtro de arena sílice	99
Figura 26. Montaje filtro de carbón activado	100
Figura 27. Diseño de los filtros a escala piloto	102
Figura 28. Efluente tratado	103
Figura 29. Test de pH y cloro por Asequimicos SAS	104
Figura 30. Plano del DAF a escala industrial	110
Figura 31. Plano del tanque homogeneizador a escala industrial	112
Figura 32. Planos de los filtros a escala industrial	114

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1 Parámetros y valores máximos permisibles en los vertimientos de industrias lácteas	44
Tabla 2 Consumo de agua diaria del personal fijo	48
Tabla 3 Consumo de agua diario del personal transitorio	48
Tabla 4 Consumo de agua diario del área de entrada a la planta	48
Tabla 5 Equipos y utensilios que requieren agua para su proceso	50
Tabla 6 Muestra del agua residual enviada a laboratorio	57
Tabla 7 Resultados de la caracterización de los parámetros críticos	59
Tabla 8 Comparación resultados de caracterización del agua residual	59
Tabla 9 Indicador de la matriz de selección de cada alternativa	68
Tabla 10 Matriz de selección del tratamiento de aguas residuales	69
Tabla 11 Balance de cargas contaminantes de la empresa	71
Tabla 12 Matriz de selección de reactivos	72
Tabla 13 Matriz de selección de los coagulantes a utilizar	74
Tabla 14 Diseño a escala industrial de la trampa de grasas	76
Tabla 15 Mediciones del multiparámetro HQ40 y cono Imhoff	78
Tabla 16 Datos medidos: Volumen de lodos vs. tiempo	79
Tabla 17 Dosis volumétrica del coagulante para cada jarra, SLN madre al 1%	82
Tabla 18 Programación del equipo para realizar la prueba de jarras	83
Tabla 19 Resultados de la prueba de tratabilidad primer ensayo	84
Tabla 20 Resumen general de la proporción para la solución optima	86
Tabla 21 Datos generales del diseño del DAF a escala piloto	87
Tabla 22 Dimensiones del DAF a escala piloto	90
Tabla 23 Diseño de la salida del agua clarificada del DAF	91
Tabla 24 Dosificación soda caustica para el DAF	93
Tabla 25 Proporción de coagulante y floculante a escala piloto	93
Tabla 26 Propiedades físicas y químicas de la arena utilizada	96
Tabla 27 Propiedades físicas y químicas de la grava	97
Tabla 28 Diseño del filtro de arena a escala piloto	98
Tabla 29 Diseño del filtro de carbón activado a escala piloto	100
Tabla 30 Resultados de la medición de pH y cloro	104
Tabla 31 Resultados de la experimentación a escala piloto	105
Tabla 32 Comparación de los parámetros críticos y los resultados obtenidos	106
Tabla 33 Diseño general del DAF a escala industrial	108
Tabla 34 Diseño de la salida de agua clarificada a escala industrial	109
Tabla 35 Diseño de la cámara de llegada a escala industrial	109
Tabla 36 Diseño del tanque homogeneizador a escala industrial	112
Tabla 37 Diseño a escala industrial filtro de arena	113
Tabla 38 Diseño a escala industrial del filtro de carbón activado	113
Tabla 39 Cantidad de reactivos químicos necesarios por mes de operación	116

Tabla 40 Costos de equipos	117
Tabla 41 Costos de los insumos necesarios	118
Tabla 42 Consumo energético general	119
Tabla 43 Costo de mano de obra	119
Tabla 44 Costos totales	119
Tabla 45 Indicadores de grado de afectación evaluados según el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	121

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1 Determinación del consumo de agua para el personal fijo	48
Ecuación 2 Determinación del consumo de agua para el personal transitorio	49
Ecuación 3 Determinación caudal total de agua domestica	49
Ecuación 4 Caudal total de agua residual generada en los procesos de producción	53
Ecuación 5 Ley de la conservación de la materia	54
Ecuación 6 Volumen de la alícuota o porción de la muestra	57
Ecuación 7 Cantidad de carga contaminante (kg/día)	70
Ecuación 8 Volumen de la trampa de grasas	75
Ecuación 9 Altura efectiva de la trampa de grasas	75
Ecuación 10 Altura del baffle 1	75
Ecuación 11 Altura del baffle 2	75
Ecuación 12 Ancho de la trampa de grasas	76
Ecuación 13 Largo de la trampa de grasas	76
Ecuación 14 Calculo de alcalinidad	80
Ecuación 15 Factor de dilución	82
Ecuación 16 Calculo del porcentaje de remoción	84
Ecuación 17 Cantidad de aire requerido	87
Ecuación 18 Potencia requerida	87
Ecuación 19 Área superficial de diseño	88
Ecuación 20 Ancho de diseño	88
Ecuación 21 Largo de diseño	88
Ecuación 22 Volumen de diseño	88
Ecuación 23 Numero de vertederos	90
Ecuación 24 Caudal unitario	90
Ecuación 25 Carga sobre el vertedero	90
Ecuación 26 Numero de vertederos	90
Ecuación 27 Altura de la lámina del vertedero	90
Ecuación 28 Altura total del vertedero	91
Ecuación 29 Ancho vertedero	91
Ecuación 30 Calculo del área superficial	97
Ecuación 31 Diámetro del filtro de arena	97
Ecuación 32 Volumen del filtro de arena	98
Ecuación 33 Tiempo de retención del filtro	98
Ecuación 34 Altura del medio filtrante total	98
Ecuación 35 Presión manométrica necesaria	107
Ecuación 36 Volumen del tanque	110
Ecuación 37 Diámetro del tanque	110
Ecuación 38 Altura del tanque	111
Ecuación 39 Potencia requerida	111
Ecuación 40 Beneficio ilícito	120

Ecuación 41 Importancia de afectación ambiental	121
Ecuación 42 Grado de afectación ambiental	121
Ecuación 43 Factor de temporalidad	122
Ecuación 44 Multa	122

LISTA DE DIAGRAMAS

	pág.
Diagrama 1 Proceso producción quesos	27
Diagrama 2 Proceso producción yogures	33
Diagrama 3 Proceso producción mantequilla clarificada	36
Diagrama 4 Uso del agua en la empresa	45
Diagrama 5 Balance del agua en el proceso administrativo	50
Diagrama 6 Usos del agua el proceso de limpieza de equipos y utensilios	53
Diagrama 7 Usos generales del agua	55
Diagrama 8 Alternativa seleccionada	71
Diagrama 9 Determinación de la dosificación del coagulante por alcalinidad	81

LISTA DE GRAFICAS

	pág.
Grafica 1 Comportamiento de sedimentabilidad a través del tiempo	79
Grafica 2 Representación gráfica del porcentaje de remoción para cada coagulante	85

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1 Producción mensual en la empresa	26
Cuadro 2 Ventajas y desventajas del cribado	61
Cuadro 3 Ventajas y desventajas del sistema de flotación según Romero Rojas	61
Cuadro 4 Ventajas y desventajas de la clarificación química	62
Cuadro 5 Ventajas y desventajas de lodos activados	63
Cuadro 6 Ventajas y desventajas de la electrocoagulación	63
Cuadro 7 Ventajas y desventajas de la neutralización	64
Cuadro 8 Planteamiento tratamientos de aguas residuales efectuados en otras empresas lácteas	66
Cuadro 9 Evaluación de la viabilidad técnica	67
Cuadro 10 Evaluación de la viabilidad operativa	68
Cuadro 11 Evaluación de la viabilidad económica	68
Cuadro 12 Factores de selección de reactivos en general	72
Cuadro 13 Descripción de coagulantes usados en la coagulación	73

LISTA DE ABREVIATURAS

DQO: demanda química de oxígeno

PIB: producto interno bruto

NTU: unidad nefelométrica de turbidez

DBO₅: demanda biológica de oxígeno

SST: solidos suspendidos totales

EPP: elementos de protección personal

L: litro

°C: grados celsius

kg: kilogramo

m³: metro cubico

min: minuto

Invima: instituto nacional de vigilancia de medicamentos y alimentos

(OH)⁻: ion hidroxilo

mg: miligramos

mg/L: miligramos por litro de solución

m²: metros cuadrados

h: hora

m: metro

RPM: revoluciones por minuto

m/d: tasa de filtración

in: inch (pulgada)

“: pulgada

ppm: partes por millón

GyA: grasas y aceites

rps: revoluciones por segundo

kw: kilo watt

UVT: unidad de valor tributario

. : separación de miles

, : separación de decimales

GLOSARIO

AFLUENTE: flujo de agua que ingresa al sistema de tratamiento de aguas implementado por cada empresa desde la planta de producción.

AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL: agua resultante de un proceso productivo y que presenta todo tipo de contaminantes¹.

CARGA ORGÁNICA: cantidad de materia orgánica, generalmente medida como DBO₅, a esta se le aplica un proceso de tratamiento específico; se expresa como peso por unidad de tiempo (kg/día)².

DQO: la Demanda Química de Oxígeno (DQO) determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo³.

FLOCULACIÓN: tipo de tratamiento primario en el cual las partículas resultantes del proceso de coagulación se aglutinan para poder sedimentarlo y finalmente retirarlo.

MUESTRA COMPUESTA: muestra de agua residual tomada en un mismo punto, pero en diferente momento durante la producción.

NEUTRALIZACIÓN: proceso químico mediante el cual se realiza una variación en el pH hasta lograr la alcalinidad o acidez deseada mediante el uso de un agente químico.

TRAMPA DE GRASAS: es un receptáculo ubicado entre las líneas de desagüe de la fuente y las alcantarillas, permite la separación y recolección de las grasas y aceites. Al separarse las grasas flotan por la superficie y los sólidos pesados se depositan en el fondo y el resto del agua puede fluir sin estos compuestos⁴.

SUERO: subproducto líquido generado luego de realizar la pasteurización de la leche. Contiene sales, grasas, lactosa, vitaminas, proteínas, entre otros.

¹ ROMERO ROJAS, Jairo. Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de Diseño. 3 ed. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 2004. p. 18. ISBN 958-8060-13-3.

² AGUAMARKET: Carga orgánica [en línea]. Santiago de Chile. [Consultado: día de mes de año]. Disponible en: <https://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?id=404&termino=carga+org%E1nica>.

³ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Demanda química de oxígeno por reflujo cerrado y volumetría. TP0086 [en línea]. 5 ed. Colombia. 2007. p. 02. [Consultado: día de mes de año] Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>

⁴ HIDROPLAYAS EP: Trampa de grasas [en línea]. Ecuador. p. 02. [Consultado: día de mes de año]. Disponible en: <http://hidroplayas.gob.ec/leydetransparencia/trampasdegrasa.pdf> AGUAMARKET.

RESUMEN

La empresa colombiana Food & Drinks Alimentos SAS se encuentra ubicada en Cota, Cundinamarca, fabrica y comercializa productos derivados de lácteos. Tiene una recepción semanal de 1000 L de Leche, sin embargo, carece de un sistema para el tratamiento de aguas. Surge de esta manera la necesidad de realizar un estudio físico químico y económico para establecer cada uno de los equipos y reactivos a utilizar y disminuir el impacto ambiental generado hasta el momento.

Por medio del balance hídrico se determinó un vertimiento diario al alcantarillado de 2,5 m³/diarios de agua industrial residual. Con la caracterización de la muestra por el laboratorio QUIMICONTROL se especificaron los principales parámetros expuestos en la Resolución 0631 de 2015 que no se encuentran dentro del límite permitido, estos son: pH, DBO₅, DQO, grasas y aceites.

Para garantizar el cumplimiento de los parámetros expuestos en la Resolución 0631 de 2015 se plantearon las siguientes metodologías: Trampa de grasas, DAF, filtro de arena y filtro de carbón; permitiendo así que cada uno de los parámetros se cumplieran. Se estableció cada uno de los valores a la salida del sistema del tratamiento de aguas residuales por medio del balance de cargas de forma teórica, teniendo en cuenta la eficiencia de cada equipo. Posteriormente se determinó matemáticamente el diseño del sistema a escala piloto e industrial y se evaluó la viabilidad financiera del proyecto con base a los costos de inversión y de operación.

Palabras clave: Aguas residuales, industria láctea, coagulación, floculación, neutralización, tratamiento aguas, impacto ambiental, agua tratada.

INTRODUCCIÓN

La industria láctea Colombiana actualmente representa aproximadamente el 24,3% del PIB agropecuario del país, produciendo alrededor de 7.000 millones de litros de leche anualmente⁵. Las industrias lácteas tienen un alto consumo de agua potable y debido a la inadecuada disposición de los vertimientos generados, se han presentado problemas de salubridad y calidad del agua en algunas zonas del país, porque la mayoría de estos se dirigen a los diferentes tipos de cuerpos de agua, causan contaminación al suelo y afectan la vida acuática. Debido al tipo de productos que se procesan, son un foco de contaminación debido a que sus efluentes son ricos en materias carbonosas, nitrogenadas (proteínas) y especialmente lactosa que contribuye al aumento de la DBO₅.⁶

La empresa Food & Drinks Alimentos se dedica a la producción y comercialización de quesos, yogures griegos y mantequilla clarificada principalmente. El agua residual se genera por los procesos de lavado y desinfección de equipos, moldes, paredes y pisos donde se acumulan diferentes tipos de agentes químicos y físicos que son usados para cada etapa del proceso productivo. Actualmente el consumo de agua potable mensual es de 50 m³.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible mediante la resolución no. 0631 del 17 Marzo 2015 establece los parámetros y valores máximos permisibles en cada uno de los vertimientos de aguas residuales de los diferentes tipos de industria. Específicamente en el artículo 12 se encuentran los parámetros que deben tener en cuenta las empresas dedicadas a la elaboración de productos lácteos tales como: pH, DBO, DQO, SST, SSED, grasas y aceites. Dado que se debe garantizar la seguridad ambiental para toda la ciudadanía y el funcionamiento de la empresa, se propone en este trabajo un sistema de tratamiento de aguas para este tipo de industria.

⁵ ASOLECHE. Sector lechero en Colombia potencial desperdiciado [en línea]. En: *Pro Export Colombia*. Bogotá, Colombia, Septiembre 22 2017. [Consultado: 10 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://agronegocios.uniandes.edu.co/2017/09/22/sector-lechero-en-colombia-potencial-desperdiciado/>

⁶ ESCUELA ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL. Los vertidos del sector lácteo. Sevilla. Master Profesional en Ingeniería y Gestión Medio Ambiental. 2008. p.3.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta para el sistema de tratamiento de aguas residuales de la empresa Food & Drinks Alimentos SAS, productora de derivados lácteos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diagnosticar el estado actual del agua residual proveniente de los procesos productivos de la empresa Food & Drinks Alimentos SAS
2. Seleccionar la alternativa para el tratamiento de aguas residuales por medio de desarrollo experimental
3. Determinar las especificaciones técnicas de la alternativa seleccionada
4. Realizar el análisis financiero de la alternativa seleccionada

1. GENERALIDADES

Este capítulo describe los procesos productivos de la empresa y sus generalidades. Así mismo, agrupa la información bibliográfica necesaria para el desarrollo del proyecto.

1.1 HISTORIA DE LA EMPRESA

La empresa Food & Drinks Alimentos SAS fue fundada en el año 2019 por el Ingeniero de Alimentos Luis Sánchez y el Ingeniero Químico César Ramírez con la producción especialmente de quesos maduros, semimaduros, frescos, yogures griegos, arequipe y mantequilla clarificada. A pesar del poco tiempo de funcionamiento de la empresa ha logrado posicionarse en el mercado, ofreciendo un amplio catálogo de productos innovadores que le permiten al consumidor elegir la opción acorde a su gusto.

1.1.1 Descripción de la planta. Actualmente se encuentra ubicada en el Municipio de Cota, Cundinamarca a 13,2 km de la ciudad de Bogotá. Cuenta con una planta de producción y un punto de venta, dos personas se encargan del área productiva y dos personas del área administrativa. Los horarios establecidos para producción y venta al público son de 8 de horas diarias de lunes a viernes y media jornada laboral el sábado. Exceptuando los sábados y domingos cuando se efectúa el evento denominado: “Show del Queso Mozzarella”.

Figura 1. Foto local externo



Fuente: QUESERÍA DE MI SIN TI. [sitio web]. Bogotá. Disponible en: www.queseriademisinti.com

Figura 2. Logo de la empresa



Fuente: QUESERÍA DE MI SIN TI. [sitio web]. Bogotá. Disponible en: www.queseriademisinti.com

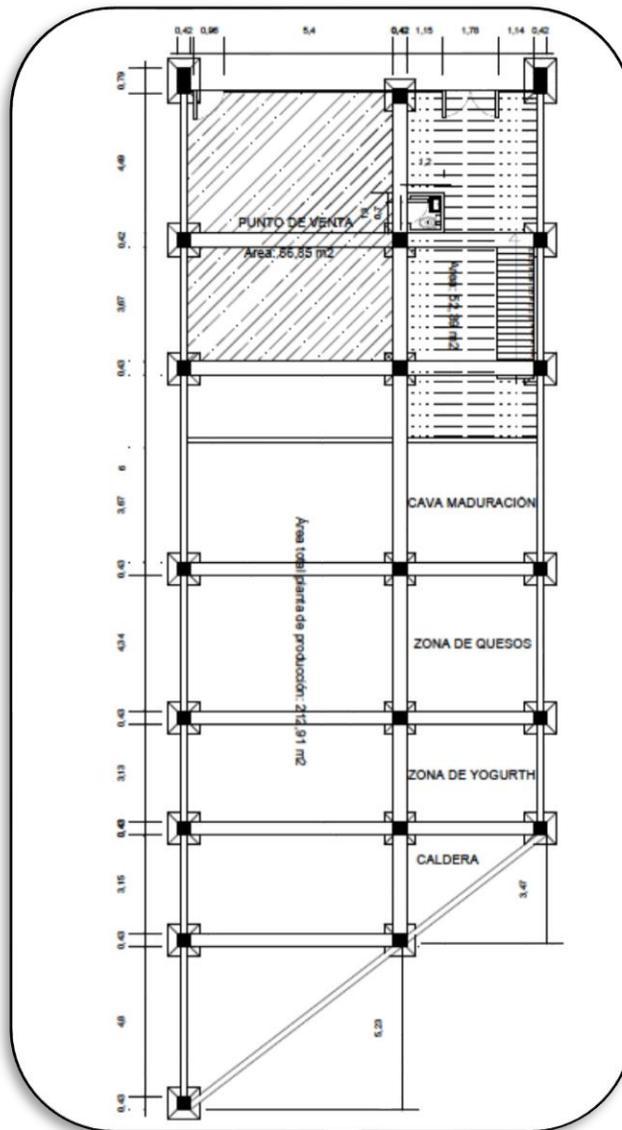
Figura 3. Ubicación satelital de la empresa



Fuente: GOOGLE MAPS. [sitio web]. Bogotá. Disponible en: www.google.com/maps

1.1.2 Distribución de la planta. La planta tiene dos niveles, en el primero opera el área de producción y el punto de venta. En el segundo nivel están ubicados el área administrativa, salón de capacitaciones, vestieres y baños. En la figura 4 se presenta el plano del primer piso de la planta, se pueden identificar cada una de las siguientes áreas: recepción de materia prima, cuajado, moldeo, empaque y distribución. En la parte posterior se encuentra la zona de máquinas, cocción de pulpas de fruta y almacenamiento de producto refrigerado.

Figura 4. Plano planta Food & Drinks Alimentos SAS



Fuente: FOOD& DRINKS ALIMENTOS SAS

1.1.3 Medidas de seguridad y asepsia de producción. Para garantizar las buenas prácticas de manufactura, la planta dispone de un sistema de desinfección, que involucra el lavado de manos y desinfección del calzado. También se exige hacer uso de los elementos de protección personal (EPP) para todo el personal.

1.2 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LAS TRES LÍNEAS PRINCIPALES

Los productos que se producen actualmente en la planta se describen en el cuadro 1, teniendo en cuenta la cantidad de producto en kg/mes de las tres líneas de producción: quesos, yogures y mantequilla. Semanalmente se procesa 1000 L de leche en promedio.

Cuadro 1 Producción mensual en la empresa

Línea de producción	Nombre del producto	Actual producción mensual (kg/mes)
Quesos maduros	Cheddar	400
	Parmesano	
Quesos semimaduros	Z fatit	
	Ingargarei	
	Tilsit natural	
	Tilsit ahumado	
	Prato esferico	
	Colonia	
	Cacciocavallo	
	Colby	
	Gouda	
Quesos frescos	Siete cueros	
	Oaxaca	
	Momposino	
	Pera	
	Mozzarella	
	Halloumi	
Yogurt	Yogurt griego	80
	Yogurt bebible	
	Labneh	
Mantequilla	Ghee	20

Fuente: elaboración propia con base en FOOD& DRINKS ALIMENTOS SAS

1.2.1 Proceso de producción de quesos. La producción de quesos se fundamenta en diferentes operaciones unitarias que se llevan a cabo desde la recepción de la materia prima hasta la distribución del producto terminado, a continuación, se describe el proceso en el diagrama 1.

Diagrama 1 Proceso producción quesos



Fuente: elaboración propia

1) Recepción de la materia prima: en esta área se hace la recepción de la leche proveniente de una finca de ordeño ubicada en el municipio de Sopo, Cundinamarca. Es transportada en cantinas de acero inoxidable con una capacidad de 50 L cada una mostrada en la figura 5. La leche cumple con todos los estándares de calidad necesarios, al ingresar se realizan pruebas de color, sabor, acidez, carga microbiológica, temperatura y pH. En caso de no encontrarse dentro de los estándares se debe devolver al respectivo proveedor.

Figura 5. Cantinas acero inoxidable de la empresa



Fuente: elaboración propia

2) Almacenamiento: la leche cuando no es procesada en su totalidad se lleva al tanque de almacenamiento fabricado en acero inoxidable, que tiene una capacidad de 1000 L y un alistamiento térmico en poliuretano con una densidad de 38 kg/m^3 , que permite garantizar las propiedades de la leche por un periodo de tiempo prolongado. Opera a una temperatura de refrigeración entre $2 \text{ }^\circ\text{C}$ a $6 \text{ }^\circ\text{C}$. La figura 6 muestra el tanque de enfriamiento utilizado.

Figura 6. Tanque de enfriamiento



Fuente: elaboración propia

3) Pasteurizado: este proceso se desarrolla en la tina de cuajado, donde se eleva la temperatura de la leche a 80 °C, temperatura que es suficiente para evitar la proliferación de los microorganismos. Posteriormente se enfría paulatinamente con agua fría que corre por las paredes de la tina. Este proceso puede durar aproximadamente de 1 a 2 horas.

Figura 7. Tina de cuajado



Fuente: elaboración propia

4) Cuajado: una vez se encuentra la leche a temperatura ambiente, se agrega el cuajo, cultivo bacteriano, colorante y saborizante; con el fin de separar la cuajada del lactosuero producido. La formación del cuajo puede tardar entre 30 y 60 min. Los cultivos bacterianos pueden ser Mesófilos o Termófilos y aportan diferentes aromas, texturas y sabores.

5) Corte: proceso en el cual se fracciona en pequeñas porciones la cuajada obtenida para su posterior recolección al interior de la tina.

6) Desuerado: la cuajada obtenida es llevada a la mesa de escurrido, para garantizar la eliminación del lactosuero líquido en su mayor proporción. Este proceso facilita el proceso de hilado en algunos quesos.

Figura 8. Mesa de escurrido



Fuente: elaboración propia

7) Moldeo: el queso obtenido es cortado, pesado y llevado a la prensa de aire, donde se ponen en moldes microperforados para permitir la eliminación de gran parte del suero que queda en el queso. La presentación varía de acuerdo con el tipo de queso, alrededor de 5 kg de producto en cada molde.

Figura 9. Prensa de aire



Fuente: elaboración propia

8) Salado: una vez los quesos están en cada molde, son llevados a la salmuera donde permanecen un tiempo de 8 hasta 48 horas Para garantizar que se encuentra en condiciones adecuadas para su uso, se mide diariamente su densidad con el aerómetro, el valor de la lectura deber ser de 20.

9) Enfriamiento: por último, se llevan a la cava de sostenimiento refrigerado durante 3 a 4 días, hasta que se obtengan las características organolépticas necesarias para cada tipo de queso. El cuarto de enfriamiento permanece entre -3 °C y -5 °C.

Figura 10. Cava de sostenimiento refrigerado



Fuente: elaboración propia

10) Desmolde: los quesos son desmoldados manual y posteriormente se procede a etiquetar y empacar al vacío.

11) Empaquetado y etiquetado: cuando se encuentra el producto terminado se empaca al vacío en una bolsa de polietileno. El proceso de etiquetado se hace de forma manual, la etiqueta contiene tabla nutricional, registro Invima, fecha de elaboración y vencimiento.

12) Maduración: existen algunos quesos que requieren un proceso de maduración, que consiste en almacenar el producto en zonas acondicionadas a una temperatura entre 12 °C y 16 °C con humedad relativa entre 85% y 90%. De acuerdo con el tipo de queso, este permanece en maduración entre 1 semana y 1 año.⁷

⁷MUÑOZ MUÑOZ, Deyanira; ROSERO MUÑOZ, Jorge Luis y CABRERA CIFUENTES, Gerardo. Rangos de control de humedad relativa y temperatura en cavas de maduración de quesos. [en línea]. Popayán, Colombia: Universidad del Cauca, febrero, 2010, vol. 8, nro. 1, p. 72. [Consultado: 04 de Noviembre de 2019] Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v8n1/v8n1a09.pdf>

13) Distribución: mediante un vehículo apto para el transporte de alimentos, los productos se comercializan a los diferentes clientes distribuidos a lo largo y ancho del país.

Actualmente Food & Drinks Alimentos SAS cuenta con varios tipos de quesos catalogados como jóvenes frescos, de corteza blanca y blanda, semiblandos, de textura firme o dura y aromatizados⁸. A continuación, se describen los tipos de quesos:

1.2.1.1 Quesos frescos. Este tipo de quesos tienen un proceso de maduración de aproximadamente de 6 días, se caracterizan por ser suaves, húmedos y de contextura blanda. Se recomiendan consumir en máximo 15 días, tiempo donde se mantiene su aroma y sabor. La empresa comercializa Mozzarella, Ricotta, Cottage, Oaxaca, Siete Cueros y Momposino.

1.2.1.2 Quesos maduros. Luego del prensado y moldeado este tipo de quesos se deja en reposo durante cierto tiempo especificado para cada uno, cabe resaltar que con el uso de calor se acelera el proceso de maduración y se intensifican sus sabores, el tiempo de maduración supera los 70 días. La empresa produce y comercializa queso Cheddar y Parmesano.

1.2.1.3 Quesos semimaduros: Este queso se deja con gran cantidad de lactosuero posterior a los primeros procesos, para que durante su maduración en cuarto frío pueda escurrir la mayor parte del lactosuero y esto permita que su vida útil alcance los 60 días, este tipo de queso tiene características sensoriales particulares como un sabor suave y textura semiblanda. A este tipo de quesos también se adicionan especias, vino, cerveza y demás productos que ayudan a su maduración y preservación. Se procesan en la planta: Z-Fatit, Tilsit, Colonia, Colby, Gouda, Prato esférico y Cacciocavallo.

1.2.2 Proceso de producción de yogures griegos. Los diferentes procesos involucrados en la fabricación de Yogures se explican a continuación.

⁸ INFOLACTEA. Practical Action [en línea]. Lima, Perú. [Consultado: 04 de Noviembre de 2019] Disponible en: <http://infolactea.com/wp-content/uploads/2016/06/elaboracion-del-queso.pdf>

Diagrama 2 Proceso producción yogures



Fuente: elaboración propia

- 1) **Recepción de la materia prima:** se hace la recepción de la leche proveniente de una finca de ordeño. Luego de verificar que la materia prima cumple con los estándares de calidad (color, sabor, acidez, carga microbiológica, temperatura y pH) se direcciona al siguiente proceso.
- 2) **Pasteurización:** al igual que la leche que se utiliza en la producción de quesos, la utilizada en la producción de yogures requieren del mismo proceso de pasteurización que se describió en la producción de quesos.
- 3) **Adición de cultivo láctico:** el cultivo metaboliza la lactosa presente en la leche, dando lugar al ácido láctico y otros compuestos importantes, el cultivo de bacterias permite darle ciertas características de sabor y aroma al producto terminado.

4) Incubación: en este proceso se lleva a cabo la fermentación de la leche entre 40 °C y 44 °C, es necesario dejar la leche en total reposo durante este periodo para permitir la formación de un gel continuo semisólido⁹, este proceso se lleva a cabo en el tanque de incubación (marmita).

Figura 11. Marmita



Fuente: elaboración propia

5) Escurrido: se retira todo tipo de líquidos presentes luego de formar el gel continuo semisólido.

6) Enfriamiento: se controla la actividad metabólica de los cultivos lácticos y enzimas (Eduardo Briones, 2005). El disminuir la temperatura del coagulo formado a -10 °C permite controlar la acidez del producto final.

7) Homogenización: este proceso se desarrolla en las siguientes 24 horas para garantizar que todo el producto tenga la misma consistencia.

8) Adición de dulce de frutas: las frutas han sido procesadas anteriormente por la planta para poder obtener el dulce, en la empresa se destacan los siguientes sabores: lulo, fresa, mora y durazno. El proceso de preparación del dulce se da desde el pelado y alistamiento previo hasta la cocción de las frutas.

⁹ CARO CALDERÓN, David Álvaro. Efecto de la adición de transglutaminasa y carragenina en geles lácteos inducidos por renina. Tesis Maestría en Tecnología Avanzada. México: Instituto Politécnico Nacional. 2011. 100 p.

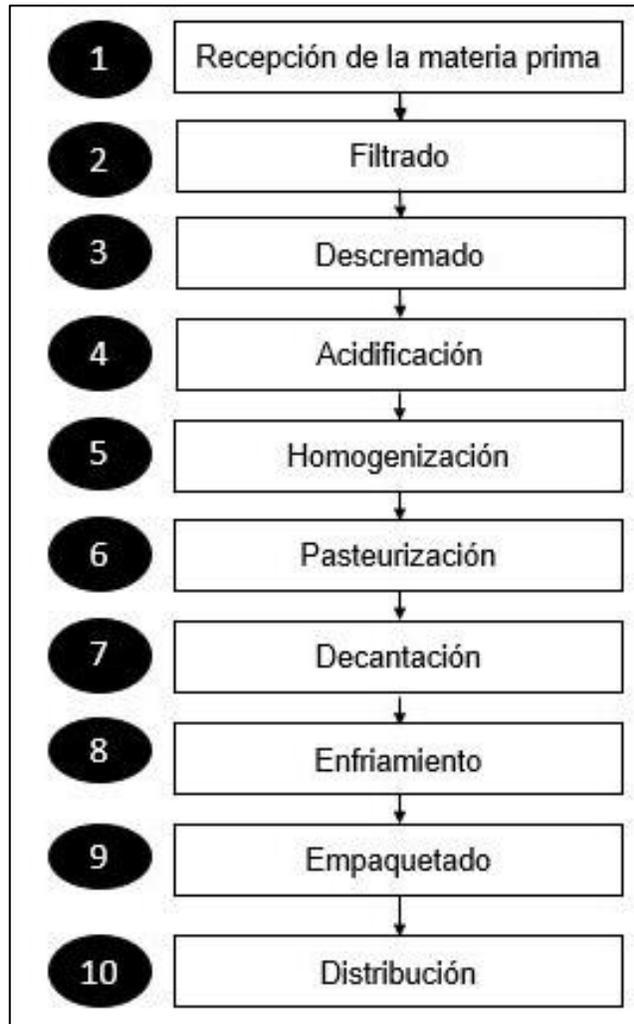
9) Envasado: se envasa el producto en un empaque plástico para garantizar su inocuidad y calidad.

10) Etiquetado: se debe colocar la etiqueta al producto final de acuerdo con el sabor, donde también se agrega información importante para el consumidor como: cantidad, fecha de fabricación, fecha de caducidad, lote de fabricación y tabla nutricional.

11) Distribución: al igual que con los quesos se comercializa en el punto de venta y se distribuye mediante un vehículo refrigerado.

1.2.2 Proceso de producción de mantequilla clarificada (Ghee). La mantequilla clarificada es obtenida principalmente de la leche y se caracteriza por no contar con sólidos grasos, esto contribuye a la reducción notablemente de enfermedades cardiovasculares en la población. A continuación, se presenta su proceso de producción.

Diagrama 3 Proceso producción mantequilla clarificada



Fuente: elaboración propia

1. Recepción de la materia prima: se recibe la leche por parte del proveedor en cantinas de acero inoxidable, que deben cumplir con los estándares de calidad (color, sabor, acidez, carga microbiológica, temperatura y pH) dos veces a la semana para su posterior transformación en mantequilla clarificada.
2. Filtrado: la leche recibida se filtra a través de un lienzo con el propósito de retirar todo tipo de impurezas no deseadas, que pueden llegar a la leche en el proceso de ordeño.
3. Descremado: este proceso de basa en obtener la crema de leche mediante el uso de la descremadora manual, que permite por medio de fuerza centrífuga la obtención del producto, este proceso se debe desarrollar a una temperatura superior a los 30 °C.

4. Acidificación: la crema de leche se deja durante 8 a 10 días en un lugar fresco a temperatura ambiente para que se fermente y desarrolle aromas y sabores característicos.
5. Homogenización: proceso desarrollado diariamente para homogenizar la fermentación y evitar el exceso de formación de gránulos grasos.
6. Pasteurización: es necesario pasteurizar la crema durante 30 min para garantizar la eliminación de todo tipo de microorganismos presentes. Este proceso se debe realizar a una temperatura superior a la usada en la pasteurización de la leche.
7. Decantación: este proceso se realiza para retirar todo tipo de sólidos grasos presentes en la mantequilla pasteurizada.
8. Enfriamiento: el producto se debe colocar en moldes dentro del cuarto frío hasta lograr su solidificación y poder ser empacado posteriormente.
9. Etiquetado: como el producto se encuentra en forma sólida, se empaca en una hoja de papel antigraso que cuenta con la etiqueta correspondiente.
10. Distribución: al igual que los otros productos es distribuido en las condiciones adecuadas y comercializado en el punto de venta de la empresa.

1.3 MARCO DE REFERENCIA

1.3.1 Leche. Es el producto íntegro y fresco de la ordeña de una o varias vacas, sanas, bien alimentadas y en reposo, exenta de calostro y que cumple con las características físicas y microbiológicas establecidas, tal como menciona el manual de composición y propiedades de la leche, FAO. Es uno de los alimentos más completos por su alto valor nutritivo¹⁰. Está compuesta principalmente por agua, grasa, proteínas, carbohidratos (lactosa), calcio, sal y minerales. Tiene un contenido aproximado de 93,1% agua, 4,9% lactosa, 0,9% proteínas, 0,3% grasas y 0,2% ácido láctico.

¹⁰ INFOLACTEA. Practical Action [en línea]. Lima, Perú. [Consultado: 04 de Noviembre de 2019] Disponible en: http://infolactea.com/wp-content/uploads/2016/01/301105_LECTURA_Revisión_de_Presaberes.pdf

1.3.2 Contaminación en la industria láctea. Las industrias lácteas producen una gran cantidad de aguas residuales con una carga orgánica considerable, la mayoría del agua potable usada en los diferentes procesos de producción se convierte finalmente en agua residual. El agua se evalúa con cinco indicadores principales: demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos, sólidos totales y pH. Cuando se presenta un alto índice de DBO₅ y DQO indica que hay una disminución del contenido de oxígeno, afectando directamente los ecosistemas presentes en la vida acuática. Por esta razón los vertimientos sin tratamiento de las industrias lácteas se convierten en un importante foco contaminante que además contiene residuos alcalinos usados en la desinfección de equipos¹¹.

Por otro lado, se encuentra el lacto suero que representa aproximadamente un 70% a 80% del volumen de la leche procesada, este se separa de la leche cuando se coagula, contiene proteínas con un valor nutritivo mayor al de la caseína. Al arrojarlo directamente al desagüe sobresaeta de proteínas y lactosa las vías de alcantarillado y cuerpos de agua, también transporta microorganismos que tienen la capacidad de cambiar las condiciones fisicoquímicas, produciendo cambios medioambientales significativos.

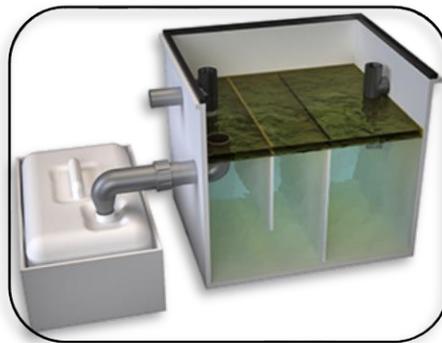
1.3.3 Tratamiento de aguas residuales. El tratamiento de aguas residuales tiene como propósito remover todo tipo de contaminantes presentes, es una combinación de procesos químicos, físicos y biológicos que se clasifican en cuatro grandes grupos:

1. Pretratamiento.
2. Tratamiento primario.
3. Tratamiento secundario.
4. Tratamiento terciario.

¹¹ HERRERA A., Oscar; CORPAS I., Eduardo. Reducción de la contaminación en agua residual industrial láctea utilizando microorganismos benéficos. En: Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial [en línea]. Manizales, Colombia: Universidad Católica de Manizales, junio, 2013, vol. 11, nro. 01, p 57. [Consultado: 10 de Noviembre de 2019]. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612013000100007.

1.3.3.1 Pretratamiento. El pretratamiento consiste en separar sólidos gruesos que pueden provocar taponamiento, algunas unidades de proceso usadas con este propósito son cribas, tamices, rejillas, desarenadores, trampas de grasas, entre otros. La trampa de grasas tiene como función recoger o separar grasas y aceites presentes en el agua para posteriormente ser tratados por otro método. La trampa de grasas consta de tres compartimientos, donde el agua canalizada ingresa al primero de ellos y se dirige al segundo por la parte inferior para eliminar el material menos denso que se encuentra en la superficie, el segundo compartimiento se encarga de eliminar el material más denso que se precipita en el fondo para luego direccionarse al tercer compartimiento y salir por la parte superior de este. El funcionamiento se encuentra ilustrado en la Figura 14.

Figura 12. Modelo de trampa de grasas



Fuente: ECODENA. [sitio web].
Guatemala. Disponible en:
www.ecodena.com.gt

1.3.3.2 Tratamiento primario. Es un proceso de remoción de sólidos suspendidos, aceites, grasas, metales y coloides por medio de procesos fisicoquímicos como por ejemplo neutralización, coagulación, floculación, sedimentación, oxidación y flotación.

- Oxidación: proceso fisicoquímico basado en el cambio de la estructura química de los contaminantes mediante el uso de un oxidante como por ejemplo el peróxido de hidrogeno que cuenta con el radical hidroxilo (OH)⁻.
- Sedimentación: usado para remover los sólidos suspendidos en el agua, este proceso se basa en la diferencia de peso de las partículas sólidas y líquidas presentes y se puede utilizar en varias partes del proceso de tratamiento, por ejemplo: sedimentación discreta, sedimentación con floculación y sedimentación por zonas. La sedimentación discreta se desarrolla en los desarenadores fundamentado en que las propiedades físicas no cambian. La sedimentación con floculación genera cambios en la densidad y velocidad de precipitación, un

ejemplo son los clarificadores primarios. Por último, la sedimentación por zonas forma una masa total que se diferencia de la fase líquida, un ejemplo de esta son los lodos activados y flóculos de alúmina¹².

- Neutralización: Es un tratamiento que se basa en la homogenización: que consiste en mezclar las corrientes que pueden ser ácidas o alcalinas y se utiliza frecuentemente para reducir las variaciones de DBO del efluente, y para controlar el pH que consiste en adicionar sustancias ácidas o básicas para neutralizar la corriente
- Coagulación: Es el proceso donde los componentes que se encuentran en suspensión o dilución son desestabilizados gracias a que se logra superar las fuerzas que los mantienen estables. Para lograr esto se deben agregar coagulantes y coadyuvantes que se clasifican como orgánicos e inorgánicos.¹³Algunos de ellos se describen a continuación:
 - ✓ Inorgánicos: se clasifican como sales simples y sales pre hidrolizadas.
 - Sales de aluminio: dentro de las sales simples se encuentran sulfato de alúmina, aluminato sódico y cloruro de aluminio. Por otro lado, en las sales polimerizadas (pre hidrolizadas) está el Cloruro de polialuminio, sulfato de polialuminio.
 - Sales de hierro: se encuentran sulfato ferroso, sulfato férrico, cloruro férrico, sulfato poli férrico, entre otras.
 - ✓ Orgánicos: estos coagulantes son característicos por tener un gran peso molecular, estos pueden ser de origen natural y sintético.

Es importante resaltar que los coagulantes más utilizados para el tratamiento de aguas residuales son los inorgánicos y más específicamente las sales presentadas anteriormente¹⁴. Para poder tener una gran cantidad de flóculos formados y obtener los resultados esperados las sales polimerizadas presentan ventaja sobre las simples. Por último, son los agentes auxiliares de la coagulación que actúan sobre los elementos que causan interrupción y favorecen la unión de flóculos haciéndolos más pesados y con esto favorecen la sedimentación.¹⁵

¹²RAMALHO, Rubens Sette. Tratamiento de aguas residuales [en línea]. España: Reverté S.A. 1993, p. 91. [Consultado el 10 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://books.google.com.co/books?id=30etGjzPXyWC&lpg=PP1&dq=tratamiento%20de%20aguas%20residuales&hl=es&pg=PR4#v=onepage&q=tratamiento%20de%20aguas%20residuales&f=true>

¹³ HERNÁNDEZ MUÑOZ, Aurelio. Capítulo 06: Depuración de aguas residuales. España: Paraninfo. 1990. p. 369 – p. 394.

¹⁴ GILLBERG, L.; EGER, L. y JEPSEN, S. E.. The effect of five coagulants on the concentration and distribution of small particles in sewage water: Water Wastewater Treat. Alemania: Springer. Berlín. 4 ed. p. 243 – p. 256.

¹⁵ RAMALHO, Rubens Sette. Op. cit., p. 95.

- a. Floculación: este proceso se encuentra intrínsecamente relacionado con la coagulación, al agitar las partículas, cambia la tensión superficial adquiriendo densidad, favoreciendo así la sedimentación. Un factor importante en este proceso es la velocidad de agitación, debe ser lenta para que permita la formación de flóculos de manera uniforme.

1.3.3.3 Tratamiento Secundario. Este tipo de tratamiento tiene como función principal eliminar los contaminantes orgánicos. Dentro de estos encontramos los tratamientos biológicos, anaerobios y aerobios.

- I. Tratamiento biológico: consiste en degradar el material para que se disuelva y pueda ser sedimentado fácilmente en flóculos biológicos, la mayoría de estos son macronutrientes como por ejemplo el nitrógeno y fosforo¹⁶. Este proceso convierte la biomasa en dióxido de carbono y agua.
- II. Lodos activados: es un proceso aerobio, utilizado normalmente para el tratamiento de aguas residuales municipales e industriales. Es un proceso que garantiza la remoción de materia prima en gran proporción. El agua residual entra directamente al reactor donde se encuentra el licor mezclado compuesto por bacterias en suspensión. Posteriormente el licor mezclado con el agua residual ingresa a un tanque de sedimentación secundaria donde se separa del agua tratada.

Tal como menciona Esperanza Ramírez en capítulo III titulado Fundamentos del proceso de lodos activados: “el agua tratada sale por parte superior del tanque y el cultivo de microorganismos y demás productos se degradan en forma de flóculos. Una parte de esta es enviada al tanque de aeración y el restante sale del sistema en forma de lodo residual”.¹⁷

- III. Tratamientos anaerobios: Estos procesos se desarrollan en ausencia de aire y logran la descomposición de la materia orgánica por medio de reactores totalmente cerrados produciendo dióxido de carbono y metano.

1.3.3.4 Tratamiento terciario: Es un tratamiento usado para eliminar los contaminantes que todavía están presentes en el agua residual y que no fueron retirados previamente por algún tratamiento usado; al implementarlos se garantiza la calidad del agua vertida.

¹⁶ LÓPEZ VÁZQUEZ, Carlos M, et al. Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño. Londres: IWA Publishing, 2017. p. 44. ISBN: 978-1780409139.

¹⁷ RAMÍREZ CAMPEROS, Esperanza. Capítulo II: Fundamentos del proceso de lodos activados. p. 60.

- I. Filtración: haciendo uso de un medio poroso se retiran las partículas que se encuentran suspendidas en el agua tratada; estas partículas también pueden ser coloidales. Como resultado se obtiene una corriente permeada (depurada).
- II. Intercambio iónico: en este proceso los iones se encuentran unidos a grupos funcionales en la superficie del sólido y se intercambian por iones de una superficie diferente en solución por medio de fuerzas electrostáticas. Con este tipo de tratamiento se puede mejorar la dureza del efluente. Existen dos tipos de intercambio iónico, el intercambio catiónico e intercambio aniónico. En el intercambio catiónico es común utilizar metales y amonio porque contienen iones positivos. El intercambio aniónico consiste en desplazar un ion negativo por otro de su misma carga¹⁸.
- III. Osmosis inversa: el agua es forzada a pasar por una membrana que es permeable al disolvente e impermeable al soluto. En este caso el agua asciende hasta que alcanza el equilibrio. El autor Ramalho en su libro titulado “Tratamiento de aguas residuales” la define como el paso espontaneo de un disolvente desde una solución diluida hasta otra más concentrada a través de la membrana.¹⁹

1.4 PARÁMETROS EVALUADOS POR LA NORMA PARA LA INDUSTRIA LÁCTEA

1.4.1 DBO (Demanda bioquímica de oxígeno). Se define como la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica y iones inorgánicos presentes en el agua residual bajo condiciones de tiempo y temperatura²⁰.

1.4.2 DQO (Demanda química de oxígeno). Es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar la materia orgánica en una solución acida de permanganato o dicromato de potasio²¹.

1.4.3 SDT (Sólidos disueltos totales). Se encuentra clasificado como un contaminante secundario, es la suma de los minerales, metales y sales disueltas en el agua. Se espera que este valor no supere 150 mg/L para las aguas de alcantarillado de las empresas productoras de lácteos. Este contaminante no puede ser removido por un filtro tradicional sino uno con poro menor a 2 micrones²².

¹⁸ ROMERO, Op. cit., p. 80.

¹⁹ RAMALHO, Op. cit., p. 110.

²⁰ ACOSTA ECHEVERRY, Juan. Anexo IX. Aguas residuales y tratamiento de efluentes cloacales. [en línea]. Bogotá. p. 2. [Consultado: 10 de noviembre de 2019] Disponible en https://www.academia.edu/5104248/Anexo_IX._Aguas_Residuaes_y_Tratamiento_de_Efluentes_Cloacale.

²¹Ibid., p. 6.

²² SIGLER, Adam y BAUDER Jim. Alcalinidad, pH y solidos disueltos totales [en línea]. Estados Unidos: 2012. [Consultado: 10 de noviembre de 2019]. Disponible en

1.4.4 SSED (Sólidos sedimentables). Se define como la cantidad de sólidos que se sedimentan a largo de un tiempo. Se miden en mg/L. Una de las metodologías implementada es por medio del cono de Imhoff. Para cada tipo de industria Colombiana los parámetros permitidos, se encuentran en la Resolución 631 de 2015.

1.5 MARCO LEGAL

Cuando se trata de aguas residuales el principal objetivo es disminuir la carga contaminante de manera drástica para que no afecte a los cuerpos de agua y habitantes en general. Para esto, es necesario establecer a nivel legal varias normas, decretos y resoluciones que permitan tener control en los desagües generados, la entidad colombiana encargada de esto es el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

1.5.1 Decreto 3930 de 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”²³. Este decreto clasifica las aguas y sus diferentes usos, habla sobre las restricciones de los vertimientos y establece los parámetros que afectan la calidad del agua.

1.5.2 Resolución 631 de 2015. “Por lo cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones”²⁴. En el Artículo 12 específicamente se muestran los parámetros para la industria productora de lácteos, los cuales se deben tener en cuenta en la caracterización y son presentadas en la Tabla 1.

http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:qEYZKwb_fpkJ:region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS%25202012-11-15-SP.pdf+%&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=co

²³ Colombia. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO. Decreto 3930. (25, octubre, 2010). Usos del agua y residuos líquidos. 29 p. [Consultado: 10 de noviembre de 2020]. Disponible en: http://www.corpamag.gov.co/archivos/normatividad/Decreto3930_20101025.pdf

²⁴ Colombia. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO. Resolución 0631. (17, marzo, 2015). Límites máximo permisibles en los vertimientos puntuales. 62 p. [Consultado: 10 de noviembre de 2020]. Disponible en: <http://www.aguasdebuga.net/intranet/sites/default/files/Resoluci.n%200631%20de%202015-Calidad%20vertimientos.pdf>.

Tabla 1 Parámetros y valores máximos permisibles en los vertimientos de industrias lácteas

Parámetro	Unidades	Valor
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00
DQO	mg/L O ₂	450,00
DBO ₅	mg/L O ₂	250,00
SST	mg/ L	150,00
SSED	mg/ L	2,00
Grasas y aceites	mg/ L	20,00
Cloruros (Cl)	mg/ L	500,00
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/ L	500,00

Fuente: MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO. Resolución 0631 de 2015. [sitio web]. Bogotá: MINAMBIENTE. Disponible en: www.minambiente.gov.co

1.5.3 Decreto 1076 de 2015. “Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario Del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible” se encuentra la reglamentación básica para los vertimientos de agua residual.

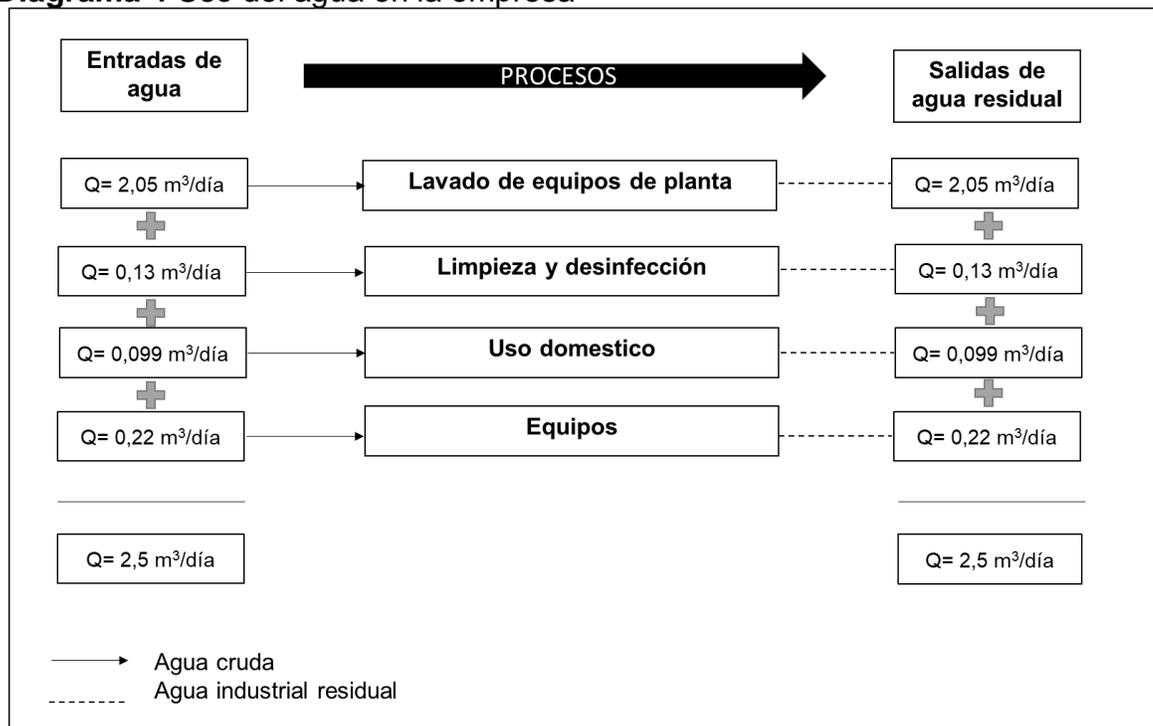
2. DIAGNÓSTICO

Dado que actualmente la industria láctea es una de las mayores contribuyentes a la contaminación ambiental se realizó una investigación de las fuentes generadoras de agua residual de la empresa Food & Drinks Alimentos SAS, también de los parámetros críticos respecto a la norma y la caracterización del agua a la salida. Conocer estos aspectos permite tener un panorama general de la problemática presentada actualmente y con esto definir la mejor propuesta para el sistema de tratamiento planteado al finalizar la investigación.

2.1 FUENTES GENERADORAS DEL AGUA RESIDUAL

La planta tiene producción cuatro (4) días a la semana y otros dos (2) días son destinados a la limpieza y desinfección de las instalaciones y equipos. El consumo de agua promedio de Food & Drinks Alimentos SAS es de 50 m³ mensuales, generando así un caudal aproximado de 2,5 m³ diarios en cada uno de los procesos desarrollados en la planta. A continuación, se presenta el diagrama de flujo para el uso del agua en la empresa Food & Drinks Alimentos SAS.

Diagrama 4 Uso del agua en la empresa



Fuente: elaboración Propia

- Proceso de limpieza: desarrollado al finalizar diariamente la jornada de producción, se realiza mediante el uso de detergente neutro en las zonas donde

no hay exceso de grasa. Además, se utiliza desengrasante alcalino para las zonas que presentan una alta presencia de grasa como la tina de coagulación, marmita, moldes y pisos.

- **Proceso de desinfección y esterilización:** este proceso se desarrolla semanalmente por medio de aspersión e inmersión utilizando hipoclorito de sodio, ácido peracético y amina cuaternaria que ayudan a la eliminación de patógenos de todo tipo. El proceso efectuado con cada uno de los equipos de la planta es descrito en el apartado de área de producción.
- **Consumo del local:** el establecimiento hace uso del agua para servicios de limpieza y lavado de utensilios de cocina. Esta agua no es caracterizada porque sale directamente al desagüe del alcantarillado que se encuentra en parte externa de la planta.
- **Aseo administrativo:** para el aseo de las zonas comunes tales como oficinas, cocina, salón de reuniones y baños se utiliza agua de la misma fuente. Sin embargo, no se consideran una fuente generadora para tomarla en cuenta en el balance del agua residual generada.

2.2 BALANCE HÍDRICO

Este balance permite establecer exactamente el consumo de agua en el proceso de producción y demás procesos que generen algún tipo de agua residual. Con esto se determina la cantidad de agua vertida al alcantarillado de Cota, la empresa genera aguas de tipo doméstico e industrial que se clasificarán a lo largo de este capítulo.

2.2.1 Fuente de suministro de agua. El agua utilizada para todas las actividades de la empresa proviene del Municipio de Cota, de este único contador se surten los ocho locales del complejo empresarial; sin embargo, el mayor gasto de agua lo genera la quesería. En el momento se tiene estimado un consumo total de 500 L por semana para todos los establecimientos que operan en el complejo empresarial. La edificación cuenta con dos tanques con capacidad de 500 L cada uno; los demás establecimientos que se encuentran solo utilizan el agua para servicios en zonas administrativas.

2.2.2 Red de aguas industriales generadas por la empresa. El área administrativa y el local posee su propio sistema de descarga directo a la red de alcantarillado suministrado por el Municipio de Cota, siendo así el proceso productivo totalmente independiente. El área de producción tiene tres canaletas ubicadas a lo largo de la planta: la primera está ubicada frente al tanque de almacenamiento, la segunda frente a la tina de coagulación y la última frente a la marmita. Enseguida se expone el consumo del agua en general.

- **Caudal hídrico total.** La planta de producción funciona en este complejo desde el segundo semestre del año 2019. Cuenta con un consumo mensual aproximado de 50 m³. La planta no cuenta con un tratamiento de aguas residuales y la estimación del caudal es aproximado. Para realizar el dimensionamiento de equipos se tiene en cuenta el máximo consumo registrado hasta el momento. Es importante resaltar que con esto se garantiza que más adelante no se deba realizar un ajuste al sistema para que pueda adaptarse a las variaciones de la demanda y oferta.
- **Caldera.** La quesería cuenta con una caldera que funciona con gas natural y su consumo de agua es de 0,22 m³ al día.
- **Uso doméstico.** Para el cálculo de consumo de aguas domésticas se utilizan factores de consumo per-cápita determinados por el Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico encontrados en el Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico; para esto se tiene en cuenta el total de las personas y las instalaciones.²⁵. Se debe destacar que el personal fijo de la empresa son 4 personas actualmente, este valor incluye el personal administrativo y de operación, junto a ellos también laboran transitoriamente 3 personas. El personal tiene a su disposición dos baños situados en el segundo piso, el inodoro de marca Corona y de referencia Manantial tiene un consumo de agua promedio de 4,8 L por descarga. La empresa cuenta con grifo para el baño y para el local de marca Corona con un flujo de 3,5 L por minuto.

Al ingresar a la planta cada persona debe realizar un lavado de manos y de calzado, el lavamanos tiene un flujo de 3 L por minuto y el espacio destinado para la limpieza de calzado tiene una capacidad de 10 L, esta agua es descargada todos los días al terminar la jornada laboral. Para establecer el consumo de agua doméstica se tienen como referencia los siguientes datos: 6 lavados de manos, 3 entradas al baño para el personal fijo y para el personal transitorio: 3 lavados de manos y 2 entradas al baño. Lo anterior se describe la Tabla 2 y en la Tabla 3.

²⁵ Colombia. VICEMINISTERIO DE AGUA Y SANEAMIENTO BÁSICO Y UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. (2010). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico: Título B. 459 p.

Tabla 2 Consumo de agua diaria del personal fijo

Uso	Flujo de agua determinada (m ³ /s)	Tiempo de uso determinado (s)	Frecuencia de uso diario por persona (día)	Total de consumo (m ³ */día*persona)
Inodoro	0,0048	-	3	0,0144
Lavamanos	5,833x10 ⁻⁵	60	6	0,00035
Total (m ³ */día*persona)				0,015

Fuente: elaboración propia

Tabla 3 Consumo de agua diario del personal transitorio

Uso	Flujo de agua determinada (m ³ /s)	Tiempo de uso determinado (s)	Frecuencia de uso diario por persona (día)	Total de consumo (m ³ */día*persona)
Inodoro	0,0048	-	2	0,0096
Lavamanos	5,833x10 ⁻⁵	60	3	0,00018
Total (m ³ */día*persona)				0,0098

Fuente: elaboración propia

Tabla 4 Consumo de agua diario del área de entrada a la planta

Uso	Flujo de agua determinada (m ³ /s)	Tiempo de uso determinado (s)	Frecuencia de uso diario por persona (día)	Total de consumo (m ³ */día*persona)
Lavado de botas	0,01	-	1	0,01
Lavamanos	0,00005	60	3	0,00015
Total (m ³ */día*persona)				0,0102

Fuente: elaboración propia

Determinado cada uno de los consumos de agua del área administrativa se calcula el consumo total teniendo en cuenta el personal fijo, personal transitorio y consumo de agua al ingreso a la planta. Para determinar el consumo de agua tanto para el personal fijo y transitorio se emplean las ecuaciones 1 y 2 descritas a continuación.

Ecuación 1 Determinación del consumo de agua para el personal fijo

$$Q_{P,F} = N_{P,F} * C_{P,P}$$

Donde:

$Q_{P.F}$ Caudal del personal fijo

$N_{P.F}$ Número de personas fijas en la empresa

$C_{P.P}$ Consumo promedio de agua por persona

$$Q_{P.F}=0,06 \text{ m}^3/\text{día}$$

Ecuación 2 Determinación del consumo de agua para el personal transitorio

$$Q_{P.T} = N_{P.T} * C_{P.P.T}$$

Donde:

$Q_{P.T}$ Caudal del personal transitorio

$N_{P.T}$ Número de personas transitorias en la empresa

$C_{P.P.T}$ Consumo promedio de agua por persona transitorias

$$Q_{P.F}=0,03 \text{ m}^3/\text{día}$$

Finalmente se establece un consumo de agua de 0,059 m³/día para el personal fijo, de 0,0294 m³/día para el personal transitorio y de 0,01 m³/día para el lavado de calzado. Por último, el lavado de manos al ingresar a planta tiene un consumo de agua de 0,0006 m³/día. Para determinar el valor total de consumo de todo lo que comprende el área administrativa se usa la ecuación 3 descrita a continuación²⁶.

Ecuación 3 Determinación caudal total de agua domestica

$$Q_{A.R.C.D} = Q_{P.F} + Q_{P.T} + Q_{E.P}$$

Donde:

$Q_{A.R.C.D}$ Caudal de agua total de uso domestico

$Q_{P.F}$ Caudal del personal fijo

$Q_{P.T}$ Caudal del personal transitorio

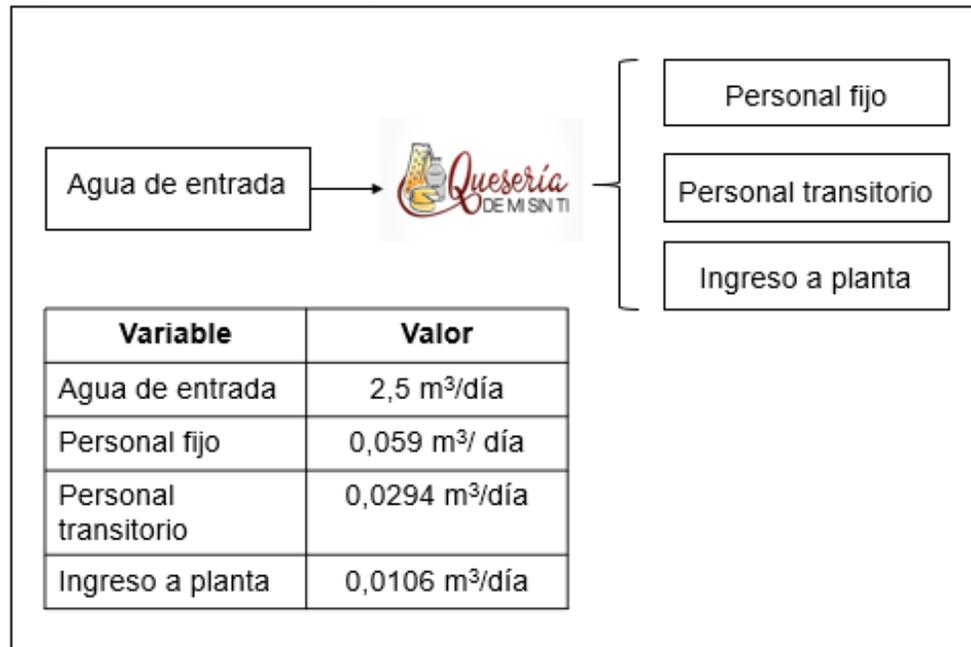
$Q_{E.P}$ Caudal determinado en el ingreso a la planta

$$Q_{A.R.C.D} = (0,059 + 0,0294 + 0,01 + 0,0006) \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{A.R.C.D} = 0,099 \text{ m}^3/\text{día}$$

²⁶ BULLA TRUJILLO, Laura Marcela y TORRES NOVA, Elsa Natali. Desarrollo de una propuesta para un sistema de tratamiento del agua residual de la empresa de lácteos lbel. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bogotá: Fundación Universidad América. Facultad de Ingenierías. 2019. p. 64.

Diagrama 5 Balance del agua en el proceso administrativo



Fuente: elaboración propia

- Área de producción.** Cada una de las actividades que se llevan a cabo diariamente dentro de la planta de producción tienen como principal insumo el agua, que es usada para los procesos de desinfección, limpieza, refrigeración y esterilización de equipos. Cualquier proceso de lavado se lleva a cabo con una hidro lavadora (Karcher) que cuenta con un caudal de 0,36 m³/h. La medición del caudal del agua residual a la entrada de la trampa de grasas se realizó por medio de la obtención de un volumen conocido durante un tiempo. Sin embargo, se resalta que los lunes y sábado no hay producción de ningún producto, pero se realizan actividades de limpieza y desinfección. En la tabla 5 se presenta el listado de cada uno de los equipos que se utilizan en el área de producción que requieren de agua cruda para su limpieza y desinfección.

Tabla 5 Equipos y utensilios que requieren agua para su proceso

Equipo	Capacidad (m ³)	Tiempo uso para su limpieza (s)
Tanque de almacenamiento de la leche	1	600
Marmita de doble camisa	0,6	480
Descremadora	0,12	300

Tabla 5 (Continuación)

Equipo	Capacidad (m ³)	Tiempo uso para su limpieza (s)
Tina cuajado	0,5	480
Cuarto frio	NA	600
Cuarto de equipos	2,5	300
Batidora	NA	240
Analizador leche	NA	120
PH metro	NA	120
Equipos de mesa*	NA	600
Cantinas	0,05	600
Mesa de escurrido	NA	240

Equipos de mesa*= Balanzas, grameras, utensilios de cocina y moldes.

Fuente: elaboración Propia

1. Tanque de almacenamiento de la leche: para iniciar el proceso de limpieza es necesario retirar toda la grasa a presión, posteriormente se realiza fricción manual en paredes, piso, tapa y demás accesorios con diferentes detergentes. Por último, se realiza enjuague con la hidro lavadora. Este proceso toma aproximadamente 10 minutos para lo cual se estima un consumo total diario de 0,28 m³.
2. Marmita de doble camisa: capacidad de 600 L que se usa para fabricar Yogurt y otros productos. La marmita se desinfecta de forma manual todos los días después de terminar la jornada de producción y dos días a la semana de manera rigurosa, para su limpieza se utiliza detergente liquido neutro a una concentración de 5% y para su desinfección se utiliza hipoclorito al 15% o Inoquax de 400 ppm. El consumo de agua diario de este equipo es de 0,25 m³.
3. Descremadora: tiene una capacidad de 120 L y es lavada después de realizar el proceso de descremado de la leche para iniciar la producción de mantequilla, su consumo es de 0,20 m³ cada dos días.
4. Tina de cuajado: una sola producción diaria de 500 L de leche, al iniciar el proceso se hace un enjuague con agua únicamente para poder retirar todo tipo

de impurezas. Al final del proceso de producción se realiza su lavado con detergente neutro y para su desinfección se utiliza hipoclorito o inoquax. El consumo de agua cruda destinada para este proceso es de 0,40 m³.

5. Cuarto frio: este equipo únicamente se desinfecta una vez a la semana, se hace el lavado de paneles, pisos y canastas de almacenamiento que se encuentran libres, su consumo semanal es de 0,30 m³.
6. Cuarto de equipos: el volumen que ocupa el cuarto es de 2,5 m³ y se limpia una vez por semana. En este proceso se limpian paredes y pisos, el agua se lleva a una canaleta ubicada en la mitad de la planta. Consume un total de 0,20 m³ de agua potable semanal, lo que corresponde a un consumo de 0,05 m³/día.
7. Batidora: este equipo industrial se utiliza para el proceso de producción de quesos, permite que se enfríe de una manera rápida la leche y ayuda a incorporar aire al producto final, para su limpieza y desinfección se utilizan 0,13 m³/día.
8. Analizador de leche: este equipo es introducido a la tina de cuajado cuando hace el proceso de pasteurización para poder los determinar los parámetros fisicoquímicos del producto final, para su desinfección se utilizan 0,05 m³/día.
9. pH-metro: se usa durante todo el proceso de producción de los diferentes productos. Para poder controlar el pH del producto final, la empresa cuenta con 2 pH-metros, en su limpieza y desinfección se utilizan 0,05 m³/día para cada uno, lo que corresponde a 0,1 m³ para el total de estos equipos.
10. Equipos de mesa: dentro de este grupo de equipos se encuentran moldes, baldes, tablas, cucharas, cuchillos y ollas. Cada uno de estos equipos se lavan después de la jornada laboral, en su limpieza y desinfección se usan 0,20 m³ de agua.
11. Cantinas: la empresa cuenta con 12 cantinas que son lavadas diariamente luego de hacer la recepción de la materia prima. Cada cantina es lavada de forma individual con detergente neutro, y para retirar todo tipo de grasa y desinfectarlas se utiliza inoquax únicamente una vez a la semana, cada una de ellas se debe lavar dos veces lo que da un consumo de 0,020 m³ por cantina, la sumatoria del consumo de las 12 cantinas es de 0,24 m³.
12. Mesa de escurrido: la empresa posee dos mesas de escurrido, que son utilizadas para ubicar el queso que es retirado de la tina de cuajado, allí termina de eliminar todo el suero presente. Cada mesa es lavada de manera manual y a presión con la hidro lavadora, el consumo diario es de 0,20 m³ para las dos unidades.

Mediante el cálculo del caudal para cada uno de los equipos y utensilios descritos en la tabla 5 se puede determinar la cantidad total de agua utilizada para cada uno de los procesos de producción tal como se muestra en la ecuación 4.

Ecuación 4 Caudal total de agua residual generada en los procesos de producción

$$Q_{A.R.I} = \sum Q_{E.P}$$

Donde:

$Q_{A.R.I}$ Caudal total de agua residual a nivel industrial

$Q_{E.P}$ Caudal de cada equipo de producción

$$Q_{A.R.I} = 2,05 \text{ m}^3/\text{día}$$

Diagrama 6 Usos del agua el proceso de limpieza de equipos y utensilios



Fuente: elaboración propia

2.2.3 Resumen del balance hídrico total de la empresa. Para poder realizar el balance hídrico general del agua utilizada para cada uno de los procesos, se debe tener en cuenta la ecuación dada por la ley de la conservación de la materia descrita en la ecuación 5.

Ecuación 5 Ley de la conservación de la materia

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

Es necesario realizar el estudio de las entradas y salidas de agua de la empresa, las corrientes son las presentadas a continuación.

Q_T Caudal total de la planta de producción

$Q_{A.R.C.D}$ Caudal total de agua residual de carácter domestico

$Q_{A.R.I}$ Caudal total del agua residual de la planta

Q_{CAL} Caudal total de agua requerida por la caldera

$Q_{G.A}$ Caudal de gastos adicionales

$$Q_T = Q_{A.R.C.D} + Q_{A.R.I} + Q_{CAL} + Q_{G.A}$$

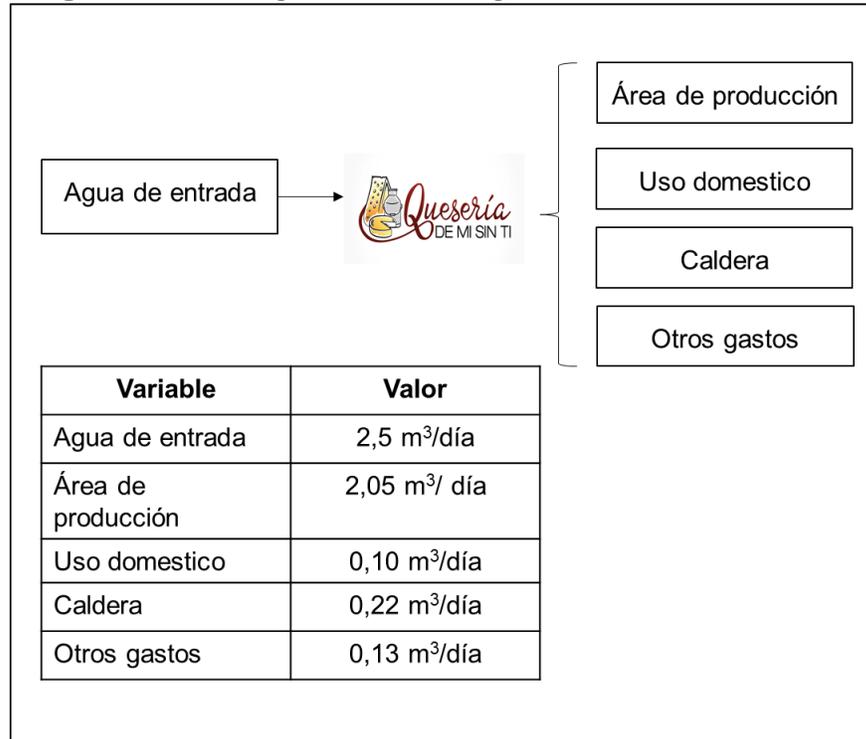
Reemplazando cada uno de los valores descritos se obtiene lo siguiente:

$$2,5 \text{ m}^3/\text{día} = 0,10 \text{ m}^3/\text{día} + 2,05 \text{ m}^3/\text{ día} + 0,22 \text{ m}^3/\text{ día} + Q_{G.A}$$

$$Q_{G.A} = 0,13 \text{ m}^3/\text{día}$$

De acuerdo con el cálculo presentado del consumo de gastos adicionales de agua se estimó en $0,13 \text{ m}^3/\text{ diarios}$, este valor corresponde a los gastos del agua utilizados en la tina de cuajado para poder enfriarla, limpieza de pisos y paredes al finalizar las horas de producción diarias. También se debe destacar que el uso de agua doméstica se determinó de forma teórica con la información dada por la empresa, pero si existe durante el día alguna visita adicional o capacitación a personal externo sobre fabricación de quesos, este valor cambia.

Diagrama 7 Usos generales del agua



Fuente: elaboración propia

2.3 DISPOSICIÓN ACTUAL DEL VERTIMIENTO

Actualmente la empresa no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales, entendiéndose así que el volumen de agua generada en cada uno de los procesos industriales de la empresa se vierte directamente al sistema de alcantarillado del municipio de Cota. Esto supera la carga de contaminante vertida que permite la ley. La empresa consume 2,5 m³/día de agua que ingresa a través del sistema de abastecimiento del complejo industrial que se encuentra conectado a los tanques de agua. El agua residual contiene ácido peracético, soda cáustica, hipoclorito de sodio, inoquax y detergente líquido neutro que son utilizados en cada uno de los procesos de limpieza y desinfección de los equipos, paredes, pisos y demás procesos. El hipoclorito de sodio e inoquax son utilizados semanalmente de forma alterna para realizar el proceso de limpieza rigurosa, que se realiza los lunes. El detergente líquido es utilizado a diario para realizar la limpieza general al finalizar la jornada de producción, la soda cáustica es utilizada para remover la grasa que se encuentra en el tanque de almacenamiento, moldes, tina de cuajado, mesa de escurrido, pisos y paredes. Dado que el proceso de producción tarda 8 horas diarias, cada uno de los implementos utilizados se encuentran en constante lavado lo que permite identificar los picos de consumo de agua.

2.4 REVISIÓN NORMATIVA LEGAL APLICABLE

Es importante realizar el análisis de los parámetros fisicoquímicos que se encuentran establecidos por la norma colombiana respecto al desarrollo de descargas de agua en empresas productoras de productos lácteos. Al tener claro cada uno de estos parámetros se podrá garantizar que cada una de las alternativas propuestas puedan ayudar a mitigar esta problemática.

2.4.1 Parámetros de evaluación para la industria láctea. Cada uno de los parámetros que se deben evaluar se encuentran registrados en la Resolución 0631 de 2015 en el artículo 12 titulado “Parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas-ARnD a cuerpos de aguas superficiales de actividades asociadas con la elaboración de productos alimenticios y bebidas”²⁷ dentro del apartado nombrado “Elaboración de productos lácteos”. Los parámetros para evaluar son: pH, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos sedimentables (SSED), grasas y aceites, cloruros y sulfatos, todos estos parámetros tienen un límite máximo permisible, que se ha presentado en la tabla 1. Por otro lado, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca se encarga de otorgar el permiso de vertimientos a personas jurídicas o naturales, que en un su proceso generen vertimientos a las aguas superficiales, marinas o al suelo asociado a un acuífero.

2.4.2 Descripción del muestreo. Para realizar la caracterización de los parámetros expuestos en el numeral anterior, se realizó el muestreo de forma compuesta, lo que indica que solo se tuvo en cuenta un punto en diferentes momentos teniendo en cuenta la ecuación 6. La muestra se tomó del ducto situado a la salida de la planta, esta corriente de agua residual contenía toda clase de residuos provenientes de la planta. El muestreo se llevó a cabo cada quince minutos durante 4 horas usando un recipiente de 1 L de volumen, tomando alícuotas para completar la muestra compuesta que era almacenada en un recipiente rotulado para cada parámetro.

De acuerdo con el instructivo de toma de muestras de aguas residuales emitido por el IDEAM, se tuvo en cuenta cada uno de los requerimientos para la conservación y almacenamiento de la muestra y así mismo el máximo de almacenamiento recomendado para cada parámetro. Es importante resaltar que cada una de las muestras se mantuvo bajo custodia para garantizar su calidad.

²⁷ Colombia. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO. Resolución 0631. (17, marzo, 2015). Límites máximo permisibles en los vertimientos puntuales. 62 p. [Consultado: 10 de noviembre de 2020]. Disponible en: <http://www.aguasdebuga.net/intranet/sites/default/files/Resoluci.n%200631%20de%202015-Calidad%20vertimientos.pdf> .

Ecuación 6 Volumen de la alícuota o porción de la muestra

$$V_i = \frac{V * Q_j}{n * Q_p}$$

Donde:

V_i Volumen de cada alícuota o porción de muestra

V Volumen total a componer

Q_j Caudal instantáneo de cada muestra

Q_p Caudal promedio durante el muestreo

n Numero de muestras tomadas

Las muestras recolectadas fueron almacenadas en recipientes de plástico y vidrio que fueron suministrados por el Laboratorio QUIMICONTROL LTDA con cada uno de los reactivos necesarios para poder realizar cada estudio. Los parámetros evaluados fueron pH, SST, DBO, DQO₅, sólidos totales, grasas y aceites. Los datos de cada uno de los recipientes se encuentran resumidos en la tabla 6.

Tabla 6 Muestra del agua residual enviada a laboratorio

Parámetro	Tipo de recipiente	Volumen de la muestra (l)	Fecha de la muestra	Tipo de muestra
pH	Plástico	1	27-09-2019	Compuesta
SST	Plástico	1	27-09-2019	Compuesta
Sólidos totales	Plástico	1	27-09-2019	Compuesta
DBO ₅	Vidrio	0,5	27-09-2019	Compuesta
DQO	Vidrio	0,25	27-09-2019	Compuesta
Grasas y aceites	Vidrio	1	27-09-2019	Compuesta

Fuente elaboración propia con base en LABORATORIO QUIMICONTROL LTDA

2.4.3 Caracterización del agua entregada al laboratorio QUIMICONTROL LTDA. En la caracterización del agua se emplean diferentes técnicas en el Laboratorio QUIMICONTROL LTDA, las técnicas para cada parámetro las cuales se especifican a lo largo de este capítulo.

- pH: la medición de este parámetro se realizó por medio de electrometría en el laboratorio a 25 °C. Esta técnica se basa en el registro potencial de los iones de hidrógeno presentes por medio del uso de un electrodo de vidrio y un electrodo de referencia. Teniendo en cuenta que la fuerza electromotriz (FEM) presente varía de acuerdo con el pH, se puede analizar el comportamiento por medio de gráficas que a la final darán el resultado interpolando los valores obtenidos.²⁸
- SST y sólidos totales: estos dos parámetros se analizan por medio de

²⁸ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. pH en agua por electrometría. TP0080 [en línea]. 3 ed. Colombia. 2007. 7 p. [Consultado: 20 de Noviembre de 2019] Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/pH+en+agua+por+Electrometr%C3%ADa.pdf/ec53b64e-91eb-44c1-befe-41fcfccdff1>

Gravimetría Secado que se caracteriza por la retención de las partículas sólidas en un filtro de fibra de vidrio. El residuo obtenido es llevado a secado a una temperatura que oscila entre 103-105°C. Los sólidos suspendidos totales se representan por el incremento del peso en el filtro.²⁹

- DQO: método volumétrico de reflujo abierto el cual consiste en someter la muestra a reflujo en presencia de dicromato de potasio que ejerce un efecto oxidante sobre la muestra, con ion plata como catalizador, en ácido sulfúrico concentrado por un tiempo determinado. A partir de la cantidad de dicromato de potasio reducido se calculó el valor de la DQO.³⁰
- DBO₅: para el análisis de este parámetro se utiliza el método yodométrico llamado modificación de Azida que se basa en la característica oxidante del oxígeno disuelto presente. Esta técnica consiste en la adición de una solución de manganeso divalente y una base fuerte a una muestra de H₂O. El oxígeno disuelto oxida rápidamente una cantidad equivalente del precipitado disperso de hidróxido manganeso divalente a hidróxidos de mayor estado de valencia.³¹
- Grasas y aceites: este parámetro se analiza por medio de extracción Soxhlet, el cual se basa en separar la fase sólida o viscosa mediante filtración sobre una matriz sólida adsorbente. Después de la extracción en un aparato Soxhlet con un solvente orgánico, se pesa el residuo de la evaporación con el solvente y así se determina el contenido de grasas y aceites.³²

Cada parámetro fue cuantificado y la información se encuentra consignada en la tabla 7.

²⁹ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Sólidos suspendidos totales en agua secados a 103 – 105°C. TP0088 [en línea]. 3 ed. Colombia. 2007. 7 p. [Consultado: 20 de Noviembre de 2019] Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S.lidos+Suspendidos+Totales+en+aguas.pdf/f02b4c7f-5b8b-4b0a-803a-1958aac1179c>

³⁰ LERMANN DE ABRAMOVICH, Beatriz, *et al.* Curso optativo: Gestión integral de residuos [en línea]. Argentina: Universidad Nacional del Litoral, p. 2. Disponible en: http://www.fiq.unl.edu.ar/gir/archivos_pdf/GIR-TecnicasAnaliticas-DemandaQuimicadeOxigeno.pdf

³¹ QUELAL, Leidy. Documentación del procedimiento de laboratorio para la DBO₅ en el laboratorio de control de calidad de la empresa de acueducto y alcantarillado de Pereira S.A.E.S.P. Trabajo de grado Tecnóloga en Química. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de tecnología. 2012. 25 p. Disponible en <http://recursosbiblioteca.utp.edu.co/tesis/textoyanexos/658562Q3.pdf>

³² INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Determinación de grasas y aceites en aguas por el método de Soxhlet. TP150 [en línea]. 2 ed. Colombia. 2007. 8 p. [Consultado: 20 de Noviembre de 2019] Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Grasas+y+Aceites+en+agua+por+metodo+Soxhlet.pdf/15096580-8833-415f-80dd-ceaa7888123d>

Tabla 7 Resultados de la caracterización de los parámetros críticos

Parámetro	Unidad de medición	Método de análisis	Resultado obtenido
pH	Unidad	Electromecánico	4,73
DQO	mg/L O ₂	Reflujo abierto	1690,14
DBO ₅	mg/L O ₂	Incubación Modificación de Azida	874,31
Grasas y aceites	mg/L	Extracción Soxhlet	59,7
SST	mg/L	Gravimetría Secado	118
Solidos totales	mg/L	Gravimetría Secado	565,3

Fuente: elaboración propia con base en LABORATORIO QUIMICONTROL LTDA

2.4.4 Análisis de los parámetros fuera de la norma del vertimiento de aguas.

Una vez conocidos los resultados de laboratorio de cada uno de los parámetros críticos del agua residual, se procede a hacer una comparación con el valor máximo permisible expuesto en la Resolución 0631 de 2015 expuestos en la tabla 8, para así determinar si se encuentra o no dentro de los valores aceptados y finalmente proceder con el tratamiento de aguas residuales conveniente para la empresa teniendo en cuenta todos los factores.

Tabla 8 Comparación resultados de caracterización del agua residual

Parámetro	Unidad de medición	Resultado Laboratorio Quimicontrol	Resolución 0631 de 2015	Parámetro dentro de la norma
pH	Unidad	4,73	6,00-9,00	No
DBO ₅	mg/L O ₂	874,31	250	No
DQO	mg/L O ₂	1690,14	450	No
SST	mg/L	118	150	Si
Grasas y aceites	mg/L	59,7	20	No

Fuente: elaboración Propia

Considerando la comparación anterior se concluye que los parámetros que se encuentran fuera del máximo permisible y necesitan de un tratamiento son pH, DQO, DBO₅, Grasas y aceites. La demanda química de oxígeno y la demanda bioquímica de oxígeno son los parámetros que presentan mayor problemática para las industrias de productos lácteos, esto porque la carga contaminante que aporta la materia prima principal (leche), es alta por ser un producto rico en proteínas, nutrientes, grasas y vitaminas. Por otro lado, estos parámetros tuvieron resultados altos porque actualmente el lactosuero generado no está siendo tratado de manera correcta y se vierte directamente al alcantarillado. El contenido de grasas y aceites en el agua residual de la empresa es alto porque en los procesos de producción se arrojan residuos de leche, lactosuero y crema de leche que se encuentran en los diferentes equipos o no son aptos para su consumo.

En conclusión, la empresa no cumple con los parámetros descritos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, por lo que se procede a realizar una investigación de cada uno de los tratamientos posibles.

3. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

En este capítulo se determina y evalúa experimentalmente la alternativa apta para implementar el sistema de tratamiento de aguas residuales por parte de la empresa; se tuvo en cuenta las diferentes metodologías por parámetro y capacidad de remoción.

3.1 PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS A IMPLEMENTAR

Para poder seleccionar la mejor alternativa se debe considerar el espacio disponible de la empresa para su implementación y las eficiencias de cada uno de los tratamientos para garantizar que al final de la operación el agua vertida al alcantarillado cumpla con todas las especificaciones establecidas por el Ministerio de Ambiente Colombiano, por último, su costo.

3.1.1 Selección de parámetros para el tratamiento. A partir de los resultados entregados por el laboratorio Quimicontrol Ltda, se identificaron los parámetros a tratar.

- Grasas y aceites
- DBO₅
- DQO
- pH

Cada parámetro se evaluó de manera independiente, para determinar un tratamiento adecuado que se adapte a las necesidades presentadas y se encuentre dentro de los límites financieros y de área.

3.1.2 Tratamientos de aguas residuales utilizados en industrias lácteas.

3.1.2.1 Grasas y aceites.

- **Trampa de grasas.** Es un tipo de tratamiento preliminar que retiene todo tipo de impurezas presentes en el agua residual, generalmente con tres compartimientos que permiten retener en la primera parte todos los sólidos gruesos y en la segunda parte los sólidos livianos. La eficiencia de remoción de la trampa depende principalmente de cuatro factores: caudal, días de operación sin limpieza, altura de grasas y alturas de sólidos sedimentados.³³ En la industria láctea son comunes estos equipos porque evitan taponamientos en las tuberías por acumulación de grasas.

³³CHINCILLA, M. Relación de parámetros de diseño de trampas de grasas (desengrasadores) versus su eficiencia, en aguas residuales comerciales. Tesis Maestro. Guatemala: Universidad de San Carlos. Facultad de Ingeniería. 2015. 182 p.

- **Cribado.** Se utiliza para remover sólidos en suspensión de diferentes tamaños, la distancia entre rejillas depende del tamaño del material a tratar, existen rejillas para finos y gruesos. Su limpieza se realiza de forma manual y los residuos recogidos se pueden desechar, tratar con un tratamiento biológico o incinerar³⁴.

Cuadro 2 Ventajas y desventajas del cribado

Ventajas	Desventajas
Fácil implementación	No separa todas las partículas sólidas presentes
Disminuye la cantidad de sólidos en el agua	Necesita de mantenimiento periódico para evitar la saturación en la rejilla
Económico frente a otros tratamientos	Requiere de otro tratamiento para los residuos

Fuente: elaboración Propia

3.1.2.2 DBO₅ y DQO

- **DAF (Sistema de flotación por aire disuelto).** Tal como se menciona en el libro Tratamiento de aguas residuales teoría y principios de diseño (2008), la flotación se utiliza para separar emulsiones y partículas presentes en una fase líquida mediante burbujas de aire. Se debe presurizar el aire hasta lograr reducir la densidad de los materiales en suspensión por la fuerza de empuje. Al finalizar, se extraen los sólidos sedimentables y se obtiene el efluente en mejores condiciones de limpieza.

Cuadro 3 Ventajas y desventajas del sistema de flotación según Romero Rojas³⁵

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Se remueven en una misma unidad: grasas, sólidos livianos y pesados.	El equipo adicional requerido supone costos de operación que pueden resultar más costosos que otros sistemas.
En muchos casos disminuye la presencia de olores gracias a la presencia de oxígeno disuelto.	Las unidades de flotación no proveen el tratamiento a toda la materia suspendida.
En procesos de coagulación es posible que se requieran menos coagulantes, debido a que no necesita un floc pesado.	La operación puede ser difícil.

Fuente: ROMERO ROJAS, Jairo. Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de Diseño. 3 ed. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 2004. 296 p. ISBN: 958-8060-13-3.

- **Clarificación química.** Tiene como objetivo principal retirar sólidos suspendidos y materiales coloidales convirtiéndolos así en materiales más grandes que se puedan retirar con mayor facilidad con el uso de reactivos químicos (coagulantes y floculantes). Este mecanismo es muy usado en sistemas de tratamiento de aguas industriales porque permite la eliminación de impurezas en el agua sin

³⁴ RAMALHO, R. Op. cit., p. 92.

³⁵ ROMERO, J. (2008). Tratamiento de aguas residuales teoría y principios de diseño. Bogotá, Escuela Colombiana de ingeniería. Pag 350.

representar un costo excesivo en mantenimiento y funcionamiento. En el cuadro 4 se presentan algunas ventajas y desventajas del proceso.

Este proceso tiene subprocesos de coagulación, floculación y sedimentación³⁶:

1. Coagulación: este proceso forma pequeñas partículas gelatinosas mediante la adición de un coagulante al agua y mezclado (adición de energía). Esto provoca la desestabilización de las partículas al adicionar iones específicos, que serán la causa de su aglomeración.
2. Floculación: por la formación de puentes o enlaces químicos se juntan las partículas desestabilizadas y junto con el agente floculante se forma un aglomerado llamado floc que se logra con una mezcla moderada y prolongada, para que finalmente puedan ser suspendidos.
3. Sedimentación: por acción de la gravedad, las partículas formadas se sedimentan en el fondo donde se pueden retirar.

Cuadro 4 Ventajas y desventajas de la clarificación química

Ventajas	Desventajas
Remoción de forma rápida de los sólidos sedimentables y flotantes.	Eficiencia en remoción de SST y DBO se ve afectada por entrada al tanque y temperatura.
Remoción de 50% a 70% de SST y 25% a 40% de DBO ₅ ³⁷ .	Su buen rendimiento y desempeño depende directamente del pH.
Fácil implementación y mantenimiento.	Requiere energía para su agitación.

Fuente: elaboración propia

- **Lodos activados.** Este tratamiento secundario requiere de un floc biológico formado en un tanque de aireación. El lodo contiene microorganismos, materia orgánica muerta y materiales inorgánicos que adsorben los materiales coloidales presentes en la muestra, para desarrollarse se necesita aire porque el floc microbial se mantiene en constante suspensión en el tanque de aireación, requiere de un espacio considerable para su instalación y buena sedimentación lo que evita una turbiedad alta en el efluente y pérdida de microorganismos³⁸.

³⁶ COGOLLO FLÓREZ, Juan Miguel. Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidrocloreuro de aluminio. En: *DYNA*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, agosto, 2009, vol. 78, nro. 165. 7 p.

³⁷ CRITES, Ron y TCHOBANOGLOUS, George. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Mc Graw Hill. 2001. p. 776.

³⁸ ROMERO ROJAS, Jairo. Op. cit., p. 434.

Cuadro 5 Ventajas y desventajas de lodos activados

Ventajas	Desventajas
Disminuye la DQO y DBO ₅ .	Requiere de microorganismos y aire.
Alta reducción de sólidos suspendidos.	Alto costo de operación respecto a otros tratamientos.
Fácil de estabilizar en arranque.	Genera lodos que deben tratarse.

Fuente: elaboración propia

- **Electrocoagulación.** Este tratamiento aplica los principios de la coagulación-floculación en un reactor electrolítico, contiene varios electrodos encargados de aportar iones que desestabilizan las partículas coloidales junto con las sales metálicas agregadas, este proceso reemplaza el uso de los compuestos químicos usados en el tratamiento convencional. Es utilizado para reducir la demanda química de oxígeno, grasas y aceites. Genera sólidos sedimentables que se retiran por sedimentación o filtración³⁹.

Cuadro 6 Ventajas y desventajas de la electrocoagulación

Ventajas	Desventajas
La corriente eléctrica desestabiliza los contaminantes bien sea suspendiéndolos o emulsificándolos.	La presencia de NaCl produce una capa insoluble sobre los electrodos y decrece su eficiencia.
Elimina áreas destinadas al almacenamiento y uso de químicos.	Cuando está a pH neutro tiene un consumo energético alto ya que no hay variación de la conductividad.
Produce efluentes con menor cantidad de sólidos sedimentables.	Reposición de electrodos de sacrificio.

Fuente: elaboración propia con base en ARANGO RUIZ, Álvaro. La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. En: *Revista Lasallista de Investigación*. Colombia: Corporación Universitaria Lasallista. 2005. vol. 2, nro. 1. p. 49 – p. 56.

3.1.2.3 pH. Se regula por medio de neutralización o ajuste de pH. El pH puede afectar tratamientos posteriores, por ejemplo, en la coagulación por especificaciones fisicoquímicas, los reactivos del proceso trabajan con un pH básico. Normalmente la neutralización se lleva a cabo agregando algunos de estos reactivos: cal, soda cáustica, óxido o hidróxido de magnesio, entre otros⁴⁰. En el cuadro 7 se muestran las ventajas y desventajas del proceso.

³⁹ MORANTE. R., Gonzalo. Electrocoagulación de aguas residuales. En: *Revista colombiana de física* [en línea]. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, vol. 34, nro. 2, 4 p. [Consultado: 30 de Noviembre de 2019] Disponible en <https://pdfs.semanticscholar.org/0de5/2c5311ae4b0092c6fc605d70cbf75c2c7021.pdf>

⁴⁰ ROMERO ROJAS, Jairo. Op. cit., p. 323.

Cuadro 7 Ventajas y desventajas de la neutralización

Ventajas	Desventajas
Regula el pH.	Requiere de la adición de reactivos para su acidez o basicidad.
Fácil de implementar.	Requiere de control para dosificar el reactivo.
Facilita la operación de la clarificación química.	Cuando se trata de acidificar se debe utilizar ácidos débiles como ácido cítrico y ácido acético

Fuente: elaboración propia

3.1.2.4 Sólidos suspendidos totales.

- **Filtración.** Se utiliza para separar los sólidos suspendidos a través de un medio poroso o granular. Para aguas residuales es común utilizar filtros de medio dual; sin embargo, esta elección depende del tipo de agua y costo total del sistema.
1. **Filtro de arena.** La filtración en medios granulares es una de las formas eficientes de separar sólidos suspendidos que no fueron removidos en tratamientos anteriores. Por las propiedades del medio uno de los más utilizados es el filtro de arena y grava, que permite que el sólido tome largos trayectos y entre en contacto con otras partículas siendo retenido por el material filtrante⁴¹. Es utilizado para retener los flóculos pequeños que no son separados por decantación⁴².
 2. **Filtro de carbón activado.** Este filtro es usado para remover olor, sabor indeseable, cloro y demás impurezas en el agua, el carbón activado tiene un gran poder de adsorción. Para el tratamiento de aguas industriales se utiliza carbón activado con algunas de las siguientes granulometrías: 8x30, 12x40, 14x30 o 14x40, es recomendable usar el menor tamaño granular para obtener el mayor porcentaje de remoción⁴³. El filtro de carbón activado es usado para la reducción del olor, sabor, sedimentos y compuestos orgánicos⁴⁴.
 3. **Filtros naturales.** Los filtros naturales son una forma sencilla de separar sólidos en suspensión y mejorar el olor. Se usan diferentes medios filtrantes granulares como carbón activado, arena, grava gruesa y fina, cuenta con un sistema de lavado que opera contrariamente al flujo del filtrado⁴⁵.

⁴¹ OOCITIES: Filtración en arena y grava. [Consultado: 22 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/filtracion.htm>

⁴² CABOTECNIA: Arena silica [en línea]. Jalisco, México. [Consultado: 22 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.carbotecnia.info/producto/medio-arena-silica-para-filtros-de-agua/>

⁴³ CAPITULO I. El carbón activado y sus propiedades [en línea]. México: Universidad de Sonora. Disponible en: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/20980/capitulo1.pdf>

⁴⁴ INGENIERÍA ROMÍN: filtración mediante carbón [en línea]. Buenos Aires, Argentina [Consultado: 22 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <https://romin.com/filtracion-mediante-carbon-activado/>

⁴⁵ BULLA TRUJILLO, Laura Marcela y TORRES NOVA, Elsa Natali. Desarrollo de una propuesta para un sistema de tratamiento del agua residual de la empresa de lácteos Ibel. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bogotá: Fundación Universidad América. Facultad de Ingenierías. 2019. 169 p.

3.2 ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTOS PROPUESTOS

Teniendo claro los parámetros que se deben tratar y la revisión bibliográfica de alternativas utilizadas en empresas lácteas, se proponen diferentes alternativas para la empresa que son presentadas a continuación.

- **Alternativa 1 (Cribado, clarificación química, filtración natural).** Se inicia por el proceso de cribado que reduce el nivel de grasas y aceites presentes en el agua, posterior al cribado se lleva a cabo la coagulación-floculación que remueve sólidos suspendidos y material coloidal representados por los parámetros DBO₅ y DQO. Para finalizar se desarrolla una filtración natural con el propósito de remover los sólidos que no fueron removidos en los anteriores tratamientos.
- **Alternativa 2 (Trampa de grasas, clarificación química, lodos activados).** Como primer proceso se tiene la implementación de una trampa de grasas para retener las grasas y aceites que se generan en el área de producción, que se precipitan por acción de la gravedad. El agua que sale de la trampa de grasas se conduce a un tanque clarificador donde se realizan tres operaciones unitarias: coagulación, floculación y sedimentación. Por último, para disminuir los niveles de material coloidal presentes y sólidos suspendidos se implementa un sistema de lodos activados en un reactor aerobio, que logra separar el efluente limpio de los lodos generados.
- **Alternativa 3 (Trampa de grasas, neutralización, coagulación-floculación DAF, filtración con arena y carbón activado).** Las grasas y aceites se reducen con el uso de la trampa de grasas como tratamiento preliminar que separan las grasas y los sólidos pesados en los tres compartimentos que posee, permitiendo que el agua residual pase a los siguientes tratamientos más limpia. La corriente de agua es sometida al proceso de coagulación-floculación en el DAF donde se remueven los sólidos suspendidos y materiales coloidales aglomerados por los coagulantes y floculantes utilizados. El DAF permite que las partículas sedimentables se separen y las grasas floten para retirarlas por acción de las burbujas de aire generadas. Para finalizar se desarrolla una filtración para remover partículas suspendidas en el agua, al tratarse de un medio dual se utilizan dos tipos de materiales: arena y carbón activado.

3.3 ALTERNATIVAS SELECCIONADAS EN EMPRESAS LÁCTEAS

Luego de la revisión bibliográfica, se tiene como referencia los tratamientos llevados a cabo en cada una de las empresas lácteas colombianas que se presentan en el cuadro 8.

Cuadro 8 Planteamiento tratamientos de aguas residuales efectuados en otras empresas lácteas

Industria	Pretratamiento	Tratamiento primario	Otros tratamientos
Inversiones Fasulac Ltda	Trampa de grasas	Coagulación Floculación Sedimentación	Filtración
Lácteos Levelma	Trampa de grasas	Coagulación Floculación	Lodos activados
Lacteos Ibel	Trampa de grasas	Oxidación Coagulación Floculación	Filtración

Fuente: BRAVO, David, HENAO, ZULYS. Desarrollo de una propuesta de mejora en el sistema de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de lácteos LEVELMA, municipio Cajicá. Fundación Universidad de América, 2016. LEITÓN, Miguel, SEDANO, Paula. Desarrollo de una propuesta de mejora para la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa de lácteos inversiones FASULAC LTDA. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América. BULLA, Laura. Torres, Elsa. Desarrollo de una propuesta para un sistema de tratamiento del agua residual de la empresa Lacteos Ibel. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América

Inversiones Fasulac Ltda que opera en Bogotá, desarrolla procesos de transformación de leche, para la producción de yogurt y kumis. Cuenta con tratamientos de tipo preliminar y primario para las aguas residuales generadas, sin embargo, no cumple con dos parámetros fundamentales: DQO y DBO₅. Luego de la experimentación se concluyó que la filtración e intercambio iónico permiten cumplir con todos los parámetros exigidos en la Resolución 0631 de 2015, se utilizaron filtros de arena y resina aniónica fuertemente básica.⁴⁶

Lacteos Levelma se encuentra ubicado en Cajicá, produce quesos fermentados, arequipe, crema de leche, helados y mantequilla. Cuentan con un sistema de tratamiento de aguas residuales pero la mayoría de los parámetros exigidos por la norma se encontraban fuera del límite máximo permisible; para corregir los parámetros se propuso el cambio de insumos de limpieza. Por otro lado, realizaron la neutralización con NaOH y KOH, mejoraron el proceso de clarificación y el propusieron la implementación lodos activados.⁴⁷

Lácteos Ibel opera actualmente en Belén, Boyacá. Es productora de quesos y mantequilla principalmente; al no contar con ningún sistema de tratamiento de aguas se implementó un proceso de tratamiento compuesto por: trampa de grasas, oxidación con peróxido de hidrogeno, clarificación y filtración que permitieron cumplir con los parámetros: grasas y aceites, DQO y DBO₅, pH y SST.⁴⁸

⁴⁶ LEITÓN SALAMANCA, Miguel Ángel y SEDANO CABRERA, Paula Andrea. Desarrollo de una propuesta de mejora para la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa de lácteos inversiones Fasulac Ltda. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bogotá: Universidad de América. Facultad de Ingenierías. 2017. 196 p.

⁴⁷ BRAVO ROBAYO, David Andrés y HENAO OVALLE, Zulysmileth. Op. cit., p. 63-70.

⁴⁸ BULLA TRUJILLO, Laura Marcela y TORRES NOVA, Elsa Natali. Op. cit., p. 70.

3.4 CRITERIOS DE SELECCIÓN

El diseño de un tratamiento de aguas requiere de unas condiciones óptimas de eficiencia, costos y mantenimiento que deben cumplirse con la posibilidad de adecuarse a las exigencias y necesidades de la empresa, al tratarse de una microempresa los factores más importantes son: área ocupada y costos. Para la selección se tienen en cuenta viabilidad técnica, viabilidad operativa y viabilidad económica⁴⁹.

1. **Viabilidad técnica:** hace referencia a todos los requerimientos técnicos y tecnológicos necesarios, haciendo énfasis en: requerimientos de área y estructura, capacidad de remoción, tiempo de implementación y duración.

Cuadro 9 Evaluación de la viabilidad técnica

Variable	Descripción
Capacidad de remoción	Se refiere a la capacidad de remoción de cada uno de los parámetros críticos: SST, materia orgánica, grasas y aceites para dar cumplimiento a la norma.
Estructura y área	Hace referencia al espacio necesario para la implementación y la modificación del sistema de tratamiento.
Tiempo de implementación	Tiempo para llevar a cabo la instalación de la alternativa propuesta.
Vida útil	Estimación de tiempo de uso de cada equipo o montaje sin necesidad de hacer modificaciones, se espera el mayor tiempo de servicio.

Fuente: elaboración propia

2. **Viabilidad operativa:** este factor depende de los recursos humanos y la capacidad del manejo del sistema. Las variables evaluadas son: capacitación del personal, tiempo de operación y facilidad de operación.

⁴⁹ LEITÓN, M. SEDANO, P. Desarrollo de una propuesta de mejora para la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa de Lacteos inversiones Fasulac Ltda. Bogotá. D.C.: Fundación Universidad de América.

Cuadro 10 Evaluación de la viabilidad operativa

Variable	Descripción
Tiempo de operación	Se refiere al tiempo necesario para cumplir con todas las exigencias del sistema teniendo en cuenta la eficiencia y calidad.
Facilidad de operación	Se espera que el personal con la capacitación recibida cuente con la habilidad del manejo de equipos, reactivos y demás aspecto involucrados.
Capacitación del personal	Hace referencia al proceso donde el personal adquiere conocimientos, habilidades y competencias para el buen funcionamiento de la alternativa.

Fuente: elaboración propia

- 3. Viabilidad económica:** al evaluar este parámetro se espera escoger la alternativa que represente un gasto acorde a la capacidad de producción de la empresa, espacio y complejidad del sistema.

Cuadro 11 Evaluación de la viabilidad económica

Variable	Descripción
Costo de mantenimiento	Se refiere al valor asignado al buen sostenimiento de los equipos implicados en el proceso.
Costo de operación	Este factor está destinado a los costos de los equipos, reactivos, personal y todo lo necesario para el buen funcionamiento del sistema.
Costo de implementación	Se refiere al valor inicial, capital de inversión, asignado a los costos de puesta en marcha del proyecto.

Fuente: elaboración propia

3.5 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS

Se selecciona la alternativa a través de la matriz de evaluación donde se dan valores entre 0 y 3, siendo 0 el valor mínimo y 3 el valor máximo tal como se expresa en la tabla 9.

Tabla 9 Indicador de la matriz de selección de cada alternativa

Nivel	Calificación
Deficiente	0
Aceptable	1
Bueno	2
Excelente	3

Fuente: elaboración propia

3.5.1 Matriz de selección del sistema de tratamiento de aguas de la empresa.

Teniendo en cuenta los indicadores de selección presentados en la tabla 9 se realizó la evaluación de cada alternativa propuesta. Los resultados se presentan a continuación.

Tabla 10 Matriz de selección del tratamiento de aguas residuales

Parámetro	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Viabilidad Técnica			
Estructura y área	3	2	3
Capacidad de remoción	1	3	3
Tiempo de implementación	3	1	3
Vida útil	3	2	2
Total viabilidad técnica	10	8	11
Viabilidad operativa			
Capacitación del personal	3	1	3
Tiempo de operación	3	1	3
Facilidad de operación	3	2	3
Total viabilidad operativa	9	4	9
Viabilidad económica			
Costo de implementación	3	1	3
Costo de mantenimiento	2	1	2
Costo de operación	2	1	2
Total viabilidad económica	7	3	7
TOTAL	26	15	27

Fuente: elaboración propia

Con los resultados obtenidos en la matriz, se selecciona la alternativa 3 que involucra los procesos de trampa de grasas, neutralización, coagulación-floculación y filtración con arena y carbón activado por la obtención de una calificación 27, siendo la más alta respecto a las otras alternativas. La evaluación del parámetro de grasas y aceites permite concluir que el tratamiento que favorece en cada uno de los factores a la empresa es la implementación de la trampa de grasas, dado que su funcionamiento y mantenimiento es simple y puede ser realizado por el personal actual.

El sistema de flotación por aire disuelto (DAF) se implementa para reducir la cantidad de grasas y aceites hasta en un 90%, material coloidal hasta en un 50% y sólidos suspendidos en el agua a tratar hasta en un 80%⁵⁰. Así mismo, se experimenta con el proceso de coagulación-floculación, para determinar la dosis necesaria de cada reactivo que forma los flóculos; el complemento del DAF y clarificación química permiten una reducción del material coloidal hasta en un 80%. Es importante resaltar que el efluente debe tener un pH cercano a 7 para que exista cohesión de los flóculos y puedan sedimentarse fácilmente, por esta razón se lleva a cabo la neutralización.

⁵⁰ISA: INGENIERÍA Y SERVICIOS AMBIENTALES: Flotación por aire disuelto [en línea]. Colombia. 2020. [Consultado: 25 de noviembre 2019. Disponible en: <https://isa.ec/flotacion-por-aire-disuelto-daf/>]

Seleccionada la alternativa, se desarrolla el balance de cargas para establecer matemáticamente la eficiencia de cada una de las unidades de tratamiento y el resultado de los parámetros a la salida. Inicialmente se determinó la disminución de cada parámetro teniendo en cuenta el valor inicial de concentración (mg/L) de entrada y la eficiencia de cada equipo que está relacionada sus funciones. Para este balance se utilizan los valores más altos de cada parámetro tales como DBO₅, DQO, SST, grasas y aceites⁵¹. A continuación, se calculó la cantidad de carga de contaminante (kg/día) como se evidencia en la ecuación 7, matemáticamente cada parámetro se encuentra en límite máximo permisible como se muestra en la tabla 11.

Ecuación 7 Cantidad de carga contaminante (kg/día)

$Cc \text{ (kg/día)}: \frac{Q \text{ (L/s)} * C \text{ (mg/L)} * 7200}{100000}$

Donde:

Cc: carga contaminante kg/día

Q: caudal L/s

C: concentración en mg/L

Factor de conversión de segundos a día: 7200 segundos correspondiente a las horas de descarga día de vertimientos

Factor de conversión de mg a kg 100.000

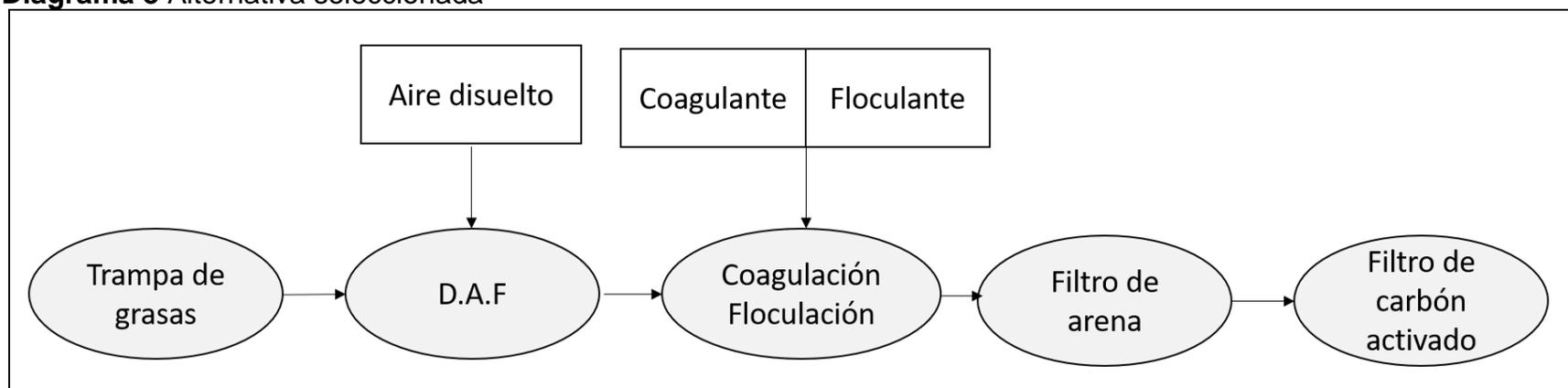
⁵¹ GALINDO MORALES, Juan Camilo y PINZÓN POLANIA, Mateo. Propuesta para la prevención y control de contaminantes destinada al mejoramiento de vertimientos dentro de una industria de lácteos en Ubaté, Trabajo de grado Ingeniero Ambiental y Sanitario. Bogotá: Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería. 2019. 130 p.

Tabla 11 Balance de cargas contaminantes de la empresa

Parámetros	Afluente		PRELIMINAR			D.A.F			PRELIMINAR			TERCIARIO			TERCIARIO			Salida PTAR				
	Q m³/h 0,07416		Trampagrasas		EF %	D.A.F		sedimentador primario		Filtro de arena		Filtro Carbon activado (adsorcion)			Filtro Carbon activado (adsorcion)			Q m³/h	0,07416			
	mg/L	kg/día	mg/L	kg/día		mg/L	Kg/día	mg/L	kg/día	mg/L	kg/día	EF %	mg/L	kg/día	EF %	mg/L	kg/día			EF %		
DQO	1690,14	3,0	1656,3	2,95	0,02	1325	2	0,20	928	2	0,30	834,79	1,6	0,10	584,36	1,13	0,30	438,27	1,21	0,25	450,00	1,21
DBO	874,31	1,6	856,8	1,53	0,02	685	1	0,20	480	1	0,30	431,84	0,8	0,10	302,29	0,59	0,30	226,72	0,63	0,25	250,00	0,63
SST	118	0,2	112,1	0,20	0,05	67,3	0	0,40	40	0	0,40	28,25	0,07	0,30	19,77	0,05	0,30	14,83	0,05	0,25	150,00	0,05
GyA	59,7	0,1	41,8	0,07	0,30	16,7	0	0,60	13	0	0,20	12,04	0,02	0,10	10,83	0,01	0,10	10,29	0,02	0,05	20,00	0,02

Fuente: elaboración propia

Diagrama 8 Alternativa seleccionada



Fuente: elaboración propia

3.6 MATRIZ DE REACTIVOS QUÍMICOS SELECCIONADOS

Para la selección de los reactivos se hace un análisis respecto al costo, facilidad de compra, disponibilidad y seguridad. En la alternativa seleccionada se desarrolla la coagulación-floculación, para su implementación es necesario hacer uso de un coagulante que reaccione a un pH entre 7 y 9, cada uno de estos factores descritos se presentan en el cuadro 12.

Cuadro 12 Factores de selección de reactivos en general

Factor	Descripción
Facilidad para la compra	Es necesario encontrar reactivos que sean de bajo costo para la empresa y que no implique de un arduo manejo por el personal.
Disponibilidad en el mercado	Capacidad de adquirir el reactivo a nivel nacional y local para evitar sobrecostos de transporte.
Seguridad	Dado que cualquier manejo de reactivos necesita del uso de elementos de protección personal, es necesario utilizar elementos químicos que no pongan en riesgo la salud o vida del personal que los manipule.
Eficacia para modificar el pH	Se debe contar con un reactivo que tenga la capacidad de neutralizar la muestra y sea de fácil manejo y bajo costo.

Fuente: elaboración propia

Para seleccionar los reactivos se plantea la siguiente matriz de decisión que cuenta con las siguientes valoraciones: se asignan valores de 0, +1 y -1 dependiendo si su aporte es igual, superior o menor respectivamente⁵².

Tabla 12 Matriz de selección de reactivos

Descripción	Valoración
Mayor importancia	+1
Igual importancia	0
Menor importancia	-1

Fuente: BORGUE, Manuel. La Matriz de Pugh para la toma de decisiones. 2018. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/394400029/La-Matriz-de-Pugh-Para-La-Toma-de-Decisiones-y-Otras>

3.6.1 Coagulación / Floculación. El coagulante se seleccionó teniendo en cuenta sus características se presentan en el cuadro 13 y el floculante utilizado en la experimentación es proporcionado por la empresa Ingeambiental.

- **Coagulantes:** este tipo de reactivos en solución proporcionan al coloide llamado coágulo una carga eléctrica para lograr su desestabilización, la influencia del pH en sus características es primordial, dependiendo del catión

⁵² : BORGUE, Manuel. La Matriz de Pugh para la toma de decisiones. 2018. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/394400029/La-Matriz-de-Pugh-Para-La-Toma-de-Decisiones-y-Otras>

se hace necesario el uso de un ácido o base para regularlo. En el caso del catión Al^+ es necesario un pH entre 6 y 7, y para el catión Fe^+ debe ser $>5^{53}$.

Cuadro 13 Descripción de coagulantes usados en la coagulación

Reactivo químico	Descripción
Policloruro de Aluminio (PAC)	Para su correcto funcionamiento requiere de un pH en el rango de 7 a 10. Posee una capacidad de remoción: alrededor del 90% ⁵⁴ en aguas residuales con alta carga orgánica contaminante y representada en los parámetros SST, DBO ₅ , DQO. Se encuentra comercialmente en estado líquido y suele tener un mayor costo respecto a otro tipo de coagulante con una capacidad de remoción similar.
Cloruro Férrico ($FeCl_3$)	Es el coagulante más utilizado en la industria por lograr una remoción del 70% de materia orgánica, requiere de un pH básico para su correcto funcionamiento. Se encuentra fácilmente en el mercado y su costo no es tan elevado; sin embargo, requiere de una dosis alta para lograr un mejor clarificado.
Sulfato de Aluminio tipo A	El rango de pH al que puede funcionar no es amplio y dificulta el uso de otros coagulantes aniónicos, requiere de pH ácido para formar coloides. Su costo es bajo y cuenta con una alta disponibilidad comercial; sin embargo, dependiendo del tipo de agua puede o no adherir coloides.
Sulfato ferroso	Es un sólido soluble y tiene una eficiencia similar a la del cloruro férrico. Tiene un pH óptimo de 3,5 a 6,5 y $>8,5$. Se aconseja una dosis <50 mg/L. ⁵⁵
Cloruro de aluminio	Producto líquido de alto peso molecular, es un tipo de coagulante inorgánico que permiten la desestabilización de las moléculas del agua residual.
Sulfato de amonio	Ayuda a precipitar sales disueltas. Reduce color y turbidez al agua tratada ⁵⁶ .

Fuente: elaboración propia

Se presenta la evaluación realizada a uno de los coagulantes en la tabla 13.

⁵³ ANDIA CÁRDENAS, Yolanda. Tratamiento de agua coagulación y floculación [en línea]. Lima, Perú. 2000. p. 14. [Consultado: 25 de Noviembre de 2019] Disponible en: http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154

⁵⁴ BULLA, L. TORRES, E. (2019). Desarrollo de una propuesta para un sistema de tratamiento del agua residual de la empresa de lácteos Ibel. Fundación Universidad América. Bogotá, Colombia. Pag 79

⁵⁵ INDITEX. (2014). Fichas técnicas de etapas de proceso de plantas de tratamiento de aguas residuales de la industria textil; coagulación- floculación. Universidad de Coruña. Pag 9. Recuperado de <https://www.wateractionplan.com/documents/177327/558161/Coagulaci%C3%B3n-floculaci%C3%B3n.pdf/b59be3a9-558c-62c3-66e1-d89f82e3aae7>

⁵⁶ CASTAÑEDA, C. RODRÍGUEZ, A. (2019). Desarrollo de una alternativa para el pretratamiento de la corriente de alimentación al proceso de ósmosis inversa en el tratamiento de lixiviados del relleno de Doña Juana. Fundación universidad de América. Bogotá, Cundinamarca. Pag 67.

Tabla 13 Matriz de selección de los coagulantes a utilizar

Factor Reactivo	Pac	Sulfato de aluminio	Cloruro férrico	Sulfato ferroso	Cloruro de aluminio	Sulfato de amonio
Facilidad para la compra	-1	+1	+1	+1	-1	-1
Disponibilidad en el mercado	+1	+1	+1	0	0	0
Seguridad	0	0	0	0	0	0
Eficacia para convertir el pH	+1	-1	+1	-1	0	-1
Total	+1	+1	+3	0	-1	-2

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con la matriz de selección de los coagulantes presentada en la tabla 13, se obtuvo un valor positivo para el policloruro de aluminio, sulfato de aluminio y cloruro férrico, por esta razón se decide comprobar experimentalmente cual se adapta a las características del agua a tratar. Los floculantes utilizados en la experimentación fueron proporcionados por la empresa Ingeambiental, la cual se dedica a la comercialización de equipos y productos químicos usados para el cumplimiento de las normas ambientales en el manejo de aguas industriales, vertederos y residuos sólidos; las fichas técnicas se encuentran en el ANEXO 1.

- **Floculantes:** Este reactivo se encarga de neutralizar las cargas electrostáticas que se encuentran en la disolución, reduciendo las fuerzas de repulsión entre los flóculos. Dado esto, las partículas tienden a formar floc más grandes uniéndose entre sí, esto facilita la sedimentación de los flóculos⁵⁷. El reactivo disponible en la empresa Ingeambiental y utilizado para la experimentación se conoce como poliacrilamida aniónico, también llamado en el mercado como SUPERFLOC A-130HMMW, es usado especialmente para el tratamiento de aguas residuales que contienen partículas en suspensión altamente concentradas, con cargas positivas, y bajo pH.

⁵⁷ DIAZ, V. JIMÉNEZ, V. (2020). Propuesta de mejora del sistema de tratamiento de agua residual del proceso de clorinación para su reutilización en la empresa Eterna SA. Fundación Universidad de América. Bogotá, Cundinamarca, Pág 70.

3.7 DESARROLLO DE LA EXPERIMENTACIÓN

3.7.1 Diseño de la trampa de grasas. Según Orozco⁵⁸ la trampa de grasas deber contar con un diseño hidráulico y tiempo de retención adecuado que normalmente se encuentra de 5 a 20 min (RAS 2017), esto permite determinar la altura de cada uno de los baffles y las dimensiones en general del equipo que se encuentra consignado en la tabla 14. En cuanto al factor de mayoración se establece un valor de 3, que asegura de manera experimental que en los picos de producción la planta de tratamiento funcione sin problema. El caudal máximo horario esta dado por el producto entre el caudal diario y el factor de seguridad. Respecto al volumen de la trampa de grasas, corresponde a el producto entre el caudal medio y el tiempo de retención en segundos.

Ecuación 8 Volumen de la trampa de grasas

$$\text{Volumen trampa} = \text{Caudal medio diario} * \text{tiempo retencion} = \frac{\text{m}^3 * \text{s}}{\text{s}}$$

$$\text{Volumen trampa} = 2,066 \times 10^{-5} * (10 * 60) = \frac{\text{m}^3 * \text{s}}{\text{s}}$$
$$\text{Volumen trampa} = 0,012 \text{ m}^3$$

Para establecer la dimensión del baffle no. 1 se debe determinar la altura efectiva con la ecuación 9.

Ecuación 9 Altura efectiva de la trampa de grasas

$$\text{Altura efectiva} = \frac{\text{Volumen trampa}}{\text{Area superficial}} = \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2}$$

La altura de cada baffle se calcula con las ecuaciones que se presentan a continuación. Dado que estos valores no son enteros se debe redondear a la cifra mayor más cercana y que sea de fácil medición para su construcción.

Ecuación 10 Altura del baffle 1

$$\text{Altura baffle 1} = \frac{1Hb1}{5} = \text{m}$$

Ecuación 11 Altura del baffle 2

$$\text{Altura baffle 2} = \frac{4Hb2}{5} = \text{m}$$

La altura total del equipo está dada por la suma de cada una de las alturas implicadas como lo son: borde libre, altura de lodos, altura efectiva total. El ancho de la trampa está dado directamente por el área superficial como se puede apreciar a continuación.

⁵⁸ ROMERO ROJAS, Jairo. Op. cit., p. 140.

Ecuación 12 Ancho de la trampa de grasas

$$\text{Ancho trampa de grasas} = \sqrt[2]{As * 1/3}$$

El largo de la trampa de grasas se establece haciendo uso de la siguiente ecuación.

Ecuación 13 Largo de la trampa de grasas

$$\text{Largo trampa de grasas} = \sqrt[2]{As * 2}$$

Tanto la altura como el ancho efectivo seleccionado son dimensionados con un factor de seguridad del 30% asegurando la continuidad del flujo. Los valores obtenidos para el diseño de la trampa se encuentran consolidados en la tabla 14.

Tabla 14 Diseño a escala industrial de la trampa de grasas⁵⁹

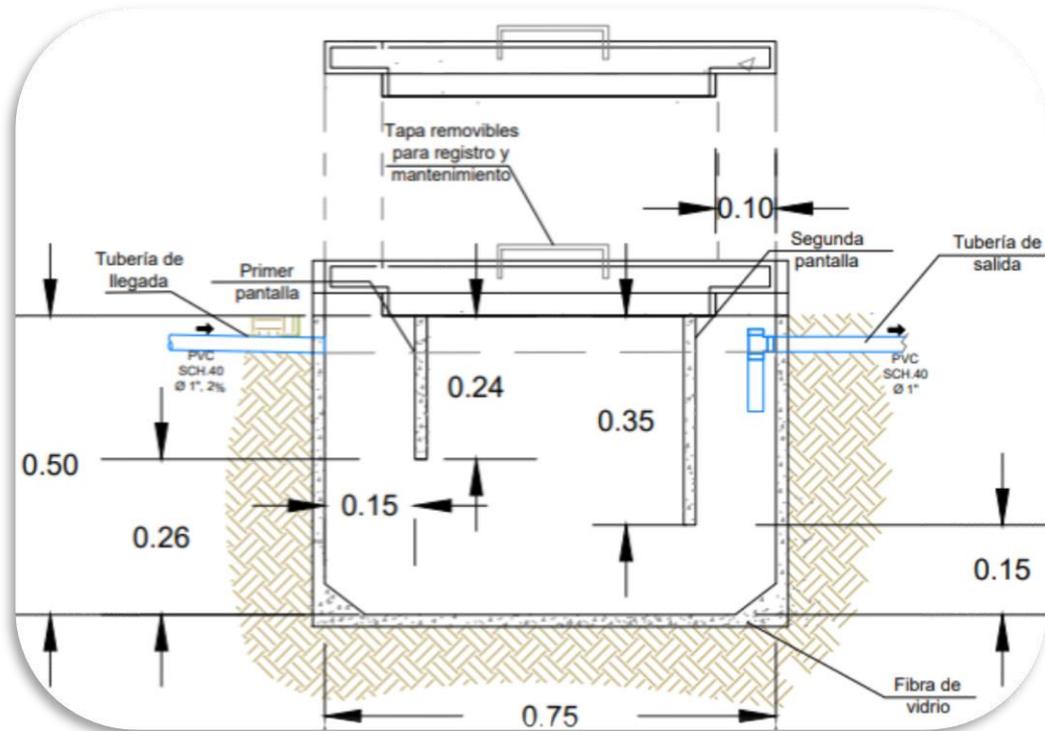
Parámetro	Convención	Unidad	Valor
Caudal medio diario	Q _{av}	L/s	0,021
Factor de mayoración	f		3
Caudal máximo diario	Q _{MH}	L/s	0,062
Caudal hidráulica o superficial	So	m ³ /m ² *h	3
Tiempo de retención hidráulico	Trh	min	10
Área superficial	As	m ²	0,074
Altura baffle 1	Hb ₁	m	0,033
Altura baffle 1 seleccionada	Hb _{1f}	m	0,035
Altura baffle 2	Hb ₂	m	0,133
Altura baffle 2 seleccionada	Hb _{2f}	m	0,15
Borde libre	FB	m	0,2
Altura de lodos	Sh	m	0,05
Altura efectiva total	H	m	0,167
Altura efectiva seleccionada	He	m	0,22
Altura total	HT	m	0,47
Ancho efectivo	W	m	0,19
Ancho efectivo seleccionado	W	m	0,25
Largo efectivo	L	m	0,58
Largo efectivo seleccionado	L	m	0,75
Relación largo: ancho	-	-	2:1
Largo total	Lt	m	1,05

Fuente: elaboración propia

Con base en los datos mostrados en la tabla 15 se realiza el plano general de la trampa de grasas como se muestra en la figura 13.

⁵⁹ ROMERO ROJAS, Jairo. Op. cit., p. 141

Figura 13. Plano general de la trampa



Fuente: elaboración propia

3.7.2 Neutralización. El pH de la muestra tratada fue de 4,73 y como se presentó anteriormente para el proceso de coagulación-floculación el pH debe estar en un rango de 7 a 9, por esta razón se debe neutralizar la muestra de agua. Se dosificó soda cáustica (SLN 4%- 40.000 mg/L) a tal punto que el agua residual alcanzara un pH en el rango mencionado, la determinación del pH se hizo haciendo uso del equipo multiparámetro HQ40. Finalmente, se obtiene un pH de 7,26 luego de neutralizar con una proporción de 6,30 mL de soda cáustica por cada 1L de agua residual tal como se presenta en la figura 14.

Figura 14. Lectura de la neutralización de la muestra



Fuente: elaboración propia

3.7.3 Prueba de tratabilidad test de jarras. Para conocer las características generales del agua residual se hace uso el multiparámetro HQ40 y el cono Imhoff que nos permite conocer el pH, turbiedad, conductividad, sólidos disueltos totales y por ultimo los sólidos sedimentables, los resultados obtenidos se presentan en la tabla 15.

Tabla 15 Mediciones del multiparámetro HQ40 y cono Imhoff

Parámetro	Unidad	Valor
pH	-	4,72
Turbiedad	NTU	277
Solidos disueltos totales	mg/L	518
Solidos sedimentables	mL/L	15

Fuente: elaboración propia

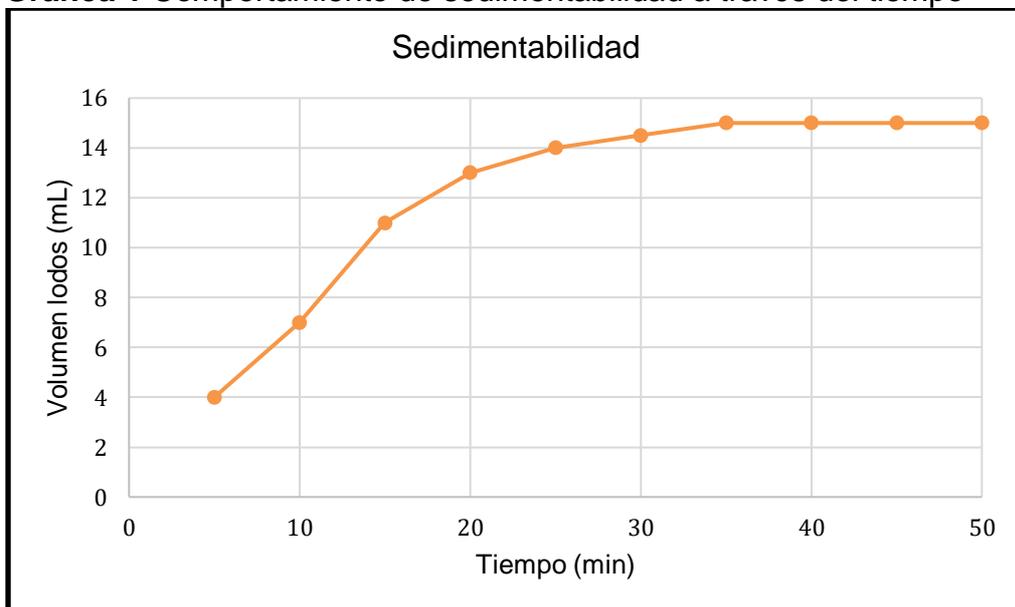
Para determinar los sólidos sedimentables, se realiza el ensayo de sedimentabilidad del agua usando el cono Imhoff, el comportamiento de los datos registrados se evidencia en la gráfica 1, la lectura del volumen sedimentado se hizo cada cinco minutos durante 45 minutos.

Tabla 16 Datos medidos: Volumen de lodos vs. tiempo

TIEMPO (min)	VOLUMEN LODOS (mL)
5	4
10	7
15	11
20	13
25	14
30	14,5
35	15
40	15
45	15
50	15

Fuente: elaboración propia

Gráfica 1 Comportamiento de sedimentabilidad a través del tiempo



Fuente: elaboración propia

Para la prueba de tratabilidad como se mencionó en la matriz de selección de reactivos, se usaron los siguientes coagulantes:

1. Policloruro de Aluminio (PAC) (10%- 100.000 mg/L).
2. Cloruro férrico (FeCl_3) (10% - 100.000 mg/L).
3. Sulfato de Aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) (10%- 100.000 mg/L).

3.7.3.1 Prueba de alcalinidad. Con el objetivo de seleccionar la cantidad de coagulante y obtener los resultados de los porcentajes de remoción se realiza la prueba de alcalinidad. Este procedimiento consiste en determinar el coagulante que mejor se comporte para la desestabilización de cargas de los coloides según las características fisicoquímicas del agua residual, es decir, el que mejor adhesión coloidal forme, para ello se sigue el siguiente procedimiento:

1. Se llevan 500 mL de muestra en tres vasos de precipitado de 1000 mL para la prueba.

- Con una agitación de 50 RPM, se dosifica 1 mL de cada coagulante hasta completar 6 mL para determinar el comportamiento de cada uno a través del tiempo.

Figura 15. Ensayo de los tres tipos de coagulantes por alcalinidad



Fuente: elaboración propia

En el desarrollo de este procedimiento se identificó que la muestra que se trató con sulfato de aluminio no presenta adhesión de coloides y por esta razón se descarta y se continúa el proceso con cloruro férrico y PAC.

- Se procede a determinar la cantidad de coagulante óptima a partir de la alcalinidad teniendo en cuenta una dilución de 1/5 en unidades de mg CaCO₃/L.
- Se agregan 3 gotas de indicador de naranja de metilo a cada vaso de precipitado que contiene 500 mL de agua residual.
- Se prepara titulante ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 0,02 N.
- Se comienza la titulación de la muestra hasta su viraje a color curuba o salmón.
- Se toma el volumen del titulante agregado hasta el viraje.
- Se calcula la alcalinidad con base a la ecuación 14.

Ecuación 14 Cálculo de alcalinidad

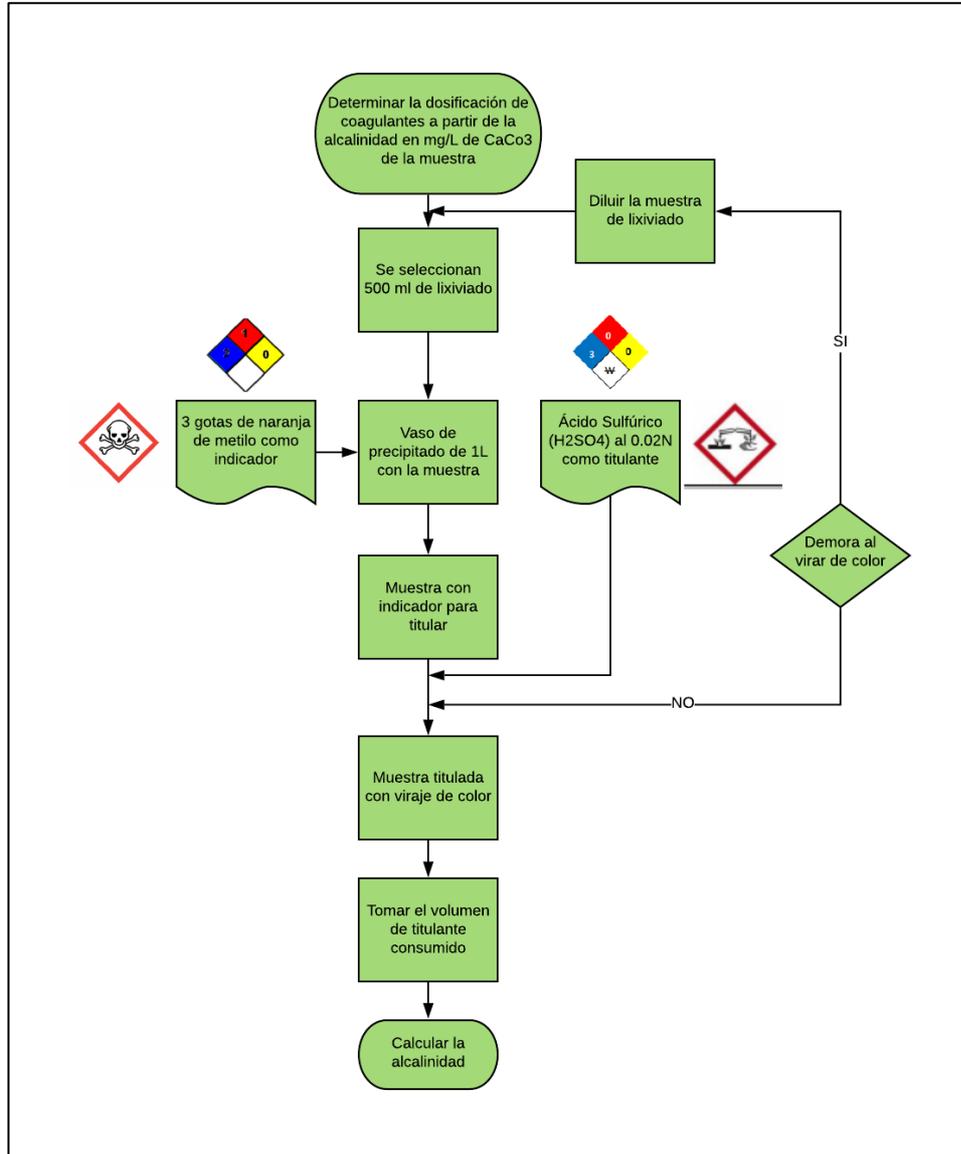
$$\text{Alcalinidad} \left(\frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{L}} \right) = \frac{V_{\text{titulante}} * N * 50.000}{V_{\text{muestra}}}$$

Donde,

- V_{titulante}: es el volumen de titulante gastado.
- N: es la normalidad del titulante (ácido sulfúrico).

- 50000: es un factor miliequivalente en unidades volumétricas.
- $V_{muestra}$: es el volumen utilizado para la muestra.

Diagrama 9 Determinación de la dosificación del coagulante por alcalinidad



Fuente: CASTAÑEDA BELTRÁN, María Camila y RODRÍGUEZ MACÍAS, Alejandro. Desarrollo de una alternativa para el pretratamiento de la corriente de alimentación al proceso de ósmosis inversa en el tratamiento de lixiviados del relleno de Doña Juana. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bogotá: Fundación Universidad de América. Facultad de Ingeniería. 2019. 189 p.

Reemplazando los datos obtenidos se tiene:

$$\text{Alcalinidad} \left(\frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{L}} \right) : \frac{4 \text{ mL} * 0,02 \text{ N} * 50.000}{500 \text{ mL}} = 8 \frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{L}}$$

Como la muestra titulada fue diluida, se involucra el factor de dilución y el valor de alcalinidad se corrige a $40 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3 \right)$.

Tabla 17 Dosis volumétrica del coagulante para cada jarra, SLN madre al 1%

No. Jarra	Concentración madre C2 (mg/L)	Dosis de jarra C1 (mg/L)	Volumen de jarra V1 (ml)	Volumen para tomar la sin madre V2 (ml)
1	10.000	20	1.000	2
2	10.000	40	1.000	3
3	10.000	60	1.000	6
4	10.000	80	1.000	8

Fuente: elaboración propia

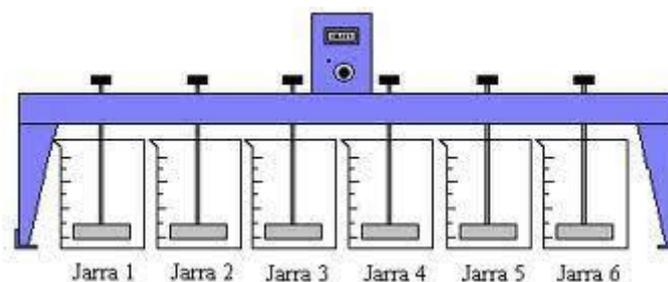
- Se tomaron valores de concentración de dosis de jarra C1 por encima y por debajo del valor obtenido de alcalinidad de manera teórica, y el volumen a tomar de la SLN de coagulante para cada jarra se establece haciendo uso de la ecuación 15.

Ecuación 15 Factor de dilución

$$V1 * C1 = V2 * C2$$

Teniendo la cantidad de coagulante a usarse en cada jarra se procede a establecer el montaje de las jarras en el equipo mostrado en la figura 16. Para generar una mayor compactación y sedimentación del floc posiblemente formado, se agrega floculante polímero poliácridamida al 1 % (1000 mg/L) con una proporción de 1g/L de muestra de agua residual.

Figura 16. Montaje test de jarras



Fuente: Escuela Superior Politécnica del Litoral. [sitio web]. Guayaquil: ESPOL. Disponible en: www.dspace.espol.edu.ec

3.7.3.2 Test de Jarras. La prueba de jarras es un procedimiento que permite, por medio de variaciones en la dosis del coagulante y floculante y alternando las velocidades de mezclado, predecir el funcionamiento de la clarificación química a escala industrial. Este método permite eliminar los coloides en suspensión y materia orgánica que puede producir problemas de turbidez y olor, se programa el equipo de jarras como lo presenta la tabla 18.

Tabla 18 Programación del equipo para realizar la prueba de jarras

Tipo de mezcla	Velocidad (rpm)	Tiempo (seg)	Procedimiento
Rápida	120	60	Coagulación
Media	90	25	Coagulación
Lenta	40	180	Floculación
Estática	0	3.600	Sedimentación

Fuente: elaboración propia

La mezcla rápida ayuda a dispersar el coagulante en cada jarra dado para cambiar el comportamiento de las partículas en suspensión, los coagulantes son aditivos químicos como sales metálicas que ayudan a producir agregados pequeños para formar partículas grandes⁶⁰. La velocidad escogida para este proceso fue de 120 RPM durante 60 segundos. Por otro lado, la mezcla lenta ayuda a promover la formación de flóculos por las colisiones de partículas que se presentan formando grandes flóculos, que posteriormente serán separados del agua clarificada por medio de sedimentación o filtración. La velocidad escogida para este proceso fue de 40 RPM durante 3 minutos⁶¹.

• Ensayo 1: Prueba de jarras

Preparación de reactivos:

- I. Policloruro de aluminio (PAC): se prepara una solución de PAC al 10%, es decir, 10 mL de PAC comercial + 90 mL de agua destilada.
- II. Cloruro Férrico: se prepara una solución de FeCl_3 al 10%, es decir, 10 mL de FeCl_3 comercial + 90 mL agua destilada.
- III. Ayudante de coagulación (Polímero Poliacrilamida): se prepara una solución de polímero poliacrilamida al 1%, es decir, 10g Polímero + 1L de agua destilada.

Figura 17. Preparación de reactivos de la prueba de tratabilidad



Fuente: elaboración propia

⁶⁰ DÍAZ, Ana María. Prueba de jarras procedimiento experimental [en línea]. Fundación Universitaria Luis Amigo. 2018. 5 p. [Consultado: 01 de Diciembre de 2019]. Disponible en: <https://www.docsity.com/es/prueba-de-jarras-procedimiento-experimental/2682309/>

⁶¹ BRAVO ROBAYO, David Andrés y HENAO OVALLE, Zulysmileth. Op. cit., p. 88.

La tabla 19 presenta el resumen de los datos obtenidos en la prueba de tratabilidad para cada tipo de coagulante, también es necesario calcular el porcentaje de remoción. Tomando como ejemplo la primera jarra, se determina usando la ecuación 16.

Ecuación 16 Calculo del porcentaje de remoción

$$\% \text{Remoción} = \frac{\text{Turbiedad inicial} - \text{Turbiedad final}}{\text{Turbiedad inicial}} * 100$$

$$\% \text{Remoción} = \frac{277 - 228,9}{277} * 100 = 17,37\%$$

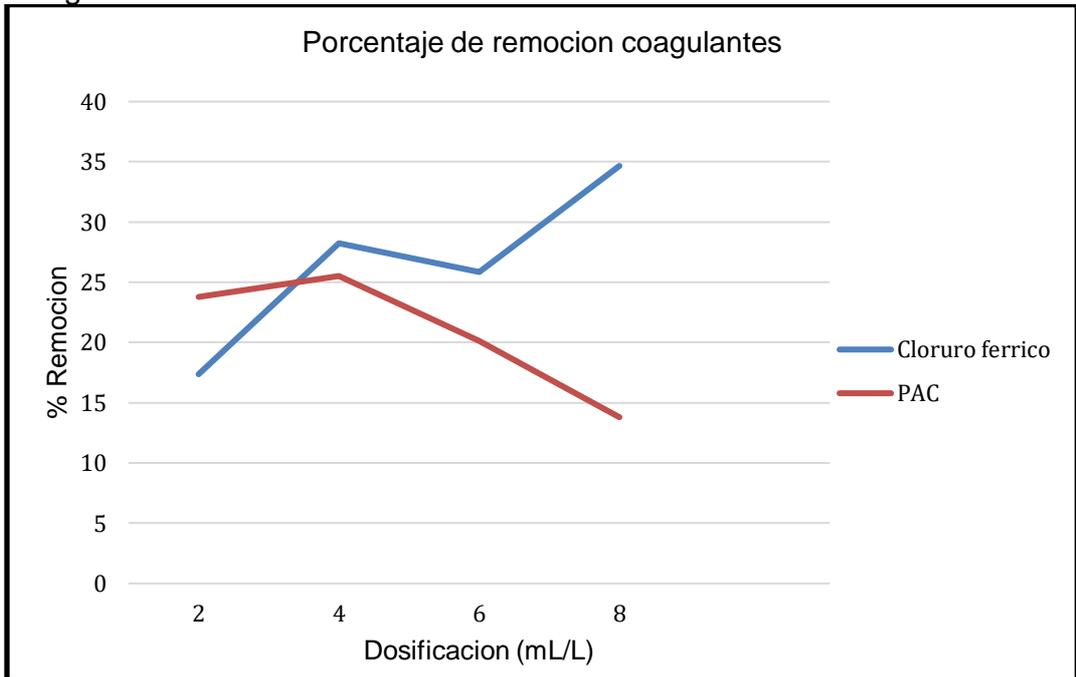
Tabla 19 Resultados de la prueba de tratabilidad primer ensayo

Coagulante	No. Jarra	Dosis (ml/l)	Ph	Turbiedad inicial (ntu)	Turbiedad final(ntu)	% Remoción
FeCl ₃	1	2	7,45	277	228,9	17,37
	2	4			198,8	28,23
	3	6			205,4	25,85
	4	8			181	34,66
PAC	5	2			211,1	23,80
	6	4			206,3	25,52
	7	6			221,3	20,11
	8	8			238,8	13,80

Fuente: CASTAÑEDA BELTRÁN, María Camila y RODRÍGUEZ MACÍAS, Alejandro. Desarrollo de una alternativa para el pretratamiento de la corriente de alimentación al proceso de ósmosis inversa en el tratamiento de lixiviados del relleno de Doña Juana. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bogotá: Fundación Universidad de América. Facultad de Ingeniería. 2019. 189 p.

Se selecciona la jarra no. 4 que contiene como coagulante cloruro férrico (FeCl₃) al 10% en una proporción de 8 mL/L, porque se obtiene un porcentaje de remoción del 34,66%.

Grafica 2 Representación gráfica del porcentaje de remoción para cada coagulante

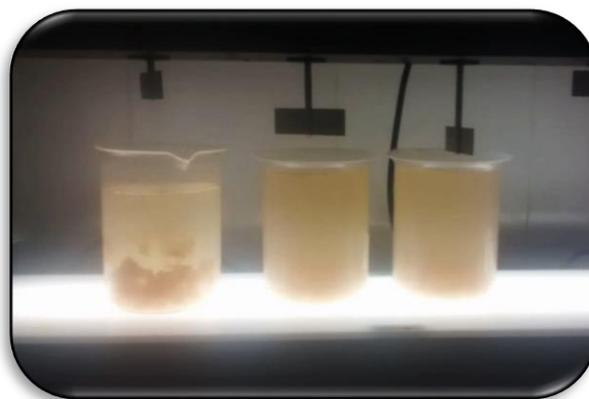


Fuente: elaboración propia

- **Ensayo 2: Prueba de jarras**

Se realiza un segundo test de jarras con concentraciones por encima de la proporción de cloruro férrico que presentó mejor comportamiento: 8 mL/L, las proporciones seleccionadas fueron 10 mL/L y 12 mL/L; sin embargo, no se genera suficiente cantidad de sólidos sedimentables y sobrenadante clarificado como se observa en la figura 18, con esta evidencia se determina que la proporción de 8 mL/L es la más adecuada para el tratamiento.

Figura 18. Desarrollo experimental ensayo de jarras 2



Fuente: elaboración propia

Figura 19. Jarra con mayor cantidad de floc fisicoquímico con cloruro férrico



Fuente: elaboración propia

La jarra expuesta en la figura 19, presenta el comportamiento de la dosificación adecuada para el proceso de clarificación química en el diseño del tratamiento del efluente industrial objetivo, en donde el cloruro férrico (FeCl_3) al 10 % se agrega con una dosis en concentración de 80 ppm o mg/L y volumétricamente a 8 mL/L.

Tabla 20 Resumen general de la proporción para la solución optima

Solución	Preparación	Proporción (volumétrica) optima ml/l
Cloruro férrico 10%	10mL/L	8
Soda caustica 4% (NaOH)	40 gr/L	6,30
Ayudante coagulación (Polímero Poliacrilamida) al 1%	1 gr/L	2

Fuente: elaboración propia

3.7.4 Diseño del DAF a escala piloto. El DAF se utiliza cuando existen grandes cantidades de grasa que deben ser removidas como ocurre en las empresas lácteas⁶². Para el diseño del DAF (Disolved air flotation) se hace necesario conocer el caudal al cual el efluente sale de la trampa de grasas. Para realizar el diseño a escala piloto se tuvo en cuenta un flujo máximo de 100 L/h, también se establece la concentración de sólidos suspendidos totales, grasas y aceites que pueden generarse en el efluente, se desarrolla el diseño de este equipo en un escenario crítico, los datos se resumen en la tabla 21.

Tabla 21 Datos generales del diseño del DAF a escala piloto

Parámetro	Convención	Unidad	Valor
Caudal	Q	m ³ /min	1,7x10 ⁻³
Caudal de recirculación	Qr	m ³ /min	2,5x10 ⁻⁴
Concentración de SST	CSST _{in}	mg/L	200
Concentración de GYA	CGYA _{in}	mg/L	150

Fuente: elaboración propia

La ecuación de diseño del equipo se define principalmente por la relación de aire/sólidos, según Eckenfelder (1997) depende de la eficiencia del sistema. Este parámetro se encuentra en función de la relación de los kg de aire utilizado y kg de sólidos suspendidos. El valor oscila entre 0,006 y 0,02 kg aire / kg sólidos y se encuentra asociado principalmente al pH del agua residual, presión del sistema y concentración de sólidos⁶³. En el documento: “Diseño de una unidad de flotación con aire disuelto para la remoción de contaminantes de las aguas residuales generadas en una empresa manufacturera⁶⁴” (2015) se utiliza un valor de 0,042 mL aire / mg SST, pero al tratarse de una empresa láctea y tener un alto nivel de carga orgánica se escoge el valor de 0,05 mL aire / mg SST para los cálculos necesarios.

Así mismo, es esencial determinar la cantidad de aire requerido, potencia requerida, área superficial de diseño, ancho, altura y volumen del diseño, para esto se define que el peso del aire Standard a 20 °C es de 1,225 kg aire/ m³.

Ecuación 17 Cantidad de aire requerido

$$\text{Cantidad aire } \left(\frac{\text{L aire}}{\text{dia}} \right) : \frac{(([\text{SST}] + [\text{GyA}]) * 0.85)^6 * A/S}{1000}$$

Ecuación 18 Potencia requerida

$$\text{Potencia requerida (HP)} : \frac{\text{Peso aire Standard } \left(\frac{\text{kg aire}}{\text{m}^3} \right)}{\text{Transferencia de aire} * 24}$$

⁶² OROZCO JARAMILLO, Álvaro. Bioingeniería de aguas residuales teoría y diseño. 2 ed. Bogotá, Colombia: ACODAL. 2014, 566 p. ISBN: 978959965482.

⁶³ Ibid., p. 309

⁶⁴ RIERA, María y GRATEROL, Nelson. Diseño de una unidad de flotación con aire disuelto para la remoción de contaminantes de las aguas residuales generadas de una empresa manufacturera. En: UNEXPO. Barquisimeto, Venezuela: Universidad de Yacambú, 2014, vol. 5, nro. 2, 20 p.

Ecuación 19 Área superficial de diseño

$$\text{Area superficial diseño}(A_s) \text{ m}^2: \frac{Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{\text{TDS} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{h}}\right)}$$

Ecuación 20 Ancho de diseño

$$\text{Ancho diseño(m): } \sqrt[2]{A_s * Fr}$$

Ecuación 21 Largo de diseño

$$\text{Largo diseño(m): } \text{Ancho} * Fr$$

Ecuación 22 Volumen de diseño

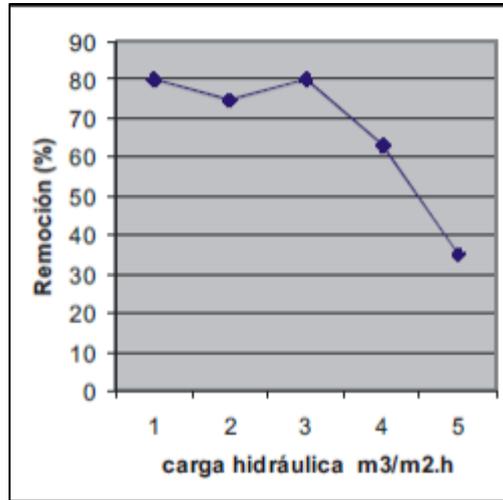
$$\text{Volumen diseño}(V_d) \text{ m}^3 : H * a * L_s$$

Donde Fr es el factor relación LARGO: ANCHO, el valor escogido fue de 2 para garantizar la coherencia en los datos. Según Orozco (2014) la solubilidad del aire a una temperatura de 20 °C es de 18,7 mL/L y la fracción de aire disuelto a una determinada presión, generalmente adopta el valor de f: 0,5⁶⁵. Respecto a la tasa de desbordamiento superficial (TDS) el DAF debe cumplir con un valor entre 0,5 y 10 m³/(m²*h), preferiblemente 5⁶⁶. El valor seleccionado para el diseño a escala piloto fue de 2 m³/(m²*h). La figura 20 sustenta la eficiencia de operación teniendo la carga superficial o hidráulica como variable principal.

⁶⁵ OROZCO, A, (2014). Bioingeniería de aguas residuales teoría y diseño. ACODAL. Bogotá, Colombia. Segunda edición. Pag 310-312

⁶⁶ Ibid., Pag 309

Figura 20. Remoción de carga suspendida operativamente vs. carga hidráulica



Fuente: SALAS COLOTTA, G. Diseño de un flotador por aire disuelto (DAF) en el tratamiento del agua residual de una textil. En: Revista permanente de Química [en línea]. Universidad de San Marcos, Facultad de Ingeniería Química, p. 36-39. [Consultado: 04 de diciembre de 2019] Disponible en: <https://studylib.es/doc/7805939/dise%C3%B1o-de-un-flotador-por-aire-disuelto--daf--en-el-tratamiento>.

El tiempo de retención para el diseño del DAF según Romero (2008) oscila entre 5 y 15 min, pero el valor típico es 10 min que equivale a 0,167h⁶⁷. Por último, para desarrollar la experimentación se opta por un compresor de 1 a 2 CFM y un máximo de 0,25 HP que permiten cumplir con el requerimiento.

⁶⁷ ROMERO ROJAS, Jairo. Op. cit., p. 355.

Tabla 22 Dimensiones del DAF a escala piloto

Parámetro	Convención	Unidad	Valor
Peso requerido de aire	-	Kg aire/día	0,044
Potencia seleccionada	-	HP	0,25
Área superficial	Ab	m ²	0,1
Factor relación largo: ancho	-	-	2
Ancho diseño	b	m	0,16
Ancho seleccionado	a	m	0,20
Largo diseño	L	m	0,32
Largo seleccionado	Ls	M	0,40
Altura efectiva	H	m	0,30
Altura efectiva seleccionada	Hf	m	0,2
Borde libre	b	m	0,1
Altura total	HT	m	0,30
Volumen diseño	Vd	m ³	0,016

Fuente: elaboración propia

- **Diseño salida de agua clarificada.** Es necesario realizar el diseño del vertedero al que ha pasado el agua por rebose. Se debe determinar la longitud neta los vertederos (Ll) que corresponde al ancho seleccionado del DAF, por otro lado, la distancia de las muescas se encuentra en el rango de 0,10 m y 0,30 m; dado que se trata del diseño a escala piloto se escoge un valor de 0,05 m. Definidos los aspectos anteriores se hace el cálculo del número de vertederos, caudal unitario, caudal sobre el vertedero y las dimensiones de este. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 23.

Ecuación 23 Número de vertederos

$$\# \text{ vertederos: } \frac{\text{Longitud total vertederos (m)}}{\text{Distancia entre muescas (m)}}$$

Ecuación 24 Caudal unitario

$$Q_{uv} \text{ (m}^3\text{/s): } \frac{Q_p \text{ (m}^3\text{/s)}}{\# \text{ vertederos}}$$

Ecuación 25 Carga sobre el vertedero

$$\text{Carga sobre el vertedero (m}^3\text{/m}^2 \text{ * d): } \frac{Q_p \text{ (m}^3\text{/día)}}{Ll \text{ (m)}}$$

Ecuación 26 Numero de vertederos

$$\# \text{ vertederos: } \frac{\text{Longitud camara de llegada (m)}}{\text{Distancia entre muescas (m)}}$$

Ecuación 27 Altura de la lámina del vertedero

$$H = \frac{Q^{2/3}}{1,84L}$$

Ecuación 28 Altura total del vertedero

$$H_{tv} : \text{Altura lamina vertedero} + \text{Borde libre}$$

Ecuación 29 Ancho vertedero

$$W_v: 2 * H_{tv} * \tan\left(\frac{90}{2}\right)$$

Donde: Θ : 90°

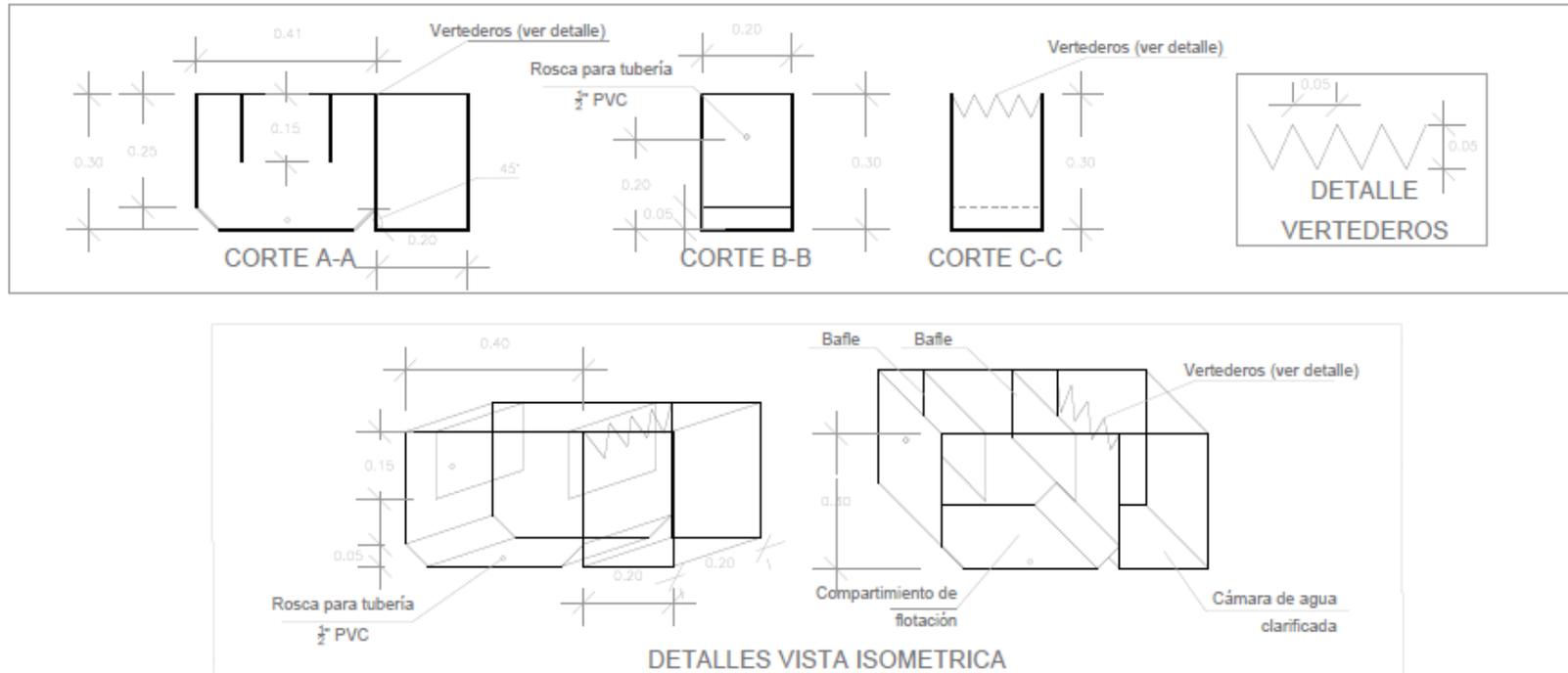
Tabla 23 Diseño de la salida del agua clarificada del DAF

Parámetro	Convención	Unidad	Valor
Longitud neta vertederos	LI	m	0,20
Número de vertederos	Nv	und	4
Distancia entre muescas	Dm	m	0,05
Caudal unitario	Q_{uv}	m ³ /s	0,00042
Altura de la lámina del vertedero	Hv	m	0,040
Altura total del vertedero	H _{Tv}	m	0,090
Ancho del vertedero	Wv	m	0,18

Fuente: elaboración propia

En la figura 21 se muestra el plano general del diseño efectuado para el DAF a escala piloto.

Figura 21. Plano del DAF a escala piloto



Fuente: elaboración propia con base en INGEAMBIENTAL SAS

3.7.4.1 Experimentación. Se midió el pH de la muestra a tratar con un pH metro, para determinar las condiciones iniciales. Dado que se encontraba fuera del rango necesario para que exista formación de floc, se agregó la dosis obtenida en la prueba de tratabilidad (Test de Jarras) de soda cáustica para neutralizarla. La cantidad agregada se encuentra descrita en la tabla 24; el valor obtenido de pH al iniciar su tratabilidad fue de 8.

Tabla 24 Dosificación soda cáustica para el DAF

Dosis soda cáustica (ml/L)	Cantidad de muestra (L)
6,30	1
107,1	17

Fuente: elaboración propia

Luego, por medio de una bomba sumergible de pecera con capacidad máxima de 300L/h se impulsó el agua hasta que el DAF se llenara con toda muestra de agua residual, manteniendo un factor de seguridad, puesto que las bombas hidráulicas en general no tienen un 100 % de eficiencia, con respecto a su capacidad de impulsión y cabeza hidrostática⁶⁸. Se aforó la bomba para asegurar que alcanzara el caudal propuesto en el diseño de 100 L/h. Posteriormente, se agregó la dosis de coagulante y floculante determinado en la prueba de tratabilidad (Test de Jarras) que dan lugar a la aglomeración de coloides y sólidos suspendidos que se deben sedimentar. La proporción de cada reactivo se presenta en la tabla 25, para esto se fue agregando de a 1 mL de cada reactivo para asegurar una mezcla uniforme, se agregó inicialmente el coagulante y posteriormente el floculante.

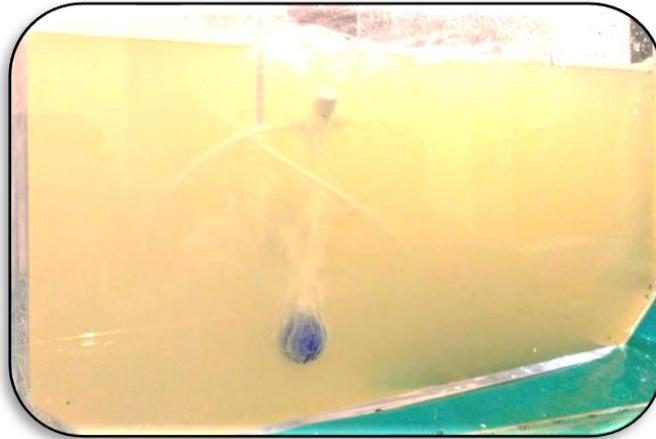
Tabla 25 Proporción de coagulante y floculante a escala piloto

Coagulante cloruro férrico (ml/l)	Floculante Poliacrilamida (ml/l)	Volumen muestra (l)
8	2	1
136	34	17

Fuente: elaboración propia

⁶⁸ MOTT, Robert. Mecánica de fluidos aplicada. México: Pearson. 4 ed. 1996. 515 p. ISBN: 0-02-384231-8.

Figura 22. Burbujeo del DAF para la adhesión de partículas



Fuente: elaboración propia

El compresor de aire inició su funcionamiento siguiendo las especificaciones de diseño de máximo 2 CFM durante 1 min⁶⁹; este se encuentra conectado a la parte interna del sistema de flotación con 4 difusores de burbuja fina de pecera permitiendo una mezcla homogénea y rápida del agua residual. Por medio de la aireación, las partículas adheridas a las burbujas grandes se pueden separar por la presión a la que se somete la muestra; por otro lado, las pequeñas burbujas se adhieren a las partículas grasas para que sean elevadas hasta la superficie y se puedan retirar del sistema. Posteriormente, se dejó reposar la muestra dentro del sistema de flotación por aire disuelto durante 3 minutos hasta que las partículas se sedimentaron como se muestra en la figura 23.⁷⁰

⁶⁹ ROMERO ROJAS, Jairo. Op. cit., p. 358.

⁷⁰ RIERA, María y GRATEROL, Nelson. Diseño de una unidad de flotación con aire disuelto para la remoción de contaminantes de las aguas residuales generadas de una empresa manufacturera. En: UNEXPO. Barquisimeto, Venezuela: Universidad de Yacambú, 2014, vol. 5, nro. 2, 20 p

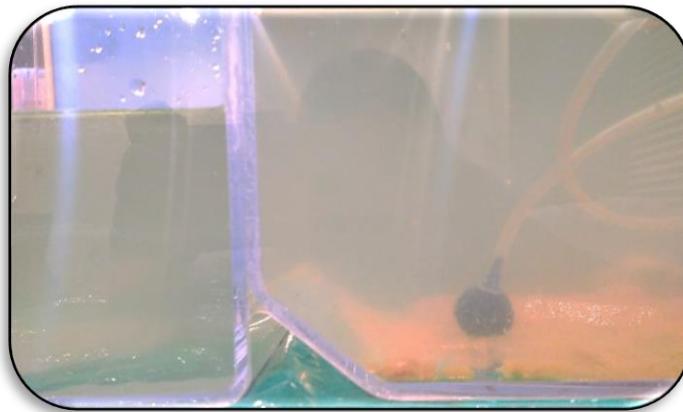
Figura 23. Partículas sedimentadas en el DAF



Fuente: elaboración propia

Por último, se introdujo la bomba sumergible de pecera, usada en toda la experimentación, dentro del DAF para impulsar el agua que ha sido clarificada a la cámara de salida. Para esto las grasas flotantes se retiran, dejando así únicamente los sólidos suspendidos en el fondo. En la figura 24 se observa lo mencionado, el efluente obtenido se sometió a los otros tratamientos propuestos.

Figura 24. Obtención del agua clarificada en la cámara de salida



Fuente: elaboración propia

3.7.5 Diseño de filtro de arena y carbón activado a escala piloto. La filtración permite obtener el efluente a la salida de los filtros con un olor, color y turbidez de mejor calidad que cumple con la normativa colombiana para su posterior desagüe. Se debe tener en cuenta que los granos del medio filtrante para aguas residuales son grandes respecto a los de agua potable, para que el filtro tenga una velocidad apropiada y pueda almacenar el volumen del floc removido.⁷¹ El diseño del filtro para aguas residuales requiere de una selección apropiada del tamaño del medio filtrante, profundidad del lecho de filtración, tasa de filtración y pérdida de la carga disponible. Tal como se expresa en el libro “Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño” la mejor manera de seleccionar estos parámetros y prever un diseño de costo mínimo es desarrollar un estudio a escala piloto. A continuación, se presenta el estudio realizado.⁷²

3.7.5.1 Filtro de arena. Se realiza el diseño del filtro de arena sílice de malla 20-30 equivalente a un tamaño de grano de 0,59 mm a 0,84 mm, este tipo de arena tiene un 80% de retención y realiza el proceso de filtración adecuado sin permitir que las partículas que deben ser removidas pasen por los intersticios sólidos. Para obtener un agua filtrada de calidad, un material anguloso o silíceo tendrá un diámetro efectivo menor que el de material de granos redondos o de arrastre⁷³.

Tabla 26 Propiedades físicas y químicas de la arena utilizada

Propiedades físicas		
Gravedad específica	g/cm ³	2,63
Densidad aparente	g/cm ³	1,76
% Humedad	-	1
pH	-	7
Propiedades químicas		
% SiO ₂		99,86
% Al ₂ O ₃		0,16
% Fe ₂ O ₃		0,09
% TiO ₂		0,04
% Na ₂ O		< 0,01

Fuente: elaboración propia con base en FINOS Y GRANITOS S.A.S. Ficha técnica de Arena Sílice Malla (20-40) [en línea]. Sogamoso, Boyacá. 2 p. [Consultado: 19 de diciembre de 2020]. Disponible en: <https://www.finosygranitos.com/wp-content/uploads/2018/05/FICHA-TECNICA-ARENA-M-20-40.pdf>

Por otro lado, se tiene la grava silíceo de malla 4-8 equivalente a un tamaño de partícula de 2,4 mm a 4,8 mm, que cumple su función como material granular filtrante. Proporciona una alta resistencia a la abrasión y evita el paso de flóculos a través del filtro, también la permeabilidad del material es un factor importante

⁷¹ ROMERO ROJAS, Jairo. Op. cit., p. 666.

⁷² ROMERO ROJAS, Jairo. Op. cit., p. 669.

⁷³ METCALF & EDDY, INC. Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. España: McGraw-Hill. 1995. 3 ed. vol. 1. 1459 p. ISBN: 84-481-1612-7.

porque se identifica con la capacidad de absorber agua, la grava como medio poroso posee espacios que permiten el efecto permeable del material.⁷⁴

Tabla 27 Propiedades físicas y químicas de la grava

Propiedades físicas		
Gravedad específica	g/cm ³	2,63
Densidad aparente	g/cm ³	1,76
% Humedad	-	1
pH	-	7
Propiedades químicas		
% SiO ₂		98,5
% Al ₂ O ₃		0,16
% Fe ₂ O ₃		0,09
% TiO ₂		0,04
% Na ₂ O		< 0,01

Fuente: elaboración propia con base en FINOS Y GRANITOS S.A.S. Ficha técnica de Arena Sílice gruesa Malla (4-8) [en línea]. Sogamoso, Boyacá. 2 p. [Consultado: 19 de diciembre de 2020]. Disponible en: https://www.finosygranitos.com/wp-content/uploads/2017/11/FICHATECNICA_M4-8_V1.pdf

3.7.5.2 Diseño del filtro de arena a escala piloto. En el diseño del filtro de arena, el principal parámetro es la tasa de filtración, para este sistema de tratamiento de filtro con medio dual varía entre 120 a 600 m/d⁷⁵. Se seleccionó el valor de 240 m/d porque para valores mayores el diámetro aumenta incrementando los costos de implementación. Se determinan otros parámetros importantes tales como área superficial, altura total, altura de la arena, altura de la grava, tiempo de retención, entre otros.

Ecuación 30 Calculo del área superficial

$$As \text{ (m}^2\text{)}: \frac{Qh \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{Qm \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}$$

Ecuación 31 Diámetro del filtro de arena

$$D \text{ (m)}: \frac{4 * As}{\pi^{1/2}}$$

Se hace un ajuste del diámetro a un valor entero dando como resultado 0,10 m lo que equivale a 3,9 in, por esta razón en la construcción del filtro se selecciona un tubo de PVC de 4" de diámetro. De acuerdo con la revisión bibliográfica, para

⁷⁴ ARIAS VACA, Jorge Santiago. Análisis de la grava como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria florícola la herradura Floherrer S.A. ubicada en el Cantón Salcedo. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Ecuador: Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. 2017. 102 p.

⁷⁵ ROMERO ROJAS, Jairo. Op. cit., p. 672.

el desarrollo a escala piloto se asume el valor de altura total que corresponde a H: 0,40m.⁷⁶

Ecuación 32 Volumen del filtro de arena

$$V \text{ (m}^3\text{)}: A_s \text{ (m}^2\text{)} * H \text{ (m)}$$

Ecuación 33 Tiempo de retención del filtro

$$\text{Tr (min)}: \frac{Q_h \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) * 60}{V \text{ (m}^3\text{)}}$$

Ecuación 34 Altura del medio filtrante total

$$H_m \text{ (m)}: \frac{2 * H}{3}$$

Se determina que el 80% de la altura total del medio corresponde a la altura de la arena sílice que es el medio filtrante principal y con mayor capacidad de remoción de turbidez y materia orgánica. En conclusión, la altura de la arena corresponde a 0,20 m y la altura de la grava es de 0,07 m⁷⁷. Los parámetros calculados para el diseño del filtro se presentan en la tabla 28.

Tabla 28 Diseño del filtro de arena a escala piloto

Parámetro	Convención	Unidad	Valor
Caudal	Qm	m ³ /h	0,10
Tasa filtración	Qh	m/d	240
Área superficial	As	m ²	0,01
Diámetro	D	m	0,11
Altura	H	m	0,40
Volumen	V	m ³	0,004
Tiempo retención	Tr	h	0,04
Altura medio (2/3H)	Hm	m	0,27
Altura arena	Ha	m	0,20
Altura grava	Hg	m	0,07

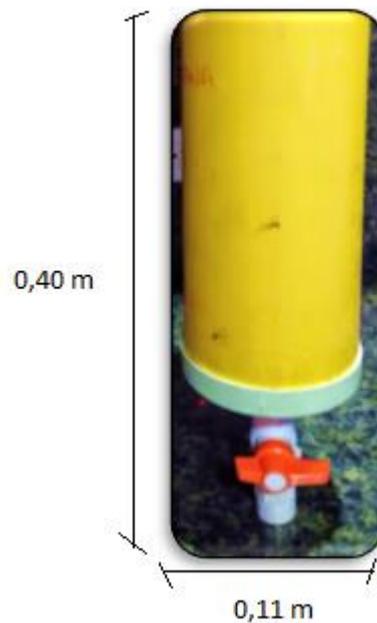
Fuente: elaboración propia

- **Construcción del filtro de arena y experimentación.** Para la construcción del filtro se utilizó tubo de PVC de 4" de ancho y 0,4 m de largo, se acopló un tapón en la parte de inferior del filtro, para lograr incorporar una válvula de globo que cumple con la función de dar paso al caudal a la salida del filtro como se muestra en la figura 25.

⁷⁶ BULLA TRUJILLO, Laura Marcela y TORRES NOVA, Elsa Natali. Op. cit., p. 97.

⁷⁷ DI BERNARDO, L. Water Supply Problems and Treatment Technologies: Developing Countries of South America Journal Water SRT-Aqua. Estados Unidos. 1991. vol. 40. nro. 3.

Figura 25. Montaje filtro de arena sílice



Fuente: elaboración propia

Por último, se procede a realizar el llenado de cada medio filtrante empezando por la grava hasta una altura de 0,07 m. Seguidamente, se añadió la arena sílice constituyendo una altura de 0,27 m; dejando así un borde libre de 0,13 m para poder agregar el efluente procedente de la cámara de salida del DAF. Para evitar filtraciones de grava y arena a la salida del agua residual, se debe incorporar papel filtro.

3.7.5.3 Filtro de carbón activado. El filtro de carbón activado tiene como característica principal la adsorción, donde átomos de la superficie de un sólido atraen y acumulan moléculas de otros compuestos o sustancias⁷⁸. Es un fenómeno que se relaciona directamente con el flujo volumétrico y la tasa de filtración, a mayor área superficial los granos de carbón activado tendrán mayor capacidad de adsorción, se selecciona una tasa de filtración menor a la del filtro de arena igual a 180 m/d⁷⁹. El área superficial, diámetro, altura, volumen, tiempo de retención fueron calculados de la misma forma como se hizo para el filtro de arena. Respecto al diámetro se obtiene un valor de 5,13 in, al ser aproximado al entero más cercano se usa en la experimentación tubo PVC de 6”.

Para la determinación de la altura efectiva se debe tener en cuenta un borde o espacio libre del 50% de dicha altura para garantizar buena fluidización del carbón activado a la hora de ejecutarse el respectivo retro lavado o lavado

⁷⁸ ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. Colombia: McGraw-Hill. 3 ed. 2000. 204 p. ISBN: 958-41-0014-9.

⁷⁹ OROZCO JARAMILLO, Álvaro. Bioingeniería de aguas residuales teoría y diseño. 2 ed. Bogotá, Colombia: ACODAL. 2014, p. 671. ISBN: 978959965482.

ascendente⁸⁰. La altura total del filtro es de 0,50 m, para determinar la altura del carbón activado se calculó con el 80% de la altura del medio obteniendo un valor de 0,20 m y se complementa con la altura de la grava que es de 0,05 m. Los resultados se resumen en la tabla 29.

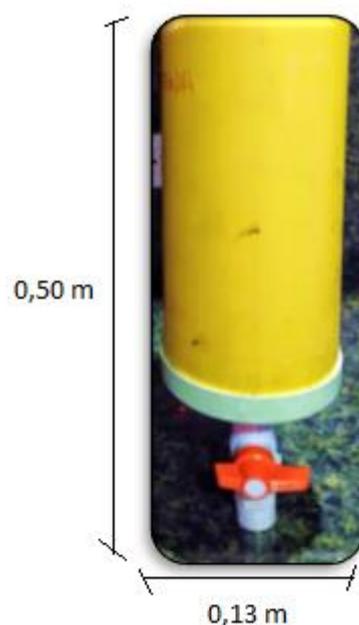
Tabla 29 Diseño del filtro de carbón activado a escala piloto

Parámetro	Convención	Unidad	Valor
Caudal	Qm	m ³ /h	0,10
Tasa filtración	Qh	m/d	180
Área superficial	As	m ²	0,01
Diámetro	D	m	0,13
Altura	H	m	0,50
Volumen	V	m ³	0,007
Tiempo retención	Tr	h	0,07
Altura medio (1/2H)	Hm	m	0,25
Altura carbón activado	Hc	m	0,20
Altura grava	Hg	m	0,05

Fuente: elaboración propia

- **Construcción del filtro de carbón activado y experimentación.** Para la construcción del filtro de carbón activado se utilizó un tubo PVC de 6" de ancho (medida comercial) y 0,50 m de largo. Al igual que el filtro de arena fue necesario hacer un uso de una válvula de globo para regular el caudal a la salida del filtro y logra recolectar el agua tratada para su posterior análisis fisicoquímico en laboratorio.

Figura 26. Montaje filtro de carbón activado



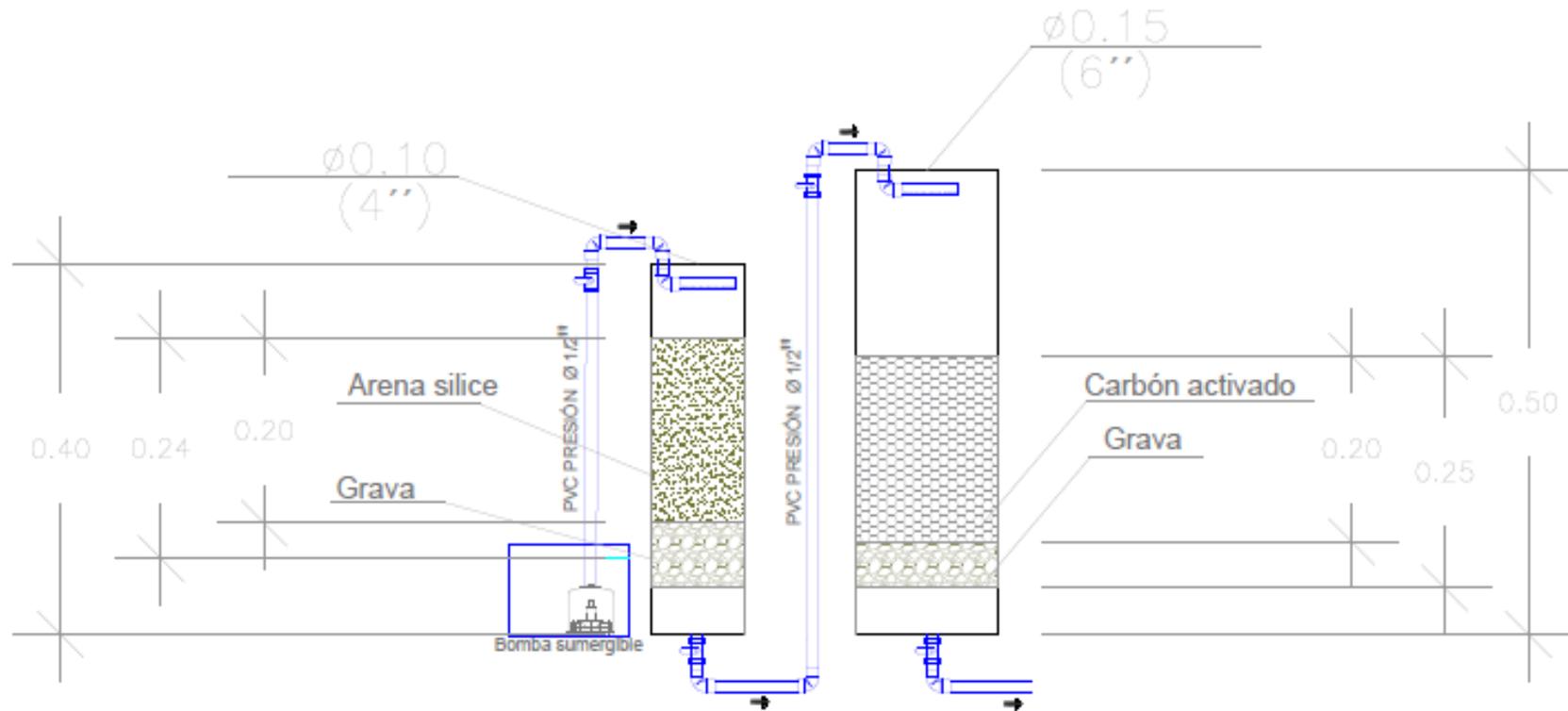
Fuente: elaboración propia

⁸⁰ ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Op. cit., p. 205.

Luego se procede a colocar papel filtro en la parte inferior para evitar que el agua tratada contenga partículas indeseadas. Se llena con grava hasta completar una altura de 0,05 m, y por último con carbón activado hasta que alcance una altura igual a 0,25 m. Se debe destacar que el llenado se hace con el agua filtrada que se obtiene del filtro de arena y se espera que con el carbón activado se termine de eliminar los contaminantes presentes.

3.7.5.4 Planos de los filtros. Se presenta en la figura 27 el plano a escala piloto de cada uno de los filtros diseñados para la experimentación con los detalles establecidos para cada diseño.

Figura 27. Diseño de los filtros a escala piloto



Fuente: elaboración propia

3.8 RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACIÓN

Una vez se obtiene el agua tratada a la salida del filtro de carbón activado como se observa en la figura 28, se procede a recolectar la muestra según especificaciones del laboratorio, para garantizar la preservación del efluente.

Figura 28. Efluente tratado

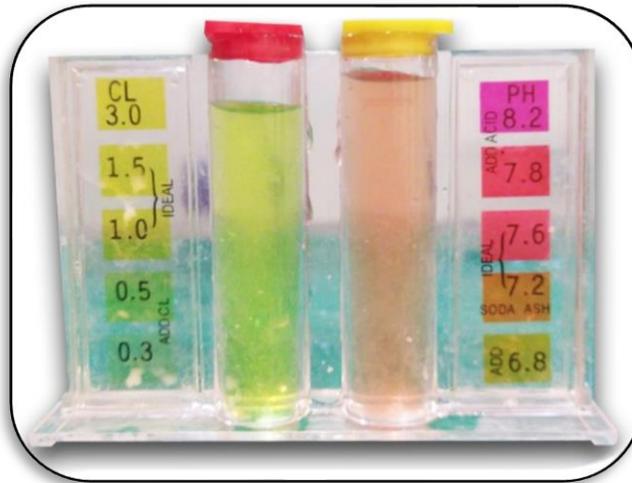


Fuente: elaboración propia

Las muestras fueron almacenadas en recipientes debidamente rotulados, para el caso de pH y SST en recipiente de plástico y para DBO₅, DQO, grasas y aceites en vidrio; de la misma forma que la primera caracterización del agua cada recipiente contiene el preservante adecuado.

3.8.1. Resultados a nivel laboratorio del efluente tratado. Al agua tratada se le mide pH y cloruros que permiten tener claridad de algunas de las características fisicoquímicas del efluente tratado. Los valores obtenidos se presentan en la tabla 30. Para determinar el pH fue necesario tomar la muestra con agua a 30 cm de profundidad y posteriormente agregar 5 gotas de solución rojo fenol (Phenol Red) agitando hasta mezclar completamente la solución. Para los cloruros se tomó de igual forma la muestra a 30 cm de profundidad, se agregó 5 gotas de solución OTO (Orthololidine), posteriormente se procesa a hacer la lectura de cada uno con los valores obtenidos como se muestra en la figura 29.

Figura 29. Test de pH y cloro por Asequimicos SAS



Fuente: elaboración propia

Tabla 30 Resultados de la medición de pH y cloro

Parámetro	Unidad	Valor
pH	-	7.8
Cl	ppm	1

Fuente: elaboración propia

Las técnicas implementadas para la medición de los parámetros a nivel laboratorio están dadas por el Laboratorio Quimicontrol las cuales fueron descritas en la sección 2.4.3. Los resultados de la caracterización del efluente tratado en la escala piloto se presentan en la tabla 31.

Tabla 31 Resultados de la experimentación a escala piloto

Parámetro	Unidad	Resultado
pH en laboratorio a 25 °C	-	7,19
Demanda química de Oxígeno DQO	mg/L O ₂	136
Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅	mg/L O ₂	32
Solidos suspendidos totales SST	mg/L	30
Grasas y aceites	mg/L	14,6

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con los resultados obtenidos se procede a realizar la comparación con los valores máximos permisibles por la Resolución 0631 de 2015.

3.8.2. Análisis de los resultados obtenidos en base a la Resolución 0631 de 2015. A partir de los resultados entregados por el Laboratorio Quimicontrol, es de vital importancia realizar la comparación de cada uno de los parámetros críticos con lo establecido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en la Resolución 0631 de 2015 para las empresas productoras de derivados lácteos, para determinar si cumple o no con la norma. La comparación se presenta en la tabla 32.

Tabla 32 Comparación de los parámetros críticos y los resultados obtenidos

Parámetro	Unidad	Resultado primera caracterización	Resultado experimentación final	Valor máximo permisible en la norma	Nivel de cumplimiento
pH en laboratorio a 25 °C	-	4,73	7,19	6-9	Cumple
Demanda química de Oxígeno DQO	mg/L O ₂	1690,14	136	250	Cumple
Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅	mg/L O ₂	874,31	32	450	Cumple
Solidos suspendidos totales SST	mg/L	118	30	150	Cumple
Grasas y aceites	mg/L	59,7	14,6	20	Cumple

Fuente: elaboración propia

4. REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

Para desarrollar el dimensionamiento de cada uno de los equipos utilizados a escala industrial, se utilizan cálculos presentados en la revisión bibliográfica, el balance hídrico y los datos experimentales obtenidos previamente. En este capítulo se encuentran cada una de las dimensiones y especificaciones del diseño, el caudal utilizado para el desarrollo del dimensionamiento de cada equipo es de 5 m³/día de agua residual a tratar, el tiempo de operación es de aproximadamente 2 horas para cada tratamiento y se realiza cada dos días, el efluente a la salida se almacena en el tanque homogeneizador. Enseguida se presentan los cálculos de los respectivos equipos.

4.1 DISEÑO GENERAL DAF

En cuanto a la concentración de SST y GyA corresponde a valores determinados en la primera caracterización para garantizar que el equipo funcionara de manera correcta en horarios donde se incremente el caudal. La relación de aire/sólidos, peso de aire, cantidad de aire requerido, potencia seleccionada, área superficial, ancho, largo, altura, volumen y tiempo de retención del diseño se encuentran descritos por las ecuaciones del diseño a escala piloto. En cuanto a la presión manométrica requerida en la inyección se calcula en base al libro Bioingeniería de Aguas Residuales⁸¹ con la ecuación 35.

Ecuación 35 Presión manométrica necesaria

$$\frac{A}{S} = \frac{1,3 * sa(fP - 1)}{Sa}$$
$$P \text{ (psi)} = \frac{p + 14,7}{14,7}$$

La carga hidráulica, borde libre y profundidad del DAF están dados por la Tabla no. 15.3 denominada Parámetros de diseño de unidades DAF del libro Teoría y principios de diseño⁸². Los valores determinados para cada parámetro del diseño a escala industrial se presentan en la tabla 33.

⁸¹ OROZCO JARAMILLO, Álvaro. Op. cit., p. 312.

⁸² ROMERO ROJAS, Jairo. Op.cit., p. 355.

Tabla 33 Diseño general del DAF a escala industrial

Parámetro	Convención	Unidad	Valor
Caudal	Q	m ³ /min	0,0035
Caudal de recirculación	Qr	m ³ /min	0,00052
Concentración de SST afluente	CSSTin	mg/L	200
Concentración de GYA afluente	CGYain	mg/L	150
relación aire/sólidos	A/S	mL aire/mg sólidos	0,050
Solubilidad del aire	sa	mL/L	19
Potencia seleccionada	-	HP	0,25
Área superficial	Ab	m ²	0,2
Factor relación largo: ancho	-	-	2
Ancho seleccionado	a	m	0,70
Largo seleccionado	Ls	m	1,40
Altura efectiva seleccionada	Hf	m	1,0
Borde libre	b	m	0,3
Tiempo retención diseño	TRH	h	0,017

Fuente: elaboración propia

Para el diseño del vertedero del agua clarificada se tuvieron en cuenta las ecuaciones descritas en el diseño a escala piloto para determinar la longitud neto de los vertederos, número de vertederos, distancia entre muescas, caudal unitario, altura de la lámina de vertedero, altura y ancho general del vertedero. Los valores ajustados a escala industrial se resumen en la tabla 34.

Tabla 34 Diseño de la salida de agua clarificada a escala industrial

Parámetro	Convención	Unidad	Valor
Longitud neta vertedero	LI	M	0,70
Número de vertederos	Nv	und	7
Distancia entre muescas	Dm	m	0,1
Caudal unitario	Q _{uv}	m ³ /s	0,0005
Altura de la lamina del vertedero	Hv	m	0,1
Largo de la cámara	W	m	0,7
Carga sobre el vertedero	Cv	m ³ /m*d	7,14

Fuente: elaboración propia

Para el diseño de la cámara de llegada del agua clarificada se tienen en cuenta el ancho seleccionado y la altura total del DAF, al tratarse de un cuadrado el ancho y largo corresponden tienen la misma magnitud. Las dimensiones de la cámara de llegada se presentan en la tabla 35.

Tabla 35 Diseño de la cámara de llegada a escala industrial

Parámetro	Convención	Unidad	Valor
Largo cámara	Lcc	m	0,70
Ancho cámara	Wcc	m	0,70
Altura neta	Hcc	m	1,30

Fuente: elaboración propia

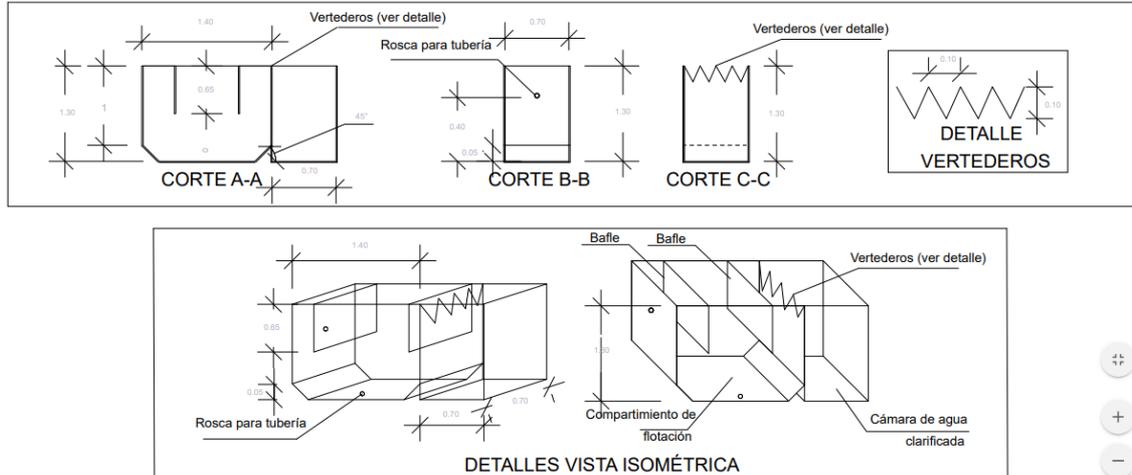
De acuerdo con los cálculos realizados, se recomienda utilizar un compresor de aire con una potencia inferior a un 1 HP; los cálculos están descritos en la tabla 22. Se deben retirar los sólidos sedimentables que se encuentran en el fondo del DAF, para lograr esto es necesario que exista un desnivel en la parte inferior donde por decantación se logran retirar los sólidos sedimentables haciendo uso de una válvula de control. Para los lodos flotantes se debe utilizar una bomba sumergible de succión con una capacidad de al menos 1,5 HP porque la diferencia de alturas entre los sólidos flotantes y sedimentables es de máximo 1,10 m.⁸³ El uso de difusores de burbuja fina es necesario porque permiten la aireación del sistema. Los difusores deberán ser ubicados en el fondo del DAF, para este diseño se seleccionan difusores de poro fino que logran una mayor transferencia de oxígeno que los de poro grueso, generando un tamaño de burbuja de 2 mm a 5 mm y una eficiencia de un 9%.⁸⁴

⁸³ RIERA, María y GRATEROL, Nelson. Op. cit., p. 15.

⁸⁴ ROMERO ROJAS, Jairo. Op.cit., p. 389.

- **Plano a escala industrial del DAF.** En la figura 30 se muestra el plano del DAF a escala industrial.

Figura 30. Plano del DAF a escala industrial



Fuente: elaboración propia

4.1.1 Unidad de pH. Mediante sensores de pH preferiblemente sumergibles se añade hidróxido de sodio mediante bombas dosificadoras al DAF, para neutralizar homogéneamente el agua residual.

4.1.2 Tanque homogeneizador. Se requiere utilizar el tanque homogeneizador cuando existe una variación considerable en la carga orgánica, con el fin de homogeneizar el efluente luego de agregar el neutralizante, en el mismo equipo se desarrolla el proceso de neutralización y homogenización, debe permanecer agitado y aireado el efluente tratado para evitar malos olores⁸⁵. El primer parámetro para tener en cuenta en el diseño es el volumen del tanque el cual está determinado por el caudal diario⁸⁶ tal como se muestra en la ecuación 36.

Ecuación 36 Volumen del tanque

$$V_{\text{tanque}} = \text{Caudal diario}$$

Teniendo en cuenta el volumen teórico de un tanque y tomando la relación h/D de 1,5⁸⁷ se obtiene en la ecuación 37 que define el diámetro del tanque.

Ecuación 37 Diámetro del tanque

$$D = \sqrt[3]{4 * \frac{V_{\text{tanque}}}{1,5 * \pi}}$$

⁸⁵ OROZCO JARAMILLO, Álvaro. Op. cit., p. 281.

⁸⁶ ROMERO ROJAS, Jairo. Op.cit., p. 316.

⁸⁷ BULLA TRUJILLO, Laura Marcela y TORRES NOVA, Elsa Natali. Op. cit., p. 103

Una vez se conoce el diámetro se puede hallar la altura del tanque por medio de la ecuación 38.

Ecuación 38 Altura del tanque

$$\frac{h}{D} = 1,5$$

En el diseño del agitador se tuvo en cuenta la relación de diámetros, longitud de la paleta, altura del agitador, diámetro del disco central y la potencia de rotación, las consideraciones de diseño fueron tomadas de la bibliografía consultada⁸⁸, en la ecuación 39 se presentan.

$$\frac{D}{d} = 3 \quad \text{y} \quad \frac{h}{d} = 1$$

Se determina $d = 0,54$ m y $h = 0,54$ m, la velocidad de rotación debe ser de 100 rpm equivalente a 1,7 rps⁸⁹, con estos datos se determina la potencia requerida en la ecuación 39.

Ecuación 39 Potencia requerida

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

Donde:

K= Factor de geometría del impulsador equivalente a 6,30

P= Densidad del agua como 1000 kg/m³

N= Velocidad de rotación asumida (1,67 rps)

d= Diámetro del agitador

$$P = 6,30 * 1000 * (1,67)^3 * (0,54)^5 = 1346,3 \text{ W} = 1,35 \text{ kW}$$

Para el cálculo de la longitud de la paleta (γ) y diámetro del disco central (S) se tiene en cuenta el diámetro del tanque.⁹⁰

$$\gamma = \frac{d}{4} \quad \text{y} \quad S = \frac{D}{4}$$

Todas las especificaciones que corresponden al tanque homogeneizador se presentan en la tabla 36.

⁸⁸ CRISTANCHO BELLO, Angie Julieth y NOY ORTIZ, Andrés Mauricio. Diseño conceptual de una planta de tratamiento de aguas residuales para Pelikan Colombia s.a.s. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bogotá: Universidad de América. Facultad de Ingenierías. 2016. p. 115.

⁸⁹ BULLA TRUJILLO, Laura Marcela y TORRES NOVA, Elsa Natali. Op. cit., p. 103

⁹⁰ CRISTANCHO BELLO, Angie Julieth y NOY ORTIZ, Andrés Mauricio. Op. cit., p. 115.

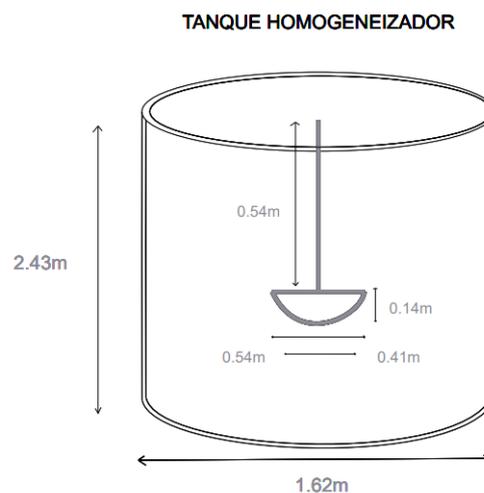
Tabla 36 Diseño del tanque homogeneizador a escala industrial

Parámetro	Convención	Unidad	Valor
Volumen tanque	Vt	m ³	5
Diámetro tanque	D	m	1,62
Altura tanque	H	m	2.43
Diámetro agitador	d	m	0,54
Altura agitador	h	m	0,54
Potencia requerida	P	kw	1,35
Longitud paleta	y	m	0,14
Diámetro disco central	S	m	0,41

Fuente: elaboración propia

- **Plano del tanque homogeneizador.** En la figura 31 se expone el diseño del tanque homogeneizador a escala industrial.

Figura 31. Plano del tanque homogeneizador a escala industrial



Fuente: elaboración propia

4.1.3 Filtro de arena a escala industrial. Para el diseño del filtro de arena a escala industrial se tuvieron en cuenta las ecuaciones expuestas para el diseño a escala piloto. El caudal tomado para las determinaciones fue de 5 m³/día equivalente a 0,21 m³/h, la tasa de filtración, tal como se menciona en el libro Teoría y principios de diseño tiene un valor típico de 300 m/d. Por otro lado, la altura recomendada para filtros de medio dual es de 0,90 m, donde la altura de la arena corresponde a 0,50 m de la altura total y la altura de la grava corresponde a 0,10 m⁹¹. El tamaño efectivo de la arena es de 0,65 mm que corresponde a arena sílice, utilizada en la prueba experimental.

⁹¹ ROMERO ROJAS, Jairo. Op.cit., p. 672.

Tabla 37 Diseño a escala industrial filtro de arena

Parámetro	Convención	Unidad	Valor
Caudal	Qm	m ³ /h	0,21
Tasa filtración	Qh	m/d	300
Área superficial	As	m ²	0,02
Diámetro	D	m	0,16
Altura	H	m	0,90
Volumen	V	m ³	0,018
Tiempo retención	Tr	min	5,14
Altura medio (2/3H)	Hm	m	0,60
Altura arena	Ha	m	0,50
Altura grava	Hg	m	0,10

Fuente: elaboración propia

4.1.4 Filtro de carbón activado a escala industrial. En el diseño del filtro de carbón activado a escala industrial se tuvieron en cuenta los parámetros usados en el diseño de este filtro a escala piloto. Debido a que se requiere un borde libre que corresponde al 50% del total de la altura, 0,75 m de altura del medio deben ser distribuidos de la siguiente forma: 0,60 m para carbón activado y 0,15 m para grava. Para este cálculo, se asume el valor de 150 cm como altura total del filtro de acuerdo con la revisión bibliográfica realizada. En cuanto a la tasa de filtración se selecciona un valor de 240 m/d que es recomendado para filtros de medio dual⁹². La tabla 38 resume cada uno de los parámetros correspondientes al diseño del filtro de carbón activado.

Tabla 38 Diseño a escala industrial del filtro de carbón activado

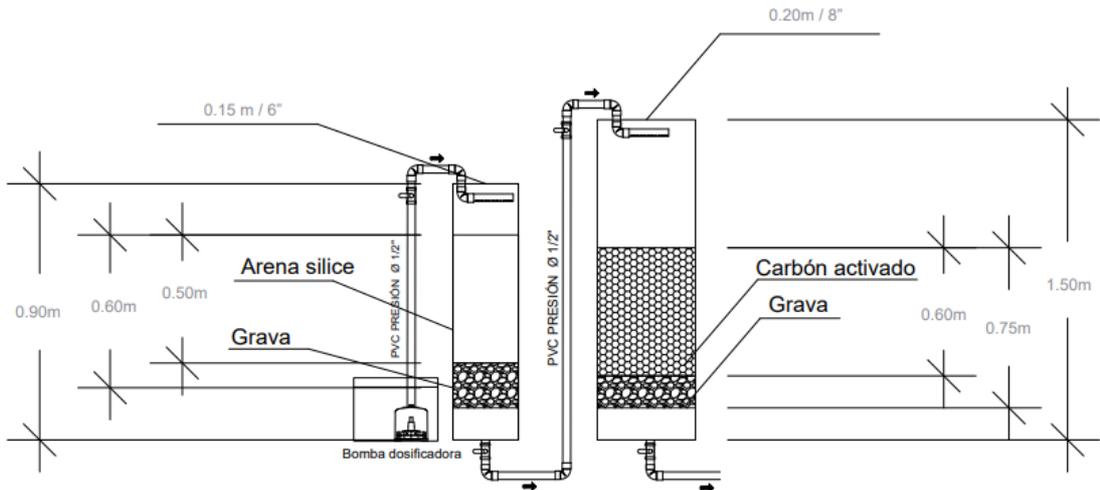
Parámetro	Convención	Unidad	Valor
Caudal	Qm	m ³ /h	0,21
Tasa filtración	Qh	m/d	240
Área superficial	As	m ²	0,02
Diámetro	D	m	0,18
Altura	H	m	1,50
Volumen	V	m ³	0,032
Tiempo retención	Tr	min	9
Altura medio (1/2H)	Hm	m	0,75
Altura carbón activado	Hc	m	0,60
Altura grava	Hg	m	0,15

Fuente: elaboración propia

⁹² ROMERO ROJAS, Jairo. Op.cit., p. 672.

- **Plano de los filtros a escala industrial.** En la figura 32 se expone el plano del sistema de filtración (arena y carbón activado) a escala industrial.

Figura 32. Planos de los filtros a escala industrial



Fuente: elaboración propia

4.2 Cálculos de los respectivos reactivos. Para el proceso de neutralización, coagulación y floculación se determinó la dosificación apropiada de cada reactivo en la parte experimental; sin embargo, se debe realizar la dosificación a escala industrial teniendo con el caudal diario utilizado en el dimensionamiento de los equipos que corresponde a 5 m³/día. En los cálculos se hará uso de los factores de conversión para obtener los valores de dosificaciones, peso y concentración de cada uno.

4.2.1 Hidróxido de sodio (Neutralizante). A nivel laboratorio se dosificó soda cáustica (SLN 4%- 40.000 mg/L) para llevar la muestra a un pH de 7,26 usando 6,30 mL de soda para 1L de agua residual. Para el tratamiento a escala industrial es necesario determinar la cantidad de reactivo líquido necesario para neutralizar el agua residual teniendo en cuenta el caudal diario de 0,21 m³/h.

$$X_{\text{NaOH (L)}} = 210.000 \text{ ml A.R. I} * \frac{6,30 \text{ mL NaOH (4\%)}}{1000 \text{ ml}} * \frac{1 \text{ L NaOH (4\%)}}{1000 \text{ ml NaOH (4\%)}}$$

$$X_{\text{NaOH (L)}} = 1,33 \text{ L NaOH (4\%)}$$

La empresa requiere de 1,33 L de reactivo al 4% de NaOH para que el agua residual pase de un pH de 4,93 a un pH de 7,26. Teniendo en cuenta que el hidróxido de sodio se consigue en el mercado en forma sólida con una concentración típica del 99% se calcula la cantidad de reactivo necesario en kg para lograr una concentración igual a 4% (40000 ppm) como se muestra a continuación.

$$X_{\text{NaOH (kg)}} = 1,33 \text{ L NaOH (4\%)} * \frac{40000 \text{ mg NaOH (99\%)}}{1 \text{ L sln NaOH (4\%)}} * \frac{1 \text{ kg NaOH (99\%)}}{1 \times 10^6 \text{ ml NaOH (99\%)}}$$

$$X_{\text{NaOH (kg)}} = 0,053 \text{ kg NaOH (99\%)}$$

Se requieren 0,053 kg de NaOH 99% en escamas que deben ser diluidos en 1,33 L de agua residual que lograran neutralizar el efluente.

4.2.2 Cloruro férrico (Coagulante). El coagulante que tuvo mayor porcentaje de remoción fue el Cloruro Férrico con base en los resultados de laboratorio obtenidos. En la prueba de jarras se agregó un volumen de 8 mL de coagulante en 1 L de agua residual, basados en esta proporción se determina la cantidad de reactivo liquido necesario.

$$X_{\text{FeCl}_3} = 210.000 \text{ ml A. R. I} * \frac{8 \text{ mL Coag. (10\%)}}{1000 \text{ ml A. R. I}} * \frac{1 \text{ L Coag (10\%)}}{1000 \text{ ml NaOH (10\%)}}$$

$$X_{\text{FeCl}_3} = 1,7 \text{ L Coagulante comercial}$$

Se determina la cantidad de coagulante solido necesario para lograr una concentración del 10% (100000 mg/L) que será usado en el tratamiento.

$$X_{\text{FeCl}_3} = 1,7 \text{ L Coag. (10\%)} * \frac{100000 \text{ mg Coag. (10\%)}}{1 \text{ L sln coag. 10\%}} * \frac{1 \text{ kg Coag. puro}}{1 \times 10^6 \text{ mg Coag. puro}}$$

$$X_{\text{FeCl}_3} = 0,17 \text{ kg Coagulante comercial}$$

4.2.3 Poliacrilamida (Floculante). Se calcula la cantidad de Poliacrilamida necesario para el efluente a tratar a escala industrial, en la experimentación se agregó al agua tratada 2 mL a 1 L de agua residual que generó el floc necesario, el reactivo fue preparado a una concentración de 1% es decir 10000 ppm.

$$X_{\text{Floc.}} = 210.000 \text{ ml A. R. I} * \frac{2 \text{ mL Floc. (1\%)}}{1000 \text{ ml A. R. I}} * \frac{1 \text{ L Floc. (1\%)}}{1000 \text{ ml Floc. (1\%)}}$$

$$X_{\text{floc}} = 0,42 \text{ L Floc. (1\%)}$$

Por último, se calcula la cantidad de coagulante necesario **que debe ser** diluido en 0,42 L del agua residual a tratar; se determina de la siguiente forma:

$$X_{\text{floc}} = 0,42 \text{ L Floc. (1\%)} * \frac{10000 \text{ mg FLoc. (1\%)}}{1 \text{ L sln Floc. 1\%}} * \frac{1 \text{ kg Floc. puro}}{1 \times 10^6 \text{ mg Floc. puro}}$$

$$X_{\text{floc}} = 4,2 \times 10^{-3} \text{ kg Floc. comercial}$$

4.3 CUANTIFICACIÓN MENSUAL REACTIVOS PARA LA PROPUESTA PLANTEADA

Es necesario determinar la cantidad de reactivos necesarios mensualmente para el desarrollo de la propuesta con el fin de plantear los costos en el siguiente capítulo. Para su determinación se tuvo en cuenta una jornada laboral que tiene una duración de 8 horas en el área de producción de la empresa Food & Drinks Alimentos SAS y los 17 días promedio mensual que se laboran en la empresa, sin involucrar los días destinados para limpieza y desinfección. Las cantidades se presentan en la tabla 39.

Tabla 39 Cantidad de reactivos químicos necesarios por mes de operación

Reactivo	Dosis por tratamiento (kg/día)	Dosis mensual (kg/mes)	Cantidad de dilución (L/día)
Hidróxido de sodio	0,43	7,31	10,6
Cloruro férrico	1,36	23,1	13,6
Poliacrilamida	$3,4 \times 10^{-2}$	0,58	3,36

Fuente: elaboración propia

5. ANÁLISIS DE COSTOS

Este capítulo se basa en la inversión que la empresa debe hacer para la obtención de cada uno de los equipos que conforman el sistema de tratamiento de aguas, el costo energético del sistema, el costo de multas y sanciones que aplican si no se cumple con la normativa y por último el costo de mano de obra. Con esto se tendrá un valor aproximado para el desarrollo del proyecto.

5.1 COSTOS DE INVERSIÓN (EQUIPOS)

Como la empresa realizó la instalación de la trampa de grasas diseñada en el presente trabajo, se cotizan el resto de los equipos propuestos, es importante señalar que se agregará el neutralizante en el tanque homogeneizador y los reactivos usados en el proceso de clarificación en el DAF. El material en que deben estar construidos los equipos y demás especificaciones técnicas son indispensables para determinar cada uno de los costos. Se realizó una cotización con la empresa Bioplantas Ingeniería SAS que se presenta en el ANEXO 6, los costos se resumen en la tabla 40.

Tabla 40 Costos de equipos

Descripción	Material	Capacidad / potencia	Cantidad	Precio unitario
Tanque almacenamiento	Fibra de vidrio	5 m ³	1	\$3.235.000
Tanque rectangular (DAF)	Fibra de vidrio	0,24 m ³	1	\$4.198.350
Filtro 6" (Arena)	Fibra de vidrio	0,021 m ³	1	\$486.320
Filtro 8" (Carbón activado)	Fibra de vidrio	0,015 m ³	1	\$563.700
Bomba sumergible (De succión)	Hierro	0,5 HP	1	\$790.756
Bomba dosificadora	Hierro	0,5 HP	3	\$6.000.000
Compresor	Hierro	1 HP	1	\$597.900
Sistema de bombeo	NA	1,5 HP	1	\$9.300.000
Controlador de pH	NA	-	1	\$500.000
		Subtotal		\$25.672.026
		IVA		\$4.877.685
		Total		\$30.549.711

Fuente: elaboración propia con base en BIOPLANTAS INGENIERÍA SAS

Los costos de instalación no están incluidos en la tabla de valores, al momento de realizarse el proyecto se deben cotizar.

5.2 COSTOS DE OPERACIÓN

Se tiene en cuenta los costos de los insumos, consumo energético y mano de obra principalmente.

5.2.1 Insumos. Para el cálculo de los costos de los insumos es necesario conocer la cantidad de cada uno de ellos mensual y anual. La presentación comercial de los insumos encuentra entre 20 kg y 25 kg, los costos se resumen en la tabla 41.

Tabla 41 Costos de los insumos necesarios

Reactivo	Presentación (kg)	Dosis mensual (kg/mes)	Dosis anual (kg/año)	Costo (COP)	Costo anual (COP)
Soda Cáustica (NaOH)	20	7,31	87.72	\$87.000	\$435.000
Cloruro férrico 10%	25	23,1	277,2	\$109.550	\$1.314.600
Poliacrilamida	25	0,58	6,96	\$744.018	\$744.018
Total					\$2.493.618

Fuente: elaboración propia

5.2.2 Costos energéticos. La dosificación de cada reactivo se lleva a cabo con bombas dosificadoras independientes, que operan diariamente y requieren de 0,11 kW/h para su operación. El compresor (Marca Elite MOD C 1012D) consume 0,75 kW/h y la bomba sumergible 0,69 kW/h, el sistema de bombeo tiene una potencia de 1,5 HP equivalente a 11,18 kW/h. Para el cálculo del costo mensual se tiene en cuenta el tiempo de operación de cada uno de los equipos, el consumo energético por hora y el costo por hora de kW para el municipio de Cota. Se destaca que los días al mes fueron asumidos como 20 días.

$$\text{Costo mensual} \left(\frac{\$}{\text{mes}} \right) = C \left(\frac{\text{kW}}{\text{h}} \right) * t_{\text{op}} \left(\frac{\text{h}}{\text{mes}} \right) * V \left(\frac{\$}{\text{kW}} \right)$$

Donde

C: Consumo dado en kW/h

T_{op}: Tiempo de operación (h/mes)

V: Valor de kW/h (\$515,50)

Tabla 42 Consumo energético general

Equipo	Cantidad	Operación (h/mes)	Consumo (kw/h)	Costo mensual (\$/mes)	Costo anual (\$/año)
Sistema de bombeo	1	80	11,18	\$461.063,2	\$5.532.758
Compresor	1	20	0,75	\$7.732,5	\$92.790
Bomba sumergible	1	20	0,69	\$7.113,9	\$85.367
Bomba dosificadora	3	10	0,11	\$567,05	\$6.805
Total					\$5,717.720

Fuente: elaboración propia

5.2.3 Mano de obra. El sistema de tratamiento de agua requiere de un operario para su control y verificación del correcto funcionamiento de los equipos. El operario debe laborar por un periodo de medio turno (4 horas), teniendo en cuenta que los días de producción en la planta son 4, se determinó el costo de mano de obra con base al salario mínimo vigente en Colombia (SMLV) para el año 2020 y prestaciones sociales que se encuentran, los costos se presentan en la tabla 43.

Tabla 43 Costo de mano de obra

Variable	Costo mensual (COP)	Costo anual (COP)
SMLV	\$439.000	\$5.268.000
Auxilio de transporte	\$102.853	\$1.234.236
Salud (EPS)	\$37.315	\$447.780
Pensión (AFP)	\$37.315	\$447.780
Riesgos laborales (ARL)	\$99.374	\$1.192.488
Vacaciones	\$117.066	\$117.066
Cesantías	\$234.133	\$234.133
Intereses a las cesantías	\$14.985	\$14.985
Prima de servicios	\$117.067	\$117.067
Total		\$9.073.535

Fuente: MINISTERIO DE TRABAJO. Prestaciones sociales y pago salario mínimo 2020 [en línea]. 2020. [Consultado: 21 de marzo 2020]. Disponible en: <http://www.mintrabajo.gov.co/atencion-alcidudano/tramites-y-servicios/mi-calculadora>

5.3 COSTOS TOTALES

Los costos determinados a lo largo de este capítulo se presentan en la tabla 44, involucrando los costos de equipos, costos de insumos, costos de servicio energético y costos de mano de obra.

Tabla 44 Costos totales

Parámetro	Valor anual (COP)
Inversión de equipos	\$30.549.711
Insumos	\$2.493.618
Servicios	\$5,717.720
Mano de obra	\$9.073.535
Total del proyecto	\$47.834.584

Fuente: elaboración propia

5.4 COSTOS DE MULTAS

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo regula todo tipo de vertimiento de aguas industriales, cuando una empresa sobrepasa los límites permisibles se aplican sanciones y multas monetarias basadas en la importancia de la afectación, beneficio ilícito, grado de afectación y factor de temporalidad. Enseguida, se presenta el cálculo efectuado.

- **Beneficio ilícito (B):** hace referencia a la ganancia económica que recibe el infractor por su conducta. Este valor se obtiene del producto del ingreso por la infracción con la capacidad de detección de la conducta⁹³.

Ecuación 40 Beneficio ilícito

$$B = \frac{y * (1 - p)}{p}$$

Donde:

B: beneficio ilícito

Y: ingreso o percepción económica

p: capacidad de detección de la conducta que toma valores de 0,40 para baja, 0,45 para media y 0,50 para alta.

Para poder hacer el cálculo del ingreso se tiene en cuenta el Decreto 957 de 05 Junio de 2019 donde se establecen los criterios de clasificación de las micro, pequeñas, medianas y grandes empresas colombianas. Food & Drinks Alimentos SAS al encontrarse dentro de la categoría de microempresa del sector de comercio tiene un valor de máximo de 44.769 unidades de valor tributario (UVT)⁹⁴. El valor fijado de la UVT para el año el 2020 es de \$35.607 COP⁹⁵ lo que equivale a \$1.594.089.783 COP anuales y \$132.840.816 COP mensuales. Por último, con respecto a la capacidad de detección se toma el valor dado para detección media de 0,45 por ubicarse en el municipio de Cota y por no registrarse ningún tipo de visita a la empresa.

$$B = \frac{\$132.840.816 * (1 - 0,45)}{0,45} = \$163.360.998 \text{ COP}$$

⁹³ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Metodología para el cálculo de multas por infracción a la normativa ambiental: Manual conceptual y procedimental [en línea]. República de Colombia. 2010. 44 p. [Consultado: 21 de marzo 2020] Disponible en: http://portal.anla.gov.co/documentos/tramites_servicios/Methodolog%C3%ADa-c%C3%A1culo-multas-por-infracci%C3%B3n-a-la%20normativa-ambiental.pdf

⁹⁴ MYPYMES. Ministerio de Industria y Comercio. Definición tamaño empresarial Micro, Pequeña, Mediana o Grande [en línea]. 2018. [Consultado: 21 de marzo 2020]. Disponible en: <http://www.mipymes.gov.co/financiacion-para-el-desarrollo-empresarial/cofinanciacion>

⁹⁵ INSTITUTO NACIONAL DE CONTADORES PÚBLICOS DE COLOMBIA. Valor UVT [en línea]. 2019. [Consultado: 21 de marzo 2020]. Disponible en: <https://www.incp.org.co/2020-valor-uvt/>

- **Importancia de la afectación (I):** es la medida cualitativa del impacto a partir de la valoración de los atributos de intensidad, extensión, persistencia, reversibilidad y recuperabilidad⁹⁶.

Ecuación 41 Importancia de afectación ambiental

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

Donde:

I: importancia de la afectación ambiental.

IN: intensidad.

EX: extensión.

PE: persistencia.

RV: reversibilidad.

MC: recuperabilidad.

A cada atributo se le asigna una calificación que se ajusta a la situación actual de la empresa, los datos se encuentran en la tabla 45.

Tabla 45 Indicadores de grado de afectación evaluados según el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

Atributo	Valor
Intensidad	1
Extensión	4
Persistencia	3
Reversibilidad	1
Recuperabilidad	3

Fuente: elaboración propia

Se calculó la importancia de la afectación y se obtuvo un valor 18 que se encuentra en el rango de afectación leve.

$$I = (3 * 1) + (2 * 4) + 3 + 1 + 3 = 18$$

- **Grado de afectación ambiental (i):** es la medida cualitativa del impacto teniendo en cuenta la incidencia y sus efectos. Este valor se calcula en unidades monetarias⁹⁷.

Ecuación 42 Grado de afectación ambiental

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

Donde:

I: valor monetario de la importancia de la afectación.

SMMLV: salario mínimo mensual legal vigente.

I: importancia de la afectación.

96 Colombia. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2086. (25, octubre, 2010). Tasación de multas ley 1333. p. 3. [Consultado: 21 de marzo de 2020]. Disponible en: https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Regimen-Sancionatorio-Ambiental/res_2086_251010.pdf

97 Ibid., pg 7

$$i = (22,06 * \$877.803) * 18 = \$348.558.015$$

- **Factor de temporalidad (α):** refleja el número de días de la afectación causada.

Ecuación 43 Factor de temporalidad

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

Dónde:

d: número de días durante los cuales sucede la infracción (entre 1 y 365 días).
Se toma el valor de d=240 en razón a que la empresa no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas y tiene producción únicamente entre semana que corresponden a 240 días al año.

$$\alpha = \frac{3}{364}(240) + \left(1 - \frac{3}{364}\right) = 2,97$$

- **Multa:** es la sanción que se imponen al infractor de una norma y debe pagar a los entes reguladores una suma de dinero. Con base en el artículo 4 de la resolución 2086 del 25 de octubre del 2010 se hace el cálculo de la siguiente manera⁹⁸.

Ecuación 44 Multa

$$\text{Multa} = B + [(\alpha * i) * (1 + A) + Ca] * Cs$$

Donde:

B: beneficio ilícito.

α : factor de temporalidad.

i: grado de afectación ambiental.

A: circunstancias agravantes y atenuantes.

Ca: costos asociados.

Cs: capacidad socioeconómica del infractor.

Respecto a las circunstancias agravantes y atenuantes se obtuvo un valor de cero (0) para cada caso, teniendo en cuenta las tablas expuestas en el artículo 9 de la resolución 2086 de 2010. La situación socioeconómica que corresponde a una persona jurídica esta dado por el tamaño de la empresa, para este caso al ser una microempresa se asigna un valor 0,25⁹⁹.

$$\begin{aligned} \text{Multa} &= \$163.360.998 + [(2,97 * \$348.558.015) * (1 + 0) + 0] * 0,25 \\ \text{Multa} &= \$422.165.324 \end{aligned}$$

⁹⁸ Colombia. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2086. (25, octubre, 2010). Tasación de multas ley 1333. 11 p. [Consultado: 21 de marzo de 2020]. Disponible en: https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Regimen-Sancionatorio-Ambiental/res_2086_251010.pdf

⁹⁹ Ibid., p. 5.

Se establece un valor para las multas generadas por el incumpliendo de la norma en \$422.165.324 COP, haciendo una comparación con los costos del proyecto, las sanciones corresponden a 8,8 veces del costo total del proyecto.

6. CONCLUSIONES

- El vertimiento actual de agua residual de la empresa es de 2,5 m³/día, el balance hídrico identificó los usos distribuidos en consumo doméstico, lavado de equipos, funcionamiento de equipos, limpieza y desinfección. La fuente principal es el lavado de equipos, el cual genera materia orgánica que aporta al aumento de los parámetros DQO y DBO₅.
- De acuerdo con la primera caracterización realizada por el laboratorio Quimicontrol Ltda, se identificaron los parámetros que no cumplían con la norma como pH, DQO, DBO₅, grasas y aceites permitiendo así plantear una alternativa que cumpliera con todos los requerimientos de la empresa.
- A partir de la revisión bibliográfica efectuada de los tipos de tratamiento para cada parámetro encontrado fuera del máximo límite permisible en la resolución 0631 del 2015, se realizó la matriz de selección de las tres alternativas planteadas donde la opción seleccionada fue trampa grasas, neutralización, coagulación-floculación, sistema de flotación por aire disuelto (DAF) y filtración con arena y carbón activado que obtuvo la mayor puntuación en cuanto a la viabilidad técnica, operativa y económica.
- Se diseñó a escala piloto el DAF y filtros correspondientes para desarrollar la experimentación en la cual se obtuvo mayor porcentaje de remoción y adhesión de coloides con el coagulante cloruro férrico al 10% con una dosis de 8 mL/L y poliacrilamida como floculante al 1% con una dosis de 2 mL/L. El agua tratada a la salida del filtro de carbón activado fue llevada al laboratorio externo para el análisis fisicoquímico donde se obtuvo un porcentaje de remoción del 92% para DQO, del 96% para DBO₅, del 75% para SST y del 76% para grasas y aceites; cumpliendo así con la norma ambiental exigida por el gobierno colombiano.
- Con el diseño a escala industrial realizado de la trampa de grasas se logró la implementación del equipo en la empresa donde se encuentra en funcionamiento actualmente y el agua vertida por cada uno de los procesos de producción y limpieza llega a la trampa para su tratamiento.
- Según el análisis financiero del proyecto, se estima un costo total de \$47.834.584 COP que incluye costos de mano de obra, equipos, consumo energético e insumos que representa el 11,33% del costo total de las multas que generaría el incumplimiento a la norma ambiental.

7. RECOMENDACIONES

- Implementar el sistema de control y verificación para el caudal de entrada del recurso hídrico de la planta.
- Evaluar el diseño del sistema de tratamiento de aguas con un material diferente a la fibra de vidrio y que sea más amigable con el medioambiente durante su fabricación.
- Analizar la composición del material coloidal suspendido en el sistema de flotación por aire disuelto que permita hacer una correcta disposición de este.
- Implementar un sistema de recirculación del agua tratada para utilizarla en las diferentes descargas de los sanitarios.
- Evaluar la implementación de un sistema de tratamiento secundario para disminuir la carga orgánica del agua tratada para verter un recurso más limpio a la cuenca hídrica.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA ECHEVERRY, Juan. Anexo IX. Aguas residuales y tratamiento de efluentes cloacales. [en línea]. Bogotá. 9 p. [Consultado: 10 de noviembre de 2019] Disponible en https://www.academia.edu/5104248/Anexo_IX._Aguas_Residuaes_y_Tratamiento_de_Efluentes_Cloacale.

AGUAMARKET: Carga orgánica [en línea]. Santiago de Chile. [Consultado: 04 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=404&termino=carga+org%E1nica>.

ARANGO RUIZ, Álvaro. La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. En: *Revista Lasallista de Investigación*. Colombia: Corporación Universitaria Lasallista. 2005. vol. 2, nro. 1. p. 49 – p. 56.

ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. Colombia: McGraw-Hill. 3 ed. 2000. 447 p. ISBN: 958-41-0014-9.

ARIAS VACA, Jorge Santiago. Análisis de la grava como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria florícola la herradura Floherrer S.A. ubicada en el Cantón Salcedo. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Ecuador: Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. 2017. 102 p.

ASOLECHE. Sector lechero en Colombia potencial desperdiciado [en línea]. En: *Pro Export Colombia*. Bogotá, Colombia, Septiembre 22 2017. [Consultado: 10 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://agronegocios.uniandes.edu.co/2017/09/22/sector-lechero-en-colombia-potencial-desperdiciado/>

BORGUE, Manuel. La Matriz de Pugh para la toma de decisiones. 2018. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/394400029/La-Matriz-de-Pugh-Para-La-Toma-de-Decisiones-y-Otras>

BRAVO ROBAYO, David Andrés y HENAO OVALLE, Zulysmileth. Desarrollo de una propuesta de mejora en el sistema de tratamiento de aguas residuales (ptar) de lácteos Levelma, municipio Cajicá. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bogotá: Universidad de América. Facultad de Ingenierías. 2016. 209 p.

BULLA TRUJILLO, Laura Marcela y TORRES NOVA, Elsa Natali. Desarrollo de una propuesta para un sistema de tratamiento del agua residual de la empresa de lácteos Ibel. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bogotá: Fundación Universidad América. Facultad de Ingenierías. 2019. p. 64.

CAPITULO I. El carbón activado y sus propiedades [en línea]. México: Universidad de Sonora. Disponible en: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/20980/capitulo1.pdf>

CARBOTECNIA: Arena silica [en línea]. Jalisco, México. 04 p. [Consultado: 22 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.carbotecnia.info/producto/medio-arena-silica-para-filtros-de-agua/>

CARO CALDERÓN, David Álvaro. Efecto de la adición de transglutaminasa y carragenina en geles lácteos inducidos por renina. Tesis Maestría en Tecnología Avanzada. México: Instituto Politécnico Nacional. 2011. 100 p.

CASTAÑEDA BELTRÁN, María Camila y RODRÍGUEZ MACÍAS, Alejandro. Desarrollo de una alternativa para el pretratamiento de la corriente de alimentación al proceso de ósmosis inversa en el tratamiento de lixiviados del relleno de Doña Juana. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bogotá: Fundación Universidad de América. Facultad de Ingeniería. 2019. 189 p.

COGOLLO FLÓREZ, Juan Miguel. Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidrocloruro de aluminio. En: DYNA. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, agosto, 2009, vol. 78, nro. 165. 7 p.

Colombia. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO. Decreto 3930. (25, octubre, 2010). Usos del agua y residuos líquidos. 29 p. [Consultado: 10 de noviembre de 2020]. Disponible en: http://www.corpamag.gov.co/archivos/normatividad/Decreto3930_20101025.pdf

Colombia. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO. Resolución 0631. (17, marzo, 2015). Límites máximo permisibles en los vertimientos puntuales. 62 p. [Consultado: 10 de noviembre de 2020]. Disponible en: <http://www.aguasdebuga.net/intranet/sites/default/files/Resoluci.n%200631%20de%202015-Calidad%20vertimientos.pdf> .

Colombia. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2086. (25, octubre, 2010). Tasación de multas ley 1333. p. 3. [Consultado: 21 de marzo de 2020]. Disponible en: https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Regimen-Sancionatorio-Ambiental/res_2086_251010.pdf

Colombia. VICEMINISTERIO DE AGUA Y SANEAMIENTO BÁSICO Y UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. (2010). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico: Título B. 459 p.

CRISTANCHO BELLO, Angie Julieth y NOY ORTIZ, Andrés Mauricio. Diseño conceptual de una planta de tratamiento de aguas residuales para Pelikan Colombia s.a.s. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bogotá: Universidad de América. Facultad de Ingenierías. 2016. 203 p.

CRITES, Ron y TCHOBANOGLIOUS, George. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Estados Unidos: Mc Graw Hill, 2001. p. 776. ISBN: 958-41-0042-4.

CHINCILLA, M. Relación de parámetros de diseño de trampas de grasas (desengrasadores) versus su eficiencia, en aguas residuales comerciales. Tesis Maestro. Guatemala: Universidad de San Carlos. Facultad de Ingeniería. 2015. 182 p.

DI BERNARDO, L. Water Supply Problems and Treatment Technologies: Developing Countries of South America Journal Water SRT-Aqua. Estados Unidos. 1991. vol. 40. nro. 3.

DÍAZ, Ana María. Prueba de jarras procedimiento experimental [en línea]. Fundación Universitaria Luis Amigo. 2018. 5 p. [Consultado: 01 de Diciembre de 2019]. Disponible en: <https://www.docsity.com/es/prueba-de-jarras-procedimiento-experimental/2682309/>

ESCUELA ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL. Los vertidos del sector lácteo. Sevilla. Master Profesional en Ingeniería y Gestión Medio Ambiental. 2008. 22 p.

FINOS Y GRANITOS S.A.S. Ficha técnica de Arena Sílice gruesa Malla (4-8) [en línea]. Sogamoso, Boyacá. 2 p. [Consultado: 19 de diciembre de 2020]. Disponible en: https://www.finosygranitos.com/wp-content/uploads/2017/11/FICHATECNICA_M4-8_V1.pdf

FINOS Y GRANITOS S.A.S. Ficha técnica de Arena Sílice Malla (20-40) [en línea]. Sogamoso, Boyacá. 2 p. [Consultado: 19 de diciembre de 2020]. Disponible en: <https://www.finosygranitos.com/wp-content/uploads/2018/05/FICHA-TECNICA-ARENA-M-20-40.pdf>

GALINDO MORALES, Juan Camilo y PINZÓN POLANIA, Mateo. Propuesta para la prevención y control de contaminantes destinada al mejoramiento de vertimientos dentro de una industria de lácteos en Ubaté, Trabajo de grado Ingeniero Ambiental y Sanitario. Bogotá: Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería. 2019. 130 p.

GILLBERG, L.; EGER, L. y JEPSEN, S. E.. The effect of five coagulants on the concentration and distribution of small particles in sewage water: Water Wastewater Treat. Alemania: Springer. Berlín. 4 ed. p. 243 – p. 256.

HERNÁNDEZ MUÑOZ, Aurelio. Capítulo 06: Depuración de aguas residuales. España: Paranindo. 1990. p. 369 – p. 394.

HERRERA A., Oscar; CORPAS I., Eduardo. Reducción de la contaminación en agua residual industrial láctea utilizando microorganismos benéficos. En: Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial [en línea]. Manizales, Colombia: Universidad Católica de Manizales, junio, 2013, vol. 11, nro. 01, p 57. [Consultado: 10 de Noviembre de 2019]. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612013000100007.

HIDROPLAYAS EP: Trampa de grasas [en línea]. Ecuador. 04 p. [Consultado: 04 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <http://hidroplayas.gob.ec/leydetransparencia/trampasdegrasa.pdf>

INFOLACTEA. Practical Action [en línea]. Lima, Perú. [Consultado: 04 de Noviembre de 2019] Disponible en: <http://infolactea.com/wp-content/uploads/2016/06/elaboracion-del-queso.pdf>

INGENIERÍA ROMIN: Filtración mediante carbón [en línea]. Buenos Aires, Argentina [Consultado: 22 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <https://romin.com/filtracion-mediante-carbon-activado/>

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Demanda química de oxígeno por reflujos cerrados y volumetría. TP0086 [en línea]. 5 ed. Colombia. 2007. 11 p. [Consultado: 04 de Noviembre de 2019] Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>

_____. pH en agua por electrometría. TP0080 [en línea]. 3 ed. Colombia. 2007. 7 p. [Consultado: 20 de Noviembre de 2019] Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/pH+en+agua+por+Electrometr%C3%ADa.pdf/ec53b64e-91eb-44c1-befe-41fcfccdff1>

_____. Sólidos suspendidos totales en agua secados a 103 – 105°C. TP0088 [en línea]. 3 ed. Colombia. 2007. 7 p. [Consultado: 20 de Noviembre de 2019] Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S.lidos+Suspendidos+Totales+en+aguas.pdf/f02b4c7f-5b8b-4b0a-803a-1958aac1179c>

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

INSTITUTO NACIONAL DE CONTADORES PÚBLICOS DE COLOMBIA. Valor UVT [en línea]. 2019. [Consultado: 21 de marzo 2020]. Disponible en: <https://www.incp.org.co/2020-valor-uvt/>

ISA: INGENIERÍA Y SERVICIOS AMBIENTALES: Flotación por aire disuelto [en línea]. Colombia. 2020. [Consultado: 25 de noviembre 2019]. Disponible en: <https://isa.ec/flotacion-por-aire-disuelto-daf/>

LEITÓN SALAMANCA, Miguel Ángel y SEDANO CABRERA, Paula Andrea. Desarrollo de una propuesta de mejora para la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa de lácteos inversiones Fasulac Ltda. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bogotá: Universidad de América. Facultad de Ingenierías. 2017. 196 p.

LERMANN DE ABRAMOVICH, Beatriz, et al. Curso optativo: Gestión integral de residuos [en línea]. Argentina: Universidad Nacional del Litoral, p. 2. Disponible en: http://www.fiq.unl.edu.ar/gir/archivos_pdf/GIR-TecnicasAnaliticas-DemandaQuimicadeOxigeno.pdf

LÓPEZ VÁZQUEZ, Carlos M, et al. Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño. Londres: IWA Publishing, 2017. 590 p. ISBN: 978-1780409139.

METCALF & EDDY, INC. Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. España: McGraw-Hill. 1995. 3 ed. vol. 1. 1459 p. ISBN: 84-481-1612-7.

MINISTERIO DE TRABAJO. Prestaciones sociales y pago salario mínimo 2020 [en línea]. 2020. [Consultado: 21 de marzo 2020]. Disponible en: <http://www.mintrabajo.gov.co/atencion-alciudadano/tramites-y-servicios/mi-calculadora>

MORANTE. R., Gonzalo. Electrocoagulación de aguas residuales. En: Revista colombiana de física [en línea]. Colombia: Universidad Nacional de Colombia: 2002, vol. 34, nro. 2, 4 p. [Consultado: 30 de Noviembre de 2019] Disponible en <https://pdfs.semanticscholar.org/0de5/2c5311ae4b0092c6fc605d70cbf75c2c7021.pdf>.

MOTT, Robert. Mecánica de fluidos aplicada. México: Pearson. 4 ed. 1996. 515 p. ISBN: 0-02-384231-8.

MUÑOZ MUÑOZ, Deyanira; ROSERO MUÑOZ, Jorge Luis y CABRERA CIFUENTES, Gerardo. Rangos de control de humedad relativa y temperatura en cavas de maduración de quesos. [en línea]. Popayan, Colombia: Universidad del Cauca, febrero, 2010, vol. 8, nro. 1, 68 - 73 p. [Consultado: 04 de Noviembre de 2019] Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v8n1/v8n1a09.pdf>

MYPYMES. Ministerio de Industria y Comercio. Definición tamaño empresarial Micro, Pequeña, Mediana o Grande [en línea]. 2018. [Consultado: 21 de marzo 2020]. Disponible en: <http://www.mipymes.gov.co/financiacion-para-el-desarrollo-empresarial/cofinanciacion>

INFOLACTEA. Practical Action [en línea]. Lima, Perú. [Consultado: 04 de Noviembre de 2019] Disponible en: http://infolactea.com/wp-content/uploads/2016/01/301105_LECTURA_Revision_de_Presaberes.pdf

OOCITIES: Filtración en arena y grava. [Consultado: 22 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/filtracion.htm>

OROZCO JARAMILLO, Álvaro. Bioingeniería de aguas residuales teoría y diseño. 2 ed. Bogotá, Colombia: ACODAL. 2014, 566 p. ISBN: 978959965482.

QUELAL, Leidy. Documentación del procedimiento de laboratorio para la DBO5 en el laboratorio de control de calidad de la empresa de acueducto y

alcantarillado de Pereira S.A.E.S.P. Trabajo de grado Tecnóloga en Química. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de tecnología. 2012. 25 p. Disponible en

<http://recursosbiblioteca.utp.edu.co/tesis/textoyanexos/658562Q3.pdf>

RAMALHO, Rubens Sette. Tratamiento de aguas residuales [en línea]. España: Reverté S.A. 1993, 697 p. [Consultado el 10 de noviembre de 2019]. Disponible en:

<https://books.google.com.co/books?id=30etGjzPXyWC&lpg=PP1&dq=tratamiento%20de%20aguas%20residuales&hl=es&pg=PR4#v=onepage&q=tratamiento%20de%20aguas%20residuales&f=true>

RAMÍREZ CAMPEROS, Esperanza. Capítulo II: Fundamentos del proceso de lodos activados. p. 46 – p. 81.

RIERA, Maria y GRATEROL, Nelson. Diseño de una unidad de flotación con aire disuelto para la remoción de contaminantes de las aguas residuales generadas de una empresa manufacturera. En: UNEXPO. Barquisimeto, Venezuela: Universidad de Yacambú, 2014, vol. 5, nro. 2, 20 p

ROMERO ROJAS, Jairo. Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de Diseño. 3 ed. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 2004. 296 p. ISBN: 958-8060-13-3.

SALAS COLOTTA, G. Diseño de un flotador por aire disuelto (DAF) en el tratamiento del agua residual de una textil. En: Revista permanente de Química [en línea]. Universidad de San Marcos, Facultad de Ingeniería Química, p. 36-39. [Consultado: 04 de diciembre de 2019] Disponible en: <https://studylib.es/doc/7805939/dise%C3%B1o-de-un-flotador-por-aire-disuelto-daf--en-el-trata...>

SIGLER, Adam y BAUDER Jim. Alcalinidad, pH y sólidos disueltos totales [en línea]. Estados Unidos: 2012. [Consultado: 10 de noviembre de 2019]. Disponible en

http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:qEYZKwb_fpkJ:region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS%25202012-11-15-SP.pdf+&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=co

ANEXOS

ANEXO A FICHAS TÉCNICAS REACTIVOS QUÍMICOS

Ficha de seguridad soda cáustica



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Nombre del Producto: **SODA CAUSTICA LIQUIDA (TODOS LOS GRADOS)**

Fecha de Revisión: Agosto 2014. Revisión N°3



SECCION 1 : IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA

PRODUCTO

Nombre Químico: HIDROXIDO DE SODIO - NaOH
Número CAS: 1310-73-2
Sinónimos: Soda cáustica líquida.

COMPAÑÍA: GTM

Teléfonos de Emergencia

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

SECCION 2 : COMPOSICION / INFORMACION SOBRE LOS INGREDIENTES

HIDROXIDO DE SODIO	CAS: 1310-73-2	32-51%
--------------------	----------------	--------

SECCION 3 : IDENTIFICACION DE PELIGROS

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

EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:**Inhalación**

Exposición a Corto Plazo: Irritación (posiblemente grave), quemaduras, edema pulmonar.

Exposición Prolongada: No se conocen efectos

Ingestión

Exposición a Corto Plazo: Irritación (posiblemente grave), quemaduras, náuseas y vómitos. **Exposición**

Prolongada: No se conocen efectos.

Contacto con los ojos

Exposición a Corto Plazo: Irritación (posiblemente grave), quemaduras, daño a los ojos, ceguera.

Exposición Prolongada: Disturbios visuales.

Contacto con la piel

Exposición a Corto Plazo: Irritación (posiblemente grave), quemaduras.

Exposición Prolongada: Dermatitis

Estado Carcinogénico

OSHA: No

NTP: No

IARC: No

Posibles Efectos sobre el Medio Ambiente: Este material es alcalino y puede elevar el pH de las aguas superficiales con una baja capacidad de tampón.

SECCION 4 : MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Contacto Ocular: Lave bien los ojos inmediatamente con un chorro de agua directo al menos durante 15 minutos, y mantenga abiertos los párpados para garantizar la remoción del químico. Enjuagar los ojos en cuestión de segundos es esencial para lograr la máxima eficacia. Busque atención médica inmediata.

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

Inhalación: Trasladar a la víctima a un área descontaminada. Si la respiración es difícil, suministrar oxígeno. Si la respiración se ha detenido, dar respiración artificial. Recorra a una persona especializada para que administre los primeros auxilios (Reanimación cardiopulmonar o desfibrilador externo automático) y busque atención médica inmediatamente.

Ingestión: ¡No induzca el vomito! Administre grandes cantidades de agua. Nunca administre nada por la boca a una persona inconsciente. Si la víctima vomita espontáneamente, mantenga las vías aéreas despejadas. Buscar atención médica inmediata.

Nota para el Médico: La ausencia de signos visibles o síntomas de quemaduras NO excluye la presencia de daños reales en los tejidos.

SECCION 5 : MEDIDAS PARA EXTINCION DE INCENDIOS

Punto de Inflamabilidad °C: No reportado
Temperatura de Ignición (°C): No reportado
Límites de Inflamabilidad (%V/V): No reportado

Peligro de incendio y/o explosión: Riesgo insignificante de fuego.

Medios extintores de incendio: Use agentes de extinción apropiados para fuego circundante.
Instrucciones para combatir el fuego: Si puede hacerlo sin riesgos, retire el recipiente del área de incendio. Enfríe los recipientes con agua.

Sensibilidad a Impacto Mecánico: No sensible

Sensibilidad a Descarga Estática: No sensible

Punto de Inflamación: No inflamable

SECCION 6: MEDIDAS PARA FUGAS ACCIDENTALES

Fugas en Operación: Remueva el material a un contenedor adecuado. El material líquido se puede retirar con un camión de aspirado. Lave con agua la zona en la que se produjo el derrame, si es necesario. Evite que el material fluya hacia cursos de agua y sistemas de desagüe. Informe del derrame o escape, si así está prescrito, a los organismos municipales o locales pertinentes.

SECCION 7: MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Manejo: Evite respirar el vapor o la niebla. No permita que entre en contacto con los ojos, piel o ropa. Lávese minuciosamente después de manipular este producto. Al mezclar, agregue el agua lentamente para reducir el calor generado y las salpicaduras.

Almacenamiento: Almacene y manipule de acuerdo con todas las normas y estándares actuales. Mantenga el contenedor cerrado con seguridad y etiquetado correctamente. No debe almacenarse este producto en contenedores de aluminio ni utilizar accesorios, ni líneas de transferencia de aluminio, ya que puede generar hidrógeno inflamable. Mantenga separado de sustancias incompatibles.

SECCION 8: CONTROLES DE EXPOSICION Y PROTECCION PERSONAL

Límites de Exposición

Límites Permisibles Absoluto (LPA): 2 mg/m³

Ventilación: Utilice ventilación de tiraje forzado local donde se puede generar polvo o niebla. Asegúrese del cumplimiento de los límites de exposición que correspondan.

EQUIPOS DE PROTECCION PERSONAL

Protección de los ojos: Si es necesario, utilice antiparras de seguridad química con careta de protección para proteger la piel del contacto con el producto. Instale una fuente destinada al lavado, remojo y enjuague rápido de los ojos y una ducha de emergencia en la zona de trabajo.

Vestimenta: Utilice ropa resistente a los productos químicos y botas de caucho cuando exista la posibilidad de entrar en contacto con el material. Se debe retirar la ropa contaminada y luego se debe desechar o lavar antes de usar nuevamente.

Guantes: Use guantes apropiados resistentes a los productos químicos.

Tipos de Materiales de Protección: Hule de butilo, caucho natural, neopreno, nitrilo, cloruro de polivinilo (PVC), Tychem (R).

Respirador: Podrá utilizarse una mascarilla aprobada por el NIOSH con filtro N95 (humo o niebla) en circunstancias en las que se espere que las concentraciones en el aire superen los límites de exposición, o cuando se haya observado que los síntomas sean indicio de sobreexposición.

Deberá utilizarse una pieza facial de media mascarilla con purificador de aire en concentraciones de hasta 10 veces el nivel de exposición aceptable y una pieza facial de mascarilla completa con purificador de aire en concentraciones de hasta 50 veces el nivel de exposición aceptable.

Deberá suministrarse aire cuando se espera que el nivel se encuentre 50 veces por encima del nivel aceptable, o cuando exista la posibilidad de que se produzca una fuga incontrolada.

En todo caso, deberá cumplirse con el DS 594 o establecer las condiciones ambientales en el lugar de trabajo.

SECCION 9: PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Estado físico:	Líquido
Apariencia:	Transparente
Color:	Incoloro
Olor:	Inodoro
Punto de Ebullición:	110-144 °C (230-291°F)
Punto de Congelación:	-32 a 15°C (-26 a 59°F)
Presión de vapor:	13-135 mm Hg @ 60°C
Densidad del Vapor:	No disponible
Gravedad Específica (Agua= 1):	1.11 – 1.53 @ 15.6°C
Densidad:	9,27 – 12,76 lbs/gal @ 15,6 °C
Solubilidad en Agua:	100%
pH:	14,0 (7,5% solución)
Volatilidad:	No disponible

SECCION 10 : ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad química: Estable bajo condiciones ordinarias de uso y almacenamiento.

Condiciones a evitar: Se puede producir gas de monóxido de carbono en contacto con azúcares reductores, productos alimenticios o bebidas en espacios cerrados.

Incompatibilidad con otros materiales: Ácidos, compuestos halogenados, contacto prolongado con aluminio, latón, bronce, cobre, plomo, estaño, zinc u otros metales o aleaciones sensibles al álcali.

Productos de descomposición peligrosos: Productos de Termodescomposición: Ninguna.

Polimerización Peligrosa: No se polimeriza.

SECCION 11 : INFORMACION TOXICOLOGICA

Datos de Toxicidad:

Hidróxido de Sodio:

LD50 (dérmica, conejo): 1.350 mg/kg

LD50 (50% solución) (oral, rata): 220 mg/kg

La gravedad del daño al tejido depende de la concentración del producto, la prolongación del contacto con el tejido y el estado del tejido local. Después de la exposición puede pasar un tiempo antes de que aparezca la irritación u otros efectos. Este material es un fuerte irritante y es corrosivo para la piel, ojos y membranas mucosas. Este material puede provocar quemaduras graves y daño permanente al tejido con el cual entre en contacto. Si inhalación puede producir irritación grave y posibles quemaduras junto con edema pulmonar que puede producir neumonitis. El contacto de este material con los ojos puede producir irritación grave, corrosión con posible daño a la cornea y ceguera. Su ingestión puede producir irritación, corrosión/ulceración, náuseas y vómito. En general, los efectos crónicos se deben a irritación a largo plazo.

Este material puede producir dermatitis en la piel o ulceración recurrente de la cornea y alteraciones de la visión. En informes de casos extraordinarios, se ha observado que la inhalación a largo plazo produce una reacción inflamatoria de los bronquios o disfunción obstructiva de las vías respiratorias.

SECCION 12 : INFORMACION ECOLOGICA

Datos de Ecotoxicidad

Toxicidad para la pesca: Este material ha demostrado una toxicidad moderada ante organismos acuáticos.

LC50 (Daphnia): 100 ppm

LC50 (Salvelino, 24 horas): 25 ppm

LC50 (Salmón real): 48 ppm

LC50 (Camarón, 48 horas): 33-100 ppm

LC50 (Berberecho, 48 horas): 330-1000 ppm

Destino y Transporte

Biodegradación: Este material es inorgánico y no está sujeto a biodegradación.

Persistencia: Se cree que este material existe en estado disociado en el medio ambiente.

Bioconcentración: Se estima que este material no es bioacumulable.

Otra información Ecológica: Este material ha demostrado una ligera toxicidad ante organismos terrestres.

SECCION 13 : CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICION

Tratamientos de residuos:

Tratar según legislación vigente

Eliminación de envases:

Lavar y descartar según legislación vigente

SECCION 14 : INFORMACION SOBRE TRANSPORTE

Transporte Terrestre

Nombre apropiado del envío: Soda cáustica

Clase UN: 8

Numero UN: 1824

Grupo de Empaque: II

Requisitos Etiquetado: 8

Transporte Marítimo IMDG

Nombre apropiado del envío: Solución de Hidróxido de Sodio

Clase UN: 8

Numero UN: 1824

Grupo de Empaque: II

SECCION 15 : INFORMACION REGLAMENTARIA

Esta hoja de seguridad cumple con la normativa legal de:

México: NOM-018-ST5-2000

Guatemala: Código de Trabajo, decreto 1441

Honduras: Acuerdo Ejecutivo No. ST55-053-04

Costa Rica: Decreto Nº 28113-S

Panamá: Resolución #124, 20 de marzo de 2001

Colombia: NTC 445 22 de Julio de 1998

Ecuador: NTE INEN 2 266:200

SECCION 16 : INFORMACION ADICIONAL

La información indicada en ésta Hoja de Seguridad fue recopilada y respaldada con la información suministrada en las Hojas de Seguridad de los proveedores. La información relacionada con este producto puede ser no válida si éste es usado en combinación con otros materiales o en otros procesos. Es responsabilidad del usuario la interpretación y aplicación de esta información para su uso particular. La información contenida aquí se ofrece solamente como guía para la manipulación de este material específico y ha sido elaborada de buena fe por personal técnico. Esta no es intencionada como completa, incluso la manera y condiciones de uso y de manipulación pueden implicar otras consideraciones adicionales.

Ficha de seguridad de poliacrilamida



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Nombre del Producto: **POLIACRILAMIDA C-496**
Fecha de Revisión: Febrero 2016. Revisión N°2



NFPA

SECCION 1 : IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑIA

PRODUCTO

Nombre Químico: Poliacrilamida catiónica.
Número CAS: 124-04-9
Sinónimos:

COMPAÑIA: GTM

Teléfonos de Emergencia

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

SECCION 2 : COMPOSICION / INFORMACION SOBRE LOS INGREDIENTES

Ácido adípico CAS : 124-04-9 4 – 5%

SECCION 3 : IDENTIFICACION DE PELIGROS

Clasificación ONU: NO APLICA

Clasificación NFPA: Salud: 1 Inflamabilidad: 1 Reactividad: 0

EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:

Ninguno en términos de riesgos humanos y ambientales.

SECCION 4 : MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación:	Retirar la víctima al aire libre. Si la respiración es difícil, dar oxígeno. Consultar a un médico si los síntomas perduran.
Contacto Dérmico:	Lavarse inmediatamente con abundante agua y jabón.
Contacto Ocular:	Enjuagar inmediatamente con abundancia de agua por lo menos durante 15 minutos.
Ingestión:	No se anticipa que el material sea lesivo por ingestión. No son necesarias medidas especiales de primeros auxilios.

SECCION 5 : MEDIDAS PARA EXTINCION DE INCENDIOS

Agente de Extinción:	Utilizar agua, bióxido de carbono o un agente químico seco.
peligros especiales:	El polvo puede ser explosivo si se mezcla con el aire en proporciones críticas y en la presencia de una fuente de ignición.
Equipo de protección para Emergencia:	Los bomberos y otras personas que pudieran estar expuestas deben utilizar aparatos respiratorios autónomos.

SECCION 6: MEDIDAS PARA FUGAS ACCIDENTALES

Precauciones individuales:	Refiérase a la sección 8 (Protección personal/controles de exposición) para el equipo de protección personal apropiado.
Método de control y limpieza:	Resbaladizo cuando está mojado. Barrer y colocar en recipientes para descarte. Lavar el área del derramamiento a conciencia con agua y tallando para quitar residuos. Si permanece resbaladizo, aplicar más compuesto para barrido en seco. Evitar que el líquido ingrese en desagües sanitarios.

SECCION 7: MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Condiciones de almacenaje:	El material es higroscópico y no deberá exponerse a la humedad objeto de mantener su integridad. Para evitar la degradación del producto y la corrosión del equipo, no utilizar contenedores ni equipos de hierro, cobre o aluminio.
Manipulación:	Mantener buena limpieza para controlar las acumulaciones de polvo.

SECCION 8: CONTROLES DE EXPOSICION Y PROTECCION PERSONAL

Protección respiratoria:	Donde la exposición son menores al límite de exposición establecido, no se requiere protección respiratoria. Donde las exposiciones exceden al límite de exposición establecido, usar la protección respiratoria recomendada para el material y al nivel de exposición.
Guantes de protección:	Usar guantes impermeables.
Protección de la vista:	Usar protección ocular/ facial, gafa para productos químicos y mascarilla.
Equipos de protección dérmica:	Evitar contacto con la piel. Usar ropa protectora adecuada.
Otros equipos de protección:	Antes de comer, beber o fumar, lavarse la cara y las manos minuciosamente con jabón y agua.

SECCION 9: PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Color:	Blancuzco
Aspecto:	Polvo cristalino
Olor:	Inodoro
Temperatura de ebullición/rango:	No aplicable
Temperatura de fusión:	No disponible
Presión de vapor:	No aplicable
Gravedad específica:	0.75 g/ml
Densidad de vapor:	No aplicable
% VOLATIL (Por peso):	~4 - 8
pH:	3.5 (0,5% solución acuosa)
Saturación en aire (%en Vol.):	No aplicable
Índice de evaporación:	No aplicable
Solubilidad en agua:	Limitado por la viscosidad
Contenido orgánico volátil:	No disponible
Punto de inflamación:	No aplicable
Límites de inflamabilidad (% por Vol.):	No aplicable
Temperatura de autoignición:	198.9°C
Temperatura de descomposición:	>200°C
Coefficiente de reparto (n-octanol/agua):	No aplicable

SECCION 10 : ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad:	Estable
Condiciones a evitar:	Almacén en área, fresca, seca. El material es higroscópico. Requiere almacenaje en envase cerrado.

Incompatibilidad con otros materiales:	Agentes oxidantes fuerte, alcalinos, polímeros aniónicos.
Productos peligrosos de descomposición:	Óxido de carbono, dióxido de sulfuro, nitrógeno y amoníaco.
Polimerización Peligrosa:	No ocurrirá

SECCION 11 : INFORMACION TOXICOLOGICA

Toxicidad aguda

Oral	Rata	DL50 aguda	>5000mg/kg
Dermal	Conejo	DL50 Aguda	>2000 mg/kg
Inhalación	Rata	DL50 Aguda 4hr	>20 mg/l

Efectos locales en piel y ojos

Irritación aguda	Dermal	No irritante
Irritación aguda	Ojo	No irritante

Sensitización alérgica

Sensibilización	Dermal	NO hay datos
Sensibilización	Inhalación	No hay datos

Genotoxicidad

Ensayo de mutaciones genéticas No hay datos

Prueba de Salmonella Ensayo

Datos sobre la toxicidad de los

ingredientes peligrosos:

Toxicidad aguda

Ácido adípico

Oral (Cebadura) rata DL50 Aguda (Actual) > 11000 mg/kg

Efectos locales en piel y ojos

Ácido adípico

Irritación de los ojos aguda conejo picante
Irritación dermal aguda No irritante

SECCION 12 : INFORMACION ECOLOGICA

Este material no se clasifica como peligroso para el ambiente.

Los efectos sobre los organismos acuáticos son debido a un modo de acción externo (no sistémico), y Dichos efectos se producen significativamente (por un factor de 7-20), dentro de los 30 min.

Siguientes debido al enlace del producto al carbón orgánico disuelto y varios estratos inorgánicos tales como arcillas y cienos.

Resultado de pruebas en algas

Test: Inhibición de crecimiento (OECD 201)

Debido a la cationicidad De polímero, la prueba De crecimiento de algas no es apropiada.

Resultado en pruebas de peces

Test: Toxicidad aguda, agua dulce (OECD203)

Duración: 96 hr



Especie: Pez sebra (Brachydanio rerio)
>1-10 mg/l LC50



Resultado en pruebas de Invertebrados

Test: Inmovilización aguda (OECD202)
Duración: 48 hr
Especie: Mosca de agua (Daphnia magna)
>10-100 mg/l EC50

Degradación

Test: Evolución de CO₂: Sturm modificada (OECD 301 B)
Duración: 28 días
Este material no es fácilmente degradable (OECD 301B), pero se puede degradar por hidrólisis. La talla grande del polímero es incompatible con transporte a través de la membrana biológica y de la difusión; el factor de la bioconcentración por lo tanto se considera ser cero.

SECCION 13 : CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICION

Tratamientos de residuos: Tratar según legislación vigente
Eliminación de envases: Lavar y descartar según legislación vigente

SECCION 14 : INFORMACION SOBRE TRANSPORTE

UN: NO APLICA
Grupo embalaje/envasado: NO APLICA

SECCION 15 : INFORMACION REGLAMENTARIA

Esta hoja de seguridad cumple con la normativa legal de:

México: NOM-018-ST5-2000
Guatemala: Código de Trabajo, decreto 1441
Honduras: Acuerdo Ejecutivo No. STSS-053-04
Costa Rica: Decreto N° 28113-S
Panamá: Resolución #124, 20 de marzo de 2001
Colombia: NTC 445 22 de Julio de 1998
Ecuador: NTE INEN 2 266:200

SECCION 16 : INFORMACION ADICIONAL

La información indicada en ésta Hoja de Seguridad fue recopilada y respaldada con la información suministrada en las Hojas de Seguridad de los proveedores. La información relacionada con este producto puede ser no válida si éste es usado en combinación con otros materiales o en otros procesos. Es responsabilidad del usuario la interpretación y aplicación de esta información para su uso particular. La información contenida aquí se ofrece solamente como guía para la manipulación de este material específico y ha sido elaborada de buena fe por personal técnico. Esta no es intencionada como completa, incluso la manera y condiciones de uso y de manipulación pueden implicar otras consideraciones adicionales.

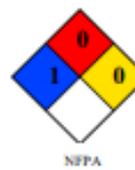
Ficha de seguridad de policloruro de aluminio liquido



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Nombre del Producto: **POLICLORURO DE ALUMINIO LIQUIDO**

Fecha de Revisión: Febrero 2016. Revisión N°2



SECCION 1: IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA

PRODUCTO

Nombre Químico: Policloruro de Aluminio (PAC)

Número CAS: 1327-41-9

Sinónimos: Polihidroxiclورو de Aluminio, Clorhidrato de Aluminio, Cloruro Básico de Aluminio, Hidroxiclورو de Aluminio.etc.

COMPAÑÍA: GTM

Teléfonos de Emergencia

México : +52 55 5831 7905– SETIQ 01 800 00 214 00

Guatemala: +502 6628 5858

El Salvador: +503 2251 7700

Honduras: +504 2564 5454

Nicaragua: +505 2269 0361 – Toxicología MINSA: +505 22897395

Costa Rica: +506 2537 0010 – Emergencias 9-1-1. Centro Intoxicaciones +506 2223-1028

Panamá: +507 512 6182 – Emergencias 9-1-1

Colombia: +018000 916012 Cisproquim / (571) 2 88 60 12 (Bogotá)

Perú: +511 614 65 00

Ecuador: +593 2382 6250 – Emergencias (ECU) 9-1-1

Argentina: +54 115 031 1774

Brasil: +55 21 3591-1868

SECCION 2: COMPOSICION / INFORMACION SOBRE LOS INGREDIENTES

Óxido de Aluminio: 17 +/- 1% peso

Familia: Sales Inorgánicas

Número CAS: 1327-41-9

SECCION 3: IDENTIFICACION DE PELIGROS

Clasificación ONU: Clase 8 Corrosivo

Clasificación NFPA: Salud: 1 Inflamabilidad: 0 Reactividad: 0

EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:

Inhalación:	Produce dolor en el pecho, tos, dificultad para respirar, dolor de garganta.
Ingestión:	Causa irritación gastrointestinal, náuseas y vomito. Tomar abundante agua o leche, no inducir el vomito.
Contacto con los ojos:	Produce ardor, Irritación y enrojecimiento. Lavar inmediatamente.
Contacto con la piel:	Corrosivo. Produce ligera irritación o enrojecimiento. Lavar inmediatamente
Resumen para casos de emergencia:	Corrosivo. Irritante a los ojos, la piel, si se inhala o se ingiere. Estable a temperatura ambiente y en condiciones normales de uso. Reacciona con bases con desprendimiento de calor, Reacciona violentamente con oxidantes, Por descomposición térmica libera gases irritantes de Acido Clorhídrico

SECCION 4: MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación:	Lleve la víctima a un sitio confortable, ventilado y fresco. Lavar nariz y boca con agua abundante y mantener en reposo y abrigado. Si no respira de respiración artificial, si su respiración es dificultosa suministre oxígeno. Consultar al médico lo más pronto posible.
Contacto Dérmico:	Lave de inmediato con abundante agua, bajo la ducha remueva la ropa contaminada y zapatos, se debe continuar con el lavado con agua y jabón durante 15 minutos. Si la irritación u enrojecimiento persiste acudir al médico.
Contacto Ocular:	Lave los ojos inmediatamente con agua corriente por un mínimo de 15 minutos. Mantenga los párpados abiertos durante el enjuague y gire los ojos. Si persiste la irritación, repita el lavado. Remita al médico inmediatamente.
Ingestión:	Si la víctima esta consiente y alerta dele a beber agua o leche. No induzca al vomito. Consultar al médico lo más pronto posible. Nunca suministre algo por la boca si la persona esta inconsciente o convulsionando. En caso de vomito disponer a la persona de costado.

SECCION 5: MEDIDAS PARA EXTINCION DE INCENDIOS

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

SECCION 6: MEDIDAS PARA FUGAS ACCIDENTALES

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

SECCION 7: MANEJO Y ALMACENAMIENTO

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

Otras Precauciones a tomar: Mantenga el equipo de emergencia siempre disponible. El personal debe estar bien entrenado en el manejo seguro del producto. Los recipientes deben estar debidamente etiquetados y alejados de fuentes de calor. Evite el contacto con los ojos o la piel, no lo ingiera. Evite sus neblinas, vapores o gases. Evite el contacto con ojos, piel y ropas.

SECCION 8: CONTROLES DE EXPOSICION Y PROTECCION PERSONAL

Protección respiratoria: Use respiradores con cartuchos para vapores.
Guantes de protección: Acrílico, nitrilo o caucho
Protección de la vista: Use gafas de protección química, careta.
Equipos de protección dérmica: Use traje, guantes, botas de caucho, neopreno o PVC y casco. No use implementos de cuero o algodón.
Otros equipos de protección: Manipular cerca de ducha y lava ojos y despeje el área.
Ventilación: Manipule en lugares con buena ventilación
Límites de exposición: 2 mg/m³ máximo como AI

SECCION 9: PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Estado físico: Líquido
Familia Química: Sal inorgánica
Apariencia y color: Color ámbar claro – oscuro
Olor: Ligeramente ácido
pH: Ácido, desde 0 hasta 4 unidades de pH
Solubilidad en agua: Completa
Solubilidad en otros: Insoluble en solventes orgánicos comunes.
Punto de ebullición: 110 – 120 °C
Punto de fusión y congelación: - 20 °C Aproximadamente
Peso específico: 1.1 – 1.4 (a 20 °C)

SECCION 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad: Estable a temperatura y presión normal.
Productos de descomposición peligrosa: Por descomposición térmica (pirólisis) libera gases irritantes de Ácido Clorhídrico.
Condiciones a evitar: Evite temperaturas excesivamente altas. Evitar contactos con bases, reaccionan produciendo desprendimiento de calor, reacciona violentamente con oxidantes y productos que desprenden gases en medio ácido (Cloritos, Hipocloritos, Sulfitos, Sulfuros, etc.).
Corrosividad: Es corrosivo a muchos metales.

SECCION 11: INFORMACION TOXICOLOGICA

DL50, oral ratas (mg/kg):	> 12.700
DL50, intraperitoneal ratón	No existen datos
TLV:	2 mg/m ³ como Al.

SECCION 12: INFORMACION ECOLOGICA

Algas:	1.75 +/- 0.25 mg/lt
---------------	---------------------

El producto es una sal inorgánica, si se hidroliza se forman precipitados de Hidróxido de Aluminio con pH de 5 – 7 por lo que disminuye el pH del agua, si existen Fosfatos pueden formarse complejos de Fosfatos metálicos.

SECCION 13: CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICION

Sus residuos son considerados como no peligrosos, sin embargo no lo maneje como un desecho normal. No lo disponga en los drenajes, el suelo o fuentes de agua. Neutralizar con Cal o Carbonato de Sodio. Siga las regulaciones locales para su disposición.

SECCION 14: INFORMACION SOBRE TRANSPORTE

UN: 3264

Grupo embalaje/envasado: III

SECCION 15: INFORMACION REGLAMENTARIA

Esta hoja de seguridad cumple con la normativa legal de:

México: NOM-018-ST5-2000

Guatemala: Código de Trabajo, decreto 1441

Honduras: Acuerdo Ejecutivo No. STSS-053-04

Costa Rica: Decreto N° 28113-S

Panamá: Resolución #124, 20 de marzo de 2001

Colombia: NTC 445 22 de Julio de 1998

Ecuador: NTE INEN 2 266:200

SECCION 16: INFORMACION ADICIONAL

La información indicada en ésta Hoja de Seguridad fue recopilada y respaldada con la información suministrada en las Hojas de Seguridad de los proveedores. La información relacionada con este producto puede ser no válida si éste es usado en combinación con otros materiales o en otros procesos. Es responsabilidad del usuario la interpretación y aplicación de esta información para su uso particular. La información contenida aquí se ofrece solamente como guía para la manipulación de este material específico y ha sido elaborada de buena fe por personal técnico. Esta no es intencionada como completa, incluso la manera y condiciones de uso y de manipulación pueden implicar otras consideraciones adicionales.

Ficha técnica cloruro férrico



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Revisó / Autorizó:
Lic. Tuomas Rinne
Ing. Javier Serafín Nevárez

Kemira PIX-201

Elab.: 10.03.2003
Rev.: 22.03.2010
Pág.: 1/4

1. IDENTIFICACIÓN DEL FABRICANTE Y DE LA SUSTANCIA QUÍMICA

- Nombre de la compañía: **Kemira de México, S.A. de C.V.**
Carr. Xoxtla-Tlaltenango s/n
San Miguel Anasco Nativitas, Tlaxcala
Tel. 01 (222) 281 5336
Fax. 01 (222) 281 5366
e-mail: mexico@kemira.com
- Teléfono de emergencia (SETIQ): 01 (800) 0021 400
- Nombre del Producto: **Kemira PIX-201**
Coagulante de Hierro

2. COMPOSICIÓN, INFORMACIÓN SOBRE INGREDIENTES

- Nombre químico: Cloruro ferroso en solución
 - Sinónimos: Diclورو de hierro en solución
- | Componentes | No. CAS | Contenido (%) | Símbolo | Frases - R |
|---------------------|-----------|---------------|---------|-------------|
| • Cloruro ferroso | 7758-94-3 | 18 -22 | C | 35/36/37/38 |
| • Acido clorhídrico | 7647-01-0 | < 1 | C | 35 |
| • Agua | 7732-18-5 | 55 – 65 | NA | NA |

3. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS O EFECTOS A LA SALUD

- Ingestión accidental: Irritación de boca, esófago y estómago. Puede causar náuseas y vómitos. Puede causar irritación en el tracto intestinal. Ingestiones repetidas puede causar posible daño al hígado, riñones y páncreas.
- Inhalación: Irritación a la nariz, garganta y membranas mucosas. Puede causar irritación en el tracto respiratorio.
- Piel (contacto y absorción): Irritación de la piel, el contacto prolongado puede causar dermatitis, pudiendo causar ulceración dependiendo de la temperatura, concentración y tiempo de exposición.
- Ojos: Se puede producir daños oculares permanentes tal como decoloración de los tejidos corneales. Disturbios visuales.

4. EMERGENCIA Y PRIMEROS AUXILIOS

- Contacto con los ojos: Enjuague inmediatamente los ojos con un chorro de agua directo durante por lo menos 15 minutos y mantenga los párpados abiertos para garantizar el lavado completo del ojo y tejidos del párpado. Enjuagar los ojos en cuestión de segundos, es esencial para lograr la máxima eficacia. Busque atención médica inmediatamente.
- Contacto con la piel: Enjuague inmediatamente con agua las zonas contaminadas, quítese la ropa y/o zapatos contaminados inmediatamente. Lave las zonas contaminadas con agua y jabón. Lave y seque la ropa y zapatos contaminados antes de volverlos a utilizar. Busque atención inmediatamente.
- Ingestión: Nunca suministre algo vía oral a un apersona inconsciente o con convulsiones. Si se trago el producto, no induzca al vómito. De a beber grandes cantidades de agua. Si vomita espontáneamente, mantenga las vías aéreas despejadas. De más agua cuando haya dejado de vomitar. Acuda a un médico inmediatamente.
- Inhalación: Si ocurre una emergencia, lleve al afectado a un área descontaminada. Déle respiración artificial si no respira. Si la respiración es dificultosa, se debe suministrar oxígeno por personal calificado. Si se ha detenido la respiración o el pulso, recurra a una persona calificada para que administre Primeros Auxilios (preanimación cardiopulmonar o desfibrilador externo automático) y llame a los servicios de urgencias inmediatamente.
- Notas al médico: La ausencia de signos vitales o síntomas de quemaduras No excluye la presencia de daños reales en los tejidos.

5. RIESGOS DE FUEGO Y EXPLOSIÓN

- **Materiales o medios de extinción:** Riesgo insignificante de fuego, use los agentes de extinción apropiados para las condiciones locales.
- **Peligros específicos:** No sensitivo a impacto mecánico o descarga estática. No inflamable. Durante el incendio, gases irritantes de cloruro de hidrogeno se pueden generar por descomposición térmica. Enfríe el exterior de los recipientes con agua.
- **Equipo de protección para bomberos:** Como en cualquier incendio, utilice aparato de respiración autónomo y vestimenta de protección completa. Mantenga alejado al personal no necesario, aisle el área y prohíba el ingreso. Si puede hacerlo sin riesgo, retire el recipiente del área del incendio.

6. FUGA, DERRAME O LIBERACIONES ACCIDENTALES

- **Precauciones personales:** Use equipo de protección personal, contenga la fuga si es que puede hacerlo.
- **Precauciones ambientales:** Evite que el material fluya hacia los cursos de agua y sistemas de desagüe. Debe informarse de derrames o escapes, si así esta prescrito, a las agencias municipales o gubernamentales o locales pertinentes.
- **Métodos de limpieza:** Contenga los derrames y remueva el material a un contenedor adecuado. El material líquido se puede retirar con un camión de aspirado. Neutralice con cal o carbonato de sodio y enjuague la zona en la que se ha producido el derrame, si fuera necesario.

7. MANEJO Y ALMACENAJE

- **Advertencia de manejo:** Evite respirar el vapor o la niebla. No permita que entre en contacto con los ojos, la piel o la indumentaria. Lávese minuciosamente después de manipular. Al mezclar, agregue el agua lentamente para reducir las salpicaduras. Mantener los contenedores bien cerrados cuando no estén en uso cuando estén vacíos.
- **Condiciones de almacenamiento:** Almacene de acuerdo a las normas y estándares actuales. Mantenga el contenedor cerrado con seguridad y etiquetado correctamente. Almacenar en contenedores o tanques plásticos (polietileno, polipropileno, PVC, teflón) o de acero revestido de caucho, fibra de vidrio reforzada con poliéster u otro material resistente. La superficie exterior del estanque y otras áreas que estén expuestas a salpicaduras accidentales deben estar protegidas con pinturas resistentes.
- **Medidas de protección técnica:** Mantener alejado del calor y de sustancias incompatibles como los álcalis. Evitar el contacto con metales a excepción del titanio o tantalio.

8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN

- **Límites de exposición ocupacional:** LPA: 1.0 mg/m³
- **Medidas para reducir la exposición:** Lávese minuciosamente después de manipular. Al mezclar, agregue el agua lentamente para reducir las salpicaduras. Mantener los contenedores bien. Utilice ventilación de tiraje forzado local en los que se puede generar vapor o niebla. Asegúrese del cumplimiento de los límites de exposición que correspondan.
- **Equipo de protección personal**
 - Medidas higiénicas: Evite el contacto directo. Regadera de emergencia y lava ojos deben estar próximos al área.
 - Ojos: Careta y gafas de seguridad, equipo lava ojos.
 - Piel y cuerpo: Utilice ropa resistente a los productos químicos y botas de caucho cuando exista la posibilidad de entrar en contacto con el material. Se debe quitar la ropa contaminada y luego se debe desechar o lavar.
 - Manos: Use guantes apropiados resistentes a los productos químicos como hule de butilo, caucho natural, neopreno, nitrilo, cloruro de polivinilo (PVC) tychem ®
 - Respiratoria: Ninguno

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Estado físico:	Líquido verde claro
Olor:	Leve olor a ácido
pH:	< 1.0
Insolubles:	< 1.0%
Temperatura de ebullición:	109.5 ± 2.5 °C
Temperatura de fusión:	No disponible
Temperatura de inflamación:	No disponible
Temperatura de autoignición:	No disponible
Densidad relativa:	1.40 – 1.50 g/cm ³
Densidad de vapor:	No aplica
Velocidad de evaporación:	No aplica
Solubilidad en agua:	Completamente soluble.
Presión de vapor:	No aplica
Volatilidad:	No aplica
Fiamabilidad (sólido, gas):	No aplica
Coef. de partición (octanol/agua):	No aplica (compuesto inorgánico)

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

- Estabilidad: Estable bajo condiciones normales, se descompone por exposición a la luz dando cloruro de hidrógeno.
- Condiciones a evitar: Altamente reactivo con agentes oxidantes y reductores, reacciona con metales y álcalis.
- Materiales a evitar: Evitar cualquier contacto con metales por efecto de la corrosión, (contacto con metales libera hidrógeno, peligro de explosión).
- Producto peligroso de descomposición: Humos de HCl

11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

- Toxicidad aguda
 - Oral DL₅₀, rata: 0.5 - 5.0 mg/kg
 - Inhalación DL₅₀, ratón: 1.0 mg/m³ (como Fe)
- Irritación primaria: Irritación de ojos y piel al contacto con la solución
- Sensibilidad: Las salpicaduras pueden causar quemaduras en mucosas, ojos y órganos respiratorios.
- Período prolongado de toxicidad: No disponible
- Pruebas en humanos: No disponible.

12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Persistencia y degradabilidad:	No disponible
Bioacumulación:	No disponible
Movilidad:	No disponible
Efectos ecológicos	Aunque no hay suficientes datos de toxicidad disponibles, es razonable asumir que suficientes cantidades afectan a la vida acuática. Se deberán tomar precauciones para prevenir derrames accidentales de este material al medio ambiente.
Poecilia reticulata, CL ₅₀ , 48 hr:	117.18 mg/L
Gambusia affinis, CL ₅₀ , 96 hr:	75.6 mg/L
Allelus sp, CE ₅₀ , 48 hr:	235.7 mg/L
Daphnia magna, CE ₅₀ , 96 hr:	9.6 mg/L

13. CONSIDERACIONES SOBRE LA DISPOSICIÓN

- Residuos del producto: Diluir con agua y neutralizar con cal. Disponer de acuerdo con las normas y/o reglamentos locales y nacionales.

- **Empaques contaminados:** Disponer como basura especial de acuerdo con las normas y/o reglamentos locales y nacionales.

14. INFORMACIÓN SOBRE EL TRANSPORTE

Información sobre embarque internacionales

- **Transporte terrestre**
 - Clase de peligro: 8
 - Artículo: 9 (c)
 - Grupo de empaque: III
 - Código de riesgo: 8-09
 - Etiqueta ADR-RID/SCT: 88/2582 Cloruro ferroso solución (No combustible)
 - Rotulo de transporte exigido: Ninguno exigido
- **Transporte marítimo**
 - Clase de peligro: 8
 - Grupo de empaque: III
 - Etiqueta IMO-IMDG: 8 Cloruro ferroso solución (No combustible)
 - Rotulo de transporte exigido: Ninguno exigido
- **Transporte aéreo**
 - Clase de peligro: 8
 - Grupo de empaque: III
 - Etiqueta ICAO/IATA: 8 Cloruro ferroso solución (No combustible)
 - Rotulo de transporte exigido: Ninguno exigido

15. INFORMACION SOBRE LA REGLAMENTACIÓN

- **Etiquetado de acuerdo a las directrices de la UE**
 - Símbolo de peligro: **C** (Corrosivo)
 - Contiene: Cloruro ferroso
 - Frases - R: **R 34** Quemaduras ocasionales
 - Frases - S: **S 26** En contacto con los ojos, enjuague inmediatamente con suficiente agua, es aconsejable buscar a un médico.
S 36/37/39 Usar ropa de protección adecuada, además de guantes y careta
- No. ONU: 2582 / 154
- No. IENECs: 231-72-4
- No. de CAS: 7758-94-3
- Código NFPA:



16. OTRA INFORMACION

- **Uso recomendado:** Tratamiento químico del agua
- Esta hoja de seguridad cumple con las normas Oficiales Mexicanas sobre Seguridad e Higiene. NOM-018-STPS-2000, NOM-114-STPS-1994.

ANEXO B
CRITERIOS PARA LA TASACIÓN DE MULTAS DE LA RESOLUCIÓN 2086
DE 2010

Artículo 3°. Criterios. Los siguientes son los criterios a tener en cuenta en la metodología para la tasación de las sanciones pecuniarias:

- B:** *Beneficio ilícito*
- α :** *Factor de temporalidad*
- i:** *Grado de afectación ambiental y/o evaluación del riesgo*
- A:** *Circunstancias agravantes y atenuantes*
- Ca:** *Costos asociados*
- Cs:** *Capacidad socioeconómica del infractor*

Artículo 4°. Multas. Para la tasación de las multas, las autoridades ambientales deberán tomar como referencia los criterios contenidos en el artículo 4° de la presente Resolución y la aplicación de la siguiente modelación matemática:

$$Multa = B + \left[(\alpha * i) * (1 + A) + Ca \right] * Cs$$

Artículo 5º. Motivación. Todo acto administrativo que imponga una multa deberá sustentar de manera clara y suficiente cada uno de los criterios tenidos en cuenta para su tasación.

Artículo 6º. Beneficio ilícito (B). El cálculo del beneficio ilícito podrá estimarse a partir de la estimación de las siguientes variables:

- Ingresos directos (y_1);
- Costos evitados (y_2);
- ahorros de retraso (y_3);
- Capacidad de detección de la conducta (p);

La relación entre ingresos, costos y ahorros (y_1, y_2, y_3) y la capacidad de detección de la conducta (p), determina el beneficio ilícito obtenido por el infractor mediante la siguiente relación:

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

Donde:

B: Beneficio ilícito obtenido por el infractor
Y: Sumatoria de ingresos y costos
p: capacidad de detección de la conducta, la cual está en función de las condiciones de la autoridad ambiental y puede tomar los siguientes valores:

- Capacidad de detección baja: $p=0.40$
- Capacidad de detección media: $p=0.45$
- Capacidad de detección alta: $p=0.50$

Parágrafo Segundo. En todo caso, el beneficio B no podrá superar los 5.000 salarios mínimos legales mensuales vigentes cuando se trate de hechos instantáneos ($\alpha=1$). De igual manera cuando se trate de hechos continuos, el beneficio B no podrá superar la siguiente relación:

$$B \leq 2 * \left[\alpha * i \right] * (1 + A) + Ca * Cs$$

Artículo 7º. Grado de Afectación Ambiental (i): Para la estimación de esta variable, se deberá estimar la *importancia de la afectación* mediante la calificación de cada uno de los atributos, atendiendo los criterios y valores presentados en la siguiente tabla:

Atributos	Definición	Calificación	Ponderación
Intensidad (IN)	Define el grado de incidencia de la acción sobre el bien de protección.	Afectación de bien de protección representada en una desviación del estándar fijado por la norma y comprendida en el rango entre 0 y 33%.	1
		Afectación de bien de protección representada en una desviación del estándar fijado por la norma y comprendida en el rango entre 34% y 66%.	4
		Afectación de bien de protección representada en una desviación del estándar fijado por la norma y comprendida en el rango entre 67% y 99%.	8
		Afectación de bien de protección representada en una desviación del estándar fijado por la norma igual o superior o al 100%	12
Extensión (EX)	Se refiere al área de influencia del impacto en relación con el entorno	Cuando la afectación puede determinarse en un área localizada e inferior a una (1) hectárea.	1
		Cuando la afectación incide en un área determinada entre una (1) hectárea y cinco (5) hectáreas	4
		Cuando la afectación se manifiesta en un área superior a cinco (5) hectáreas.	12
Persistencia (PE)	Persistencia (PE): Se refiere al tiempo que permanecería el efecto desde su aparición y hasta que el bien de protección retorne a las condiciones previas a la acción	Si la duración del efecto es inferior a seis (6) meses.	1
		Cuando la afectación no es permanente en el tiempo, se establece un plazo temporal de manifestación entre seis (6) meses y cinco (5) años.	3
		Cuando el efecto supone una alteración, indefinida en el tiempo, de los bienes de protección o cuando la alteración es superior a 5 años.	5

Atributos	Definición	Calificación	Ponderación
Reversibilidad (RV)	Capacidad del bien de protección ambiental afectado de volver a sus condiciones anteriores a la afectación por medios naturales, una vez se haya dejado de actuar sobre el ambiente.	Cuando la alteración puede ser asimilada por el entorno de forma medible en un periodo menor de 1 año.	1
		Aquel en el que la alteración puede ser asimilada por el entorno de forma medible en el mediano plazo, debido al funcionamiento de los procesos naturales de la sucesión ecológica y de los mecanismos de autodepuración del medio. Es decir, entre uno (1) y diez (10) años.	3
		Cuando la afectación es permanente o se supone la imposibilidad o dificultad extrema de retornar, por medios naturales, a sus condiciones anteriores. Corresponde a un plazo superior a diez (10) años.	5
Recuperabilidad (MC)	Capacidad de recuperación del bien de protección por medio de la implementación de medidas de gestión ambiental.	Si se logra en un plazo inferior a seis (6) meses.	1
		Caso en que la afectación puede eliminarse por la acción humana, al establecerse las oportunas medidas correctivas, y así mismo, aquel en el que la alteración que sucede puede ser compensable en un periodo comprendido entre 6 meses y 5 años.	3
		Caso en que la alteración del medio o pérdida que supone es imposible de reparar, tanto por la acción natural como por la acción humana.	10

Una vez calificados cada uno de los atributos, se procede a determinar la *importancia de la afectación* de acuerdo con la siguiente relación:

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

La *importancia de la afectación*, puede ser calificada como Irrelevante, Leve, Moderada, Severa o Crítica, atendiendo los valores presentados en la siguiente tabla:

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

Una vez determinada la *importancia de la afectación*, se procede a establecer el *grado de afectación ambiental* en unidades monetarias, mediante la siguiente relación, la cual ajusta el monto de la multa a lo establecido por Ley:

$$i = (22.06 * SMMLV) * I$$

Donde:

i: Valor monetario de la importancia de la afectación
SMMLV: Salario mínimo mensual legal vigente
I: Importancia de la afectación

Parágrafo Primero: En aquellos casos en los cuales confluyan dos o más infracciones, se procede mediante el cálculo del promedio de la importancia de aquellas afectaciones que se consideren relevantes.

Parágrafo Segundo. El grado de afectación ambiental (*i*) estará afectado por la variable alfa (α) como un factor de temporalidad que refleja el número de días de la afectación.

Parágrafo Tercero. La variable alfa (α) se calculará aplicando la siguiente relación:

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

Donde:

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

Artículo 8°. Evaluación del riesgo (*r*). Para aquellas infracciones que no se concretan en afectación ambiental, se evalúa el riesgo, mediante la siguiente relación:

$$r = O \times m$$

Donde:

r = Riesgo
o = Probabilidad de ocurrencia de la afectación
m = Magnitud potencial de la afectación

Probabilidad de ocurrencia de la afectación (*o*). La probabilidad de ocurrencia de la afectación se puede calificar como muy alta, alta, moderada, baja o muy baja y atendiendo los valores presentados en la siguiente tabla:

Calificación	Probabilidad de ocurrencia (<i>o</i>)
Muy alta	1
Alta	0.8
Moderada	0.6
Baja	0.4
Muy baja	0.2

Magnitud Potencial de la afectación (*m*). La magnitud o nivel potencial de la afectación se puede calificar como irrelevante, leve, moderado, severo o crítico,

aplicando la metodología de valoración de la importancia de la afectación y suponiendo un "escenario con afectación". Una vez obtenido el valor de (*I*) se determina la magnitud potencial de la afectación con base en la siguiente tabla:

Criterio de valoración de afectación	Importancia de la afectación (<i>I</i>)	Magnitud potencial de la afectación (<i>m</i>).
Irrelevante	8	20
Leve	9-20	35
Moderado	21-40	50
Severo	41-60	65
Crítico	61-80	80

Una vez realizada la *evaluación del riesgo*, se procede a monetizar, mediante la siguiente relación:

$$R = (11.03 \times SMMLV) \times r$$

Donde:

<i>R</i>	=	Valor monetario de la importancia del riesgo
<i>SMMLV</i>	=	Salario mínimo mensual legal vigente
<i>r</i>	=	Riesgo

Parágrafo 1°. En aquellos casos en los cuales confluyan dos o más infracciones que generen riesgo potencial de afectación, se realiza un promedio de sus valores.

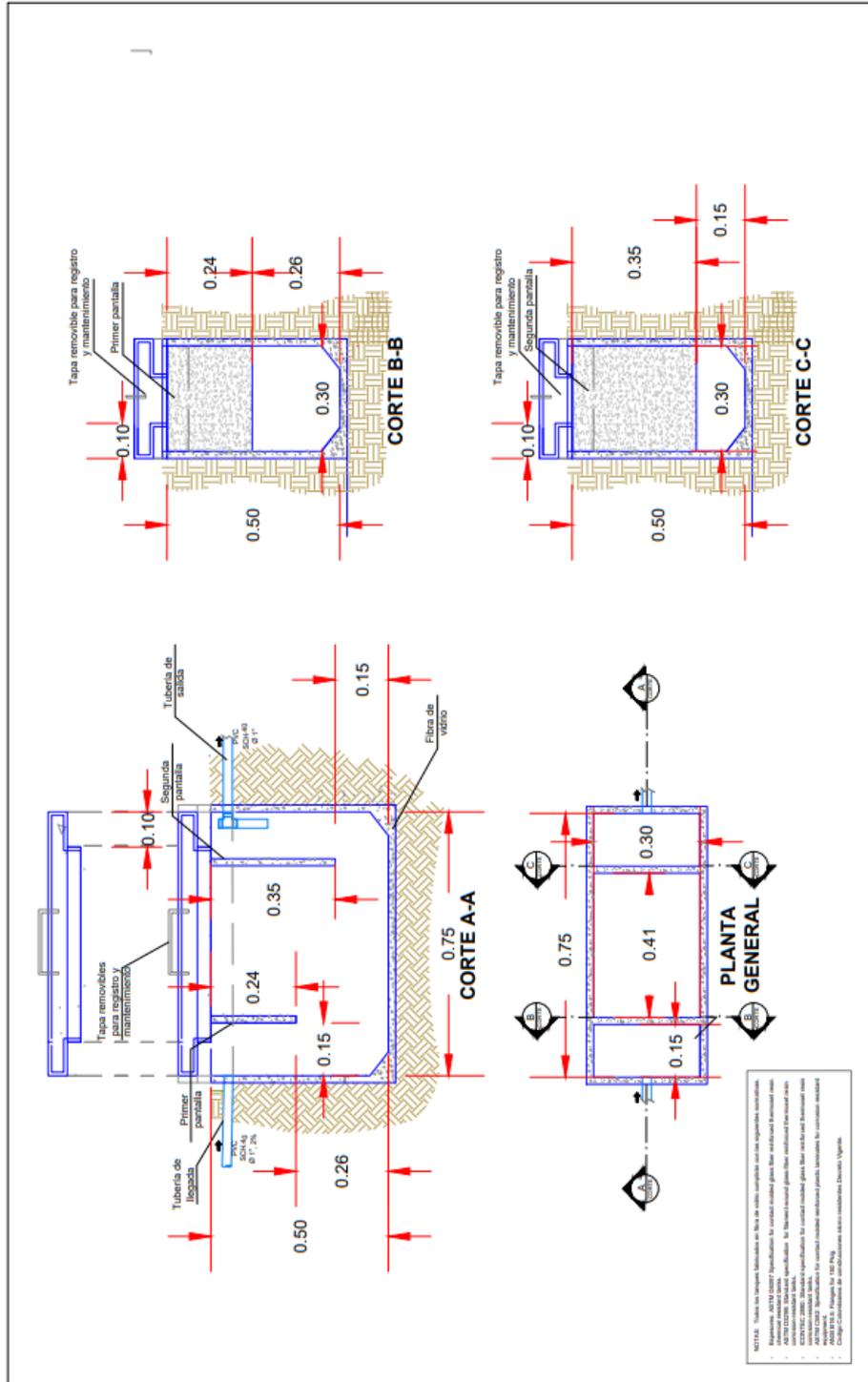
Parágrafo 2°. En los casos en los cuales suceda más de una infracción que se concreten en afectación y riesgo, se procederá mediante el promedio simple de los resultados obtenidos al monetizar tales infracciones o riesgos.

Artículo 9°. *Circunstancias agravantes y atenuantes.* Cada una de las circunstancias agravantes y atenuantes podrá ser calificada conforme a los valores dados en las siguientes tablas:

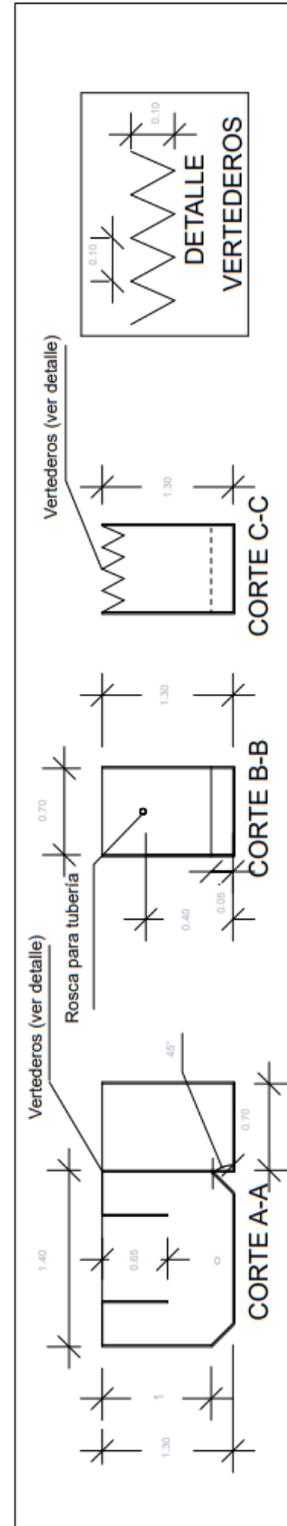
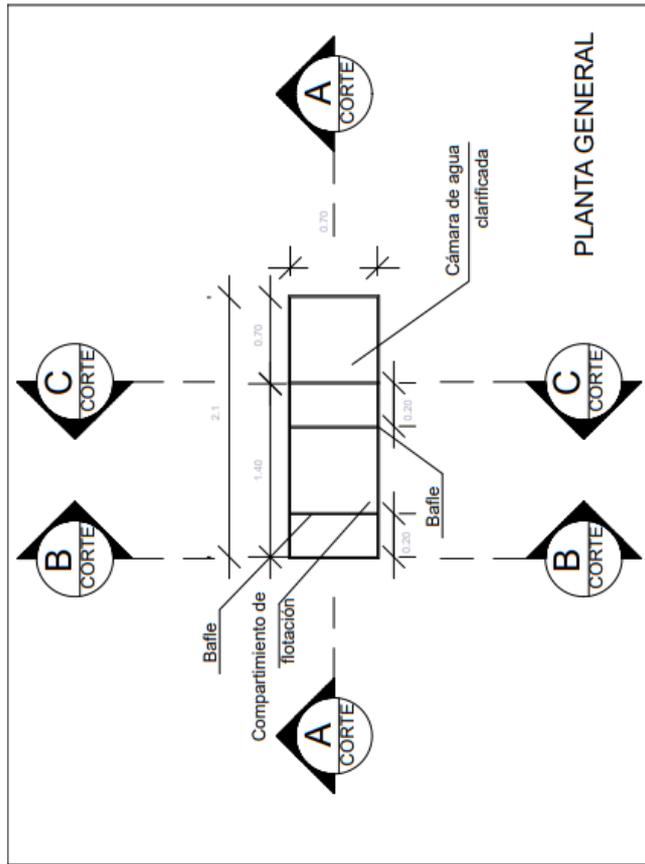
Artículo 10°. *Capacidad socioeconómica del infractor.* Para el cálculo de la Capacidad Socioeconómica del Infractor, se tendrá en cuenta la diferenciación entre personas naturales, personas jurídicas y entes territoriales, de conformidad con las siguientes tablas:

ANEXO C PLANOS DISEÑO ESCALA INDUSTRIAL

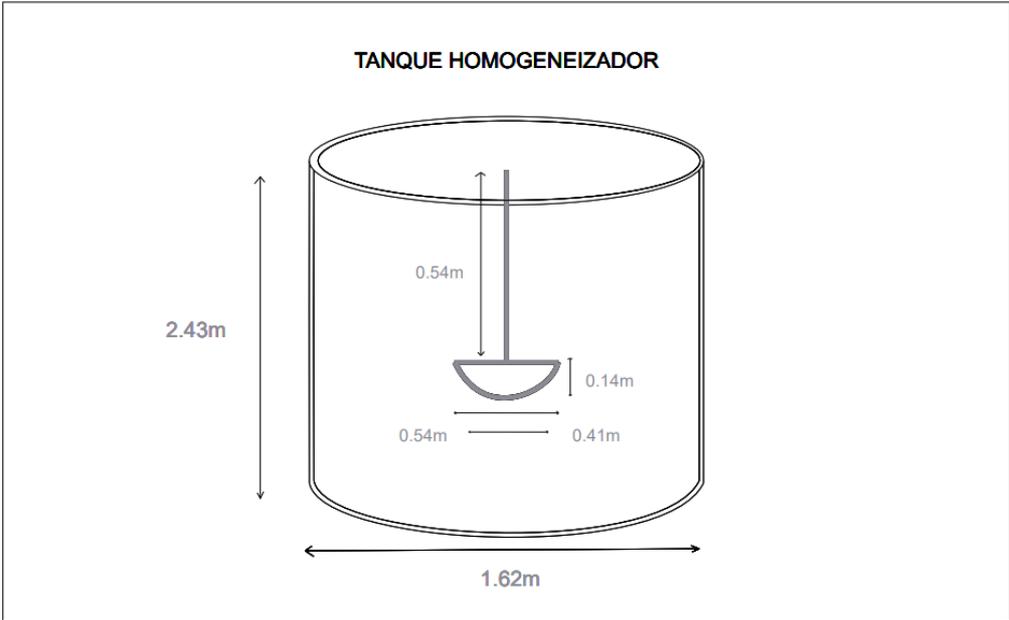
Trampa de grasas



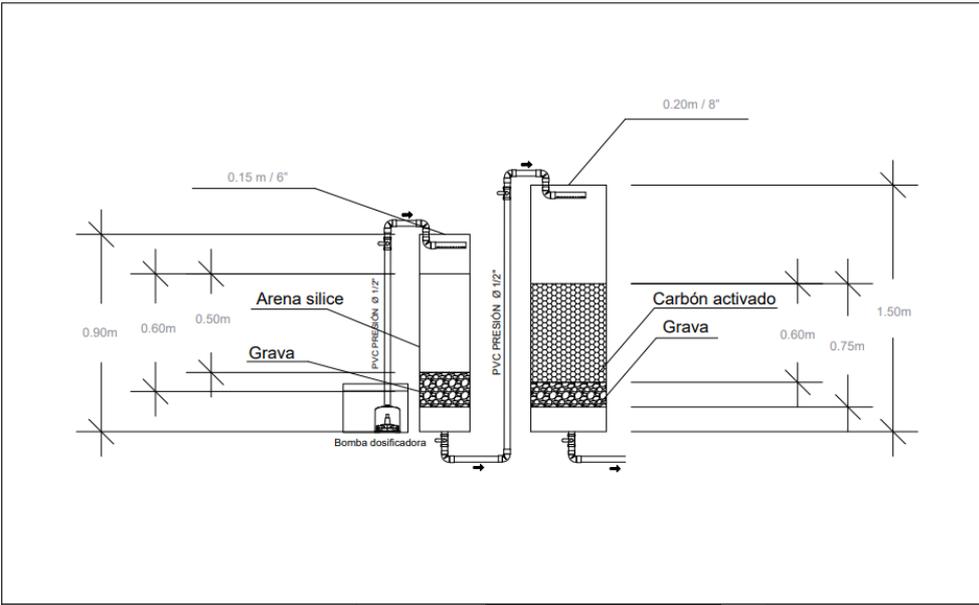
Sistema de flotación por aire disuelto



Tanque homogeneizador

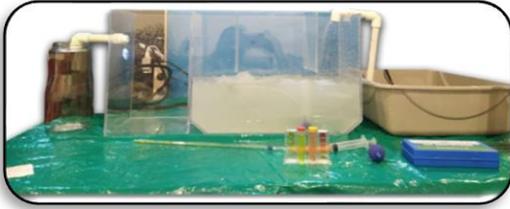


Filtros de arena y carbón activado

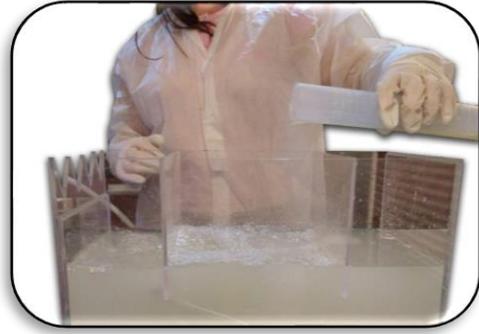


ANEXO D EXPERIMENTACIÓN

<p>Funcionamiento de la trampa de grasas en la empresa</p>	
<p>Medición de los parámetros con multiparámetro HQ40</p>	
<p>Resultado sedimentabilidad en 1 hora por medio del cono Imhoff</p>	
<p>Área de alistamiento de producto terminado</p>	

<p>Cava de maduración</p>	
<p>Neutralización de la muestra antes del ingreso al DAF</p>	
<p>Montaje experimental</p>	
<p>Ilustración superior del DAF</p>	

Dosificación cloruro
férico en el DAF



Recipientes para el
muestreo por parte
del Laboratorio
Quimicontrol Ltda



ANEXO E CARACTERIZACIONES DEL AGUA RESIDUAL POR EL LABORATORIO EXTERNO

Caracterización inicial

 <p>L. Q. LABORATORIO QUIMICONTROL LTDA. Ambiente e Industria</p>	<p>INFORME DE RESULTADOS DE LABORATORIO</p>																																											
<p>INFORME 1 C1247 9 de octubre de 2019</p> <p>IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE</p> <p>Señora Leidy González Rivera Teléfono: 3197591757 Dirección: Carrera 18 #113-52 Bogotá, D.C.</p>	<p>IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA</p> <p>ORDEN DE SERVICIO: 9098 FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 28 de septiembre de 2019 MATRIZ: AR FECHA DE MUESTREO: 27 de septiembre de 2019 TIPO DE MUESTREO: Dato no suministrado por el cliente PUNTO DE MUESTREO: Trampa de grasas IDENTIFICACIÓN MUESTRA: 19-AG4811 OBSERVACIONES: Muestra tomada por el cliente y enviada al laboratorio.</p>																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #e0f2f1;"> <th>Variable</th> <th>Unidad</th> <th>Método</th> <th>Fecha Análisis</th> <th>Resultados</th> <th>Incertidumbre</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>pH-en laboratorio a 25°C a °C **</td> <td>Unidad</td> <td>SM 4500-H⁺B, Electrométrico</td> <td>2019-09-30</td> <td>4,73</td> <td>N.D.</td> </tr> <tr> <td>Demanda química de oxígeno, DQO</td> <td>mg/L O₂</td> <td>SM 5220 B, Reflujo Abierto</td> <td>2019-10-03</td> <td>1690,14</td> <td>±33.8028</td> </tr> <tr> <td>Demanda bioquímica de oxígeno DBO₅</td> <td>mg/L O₂</td> <td>SM 5210 B, 4500-O C Incubación Modificación de Azida</td> <td>2019-09-28</td> <td>874,31</td> <td>±15.9433</td> </tr> <tr> <td>Grasas y aceites</td> <td>mg/L</td> <td>SM 5520 D, Extracción Soxhlet</td> <td>2019-09-28</td> <td>59,7</td> <td>±2.0885</td> </tr> <tr> <td>Sólidos suspendidos totales, SST</td> <td>mg/L</td> <td>SM 2540 D, Gravimetría, Secado</td> <td>2019-09-30</td> <td>118</td> <td>±2.7565</td> </tr> <tr> <td>Sólidos totales</td> <td>mg/L</td> <td>SM 2540 B, Gravimetría, Secado</td> <td>2019-10-02</td> <td>565,3</td> <td>±13.228</td> </tr> </tbody> </table>			Variable	Unidad	Método	Fecha Análisis	Resultados	Incertidumbre	pH-en laboratorio a 25°C a °C **	Unidad	SM 4500-H ⁺ B, Electrométrico	2019-09-30	4,73	N.D.	Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L O ₂	SM 5220 B, Reflujo Abierto	2019-10-03	1690,14	±33.8028	Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅	mg/L O ₂	SM 5210 B, 4500-O C Incubación Modificación de Azida	2019-09-28	874,31	±15.9433	Grasas y aceites	mg/L	SM 5520 D, Extracción Soxhlet	2019-09-28	59,7	±2.0885	Sólidos suspendidos totales, SST	mg/L	SM 2540 D, Gravimetría, Secado	2019-09-30	118	±2.7565	Sólidos totales	mg/L	SM 2540 B, Gravimetría, Secado	2019-10-02	565,3	±13.228
Variable	Unidad	Método	Fecha Análisis	Resultados	Incertidumbre																																							
pH-en laboratorio a 25°C a °C **	Unidad	SM 4500-H ⁺ B, Electrométrico	2019-09-30	4,73	N.D.																																							
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L O ₂	SM 5220 B, Reflujo Abierto	2019-10-03	1690,14	±33.8028																																							
Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅	mg/L O ₂	SM 5210 B, 4500-O C Incubación Modificación de Azida	2019-09-28	874,31	±15.9433																																							
Grasas y aceites	mg/L	SM 5520 D, Extracción Soxhlet	2019-09-28	59,7	±2.0885																																							
Sólidos suspendidos totales, SST	mg/L	SM 2540 D, Gravimetría, Secado	2019-09-30	118	±2.7565																																							
Sólidos totales	mg/L	SM 2540 B, Gravimetría, Secado	2019-10-02	565,3	±13.228																																							
<p>SM: "STANDARD METHODS For The Examination Of Water And Wastewater" 23RD EDITION, 2017. N.D.: No disponible. AR: Agua residual. (**): Variable que no se encuentra acreditada.</p> <p>NOTA 1: Los resultados que se relacionan en este informe corresponden únicamente a la muestra analizada. NOTA 2: La reproducción total o parcial de este informe deberá ser autorizada por el Laboratorio Quimicontrol Ltda. NOTA 3: Las muestras serán eliminadas treinta (30) días después de haber sido recibidas. NOTA 4: Incertidumbre expandida para un nivel de confianza del 95,45 % con un factor K=2. Este informe NO es válido para impresión ni almacenamiento sin firma original de las personas autorizadas por el Laboratorio.</p>																																												
<p>CYNTHIA PAOLA ÁVILA GARAVITO Química, Matrícula profesional PQ-5002 Coordinadora Técnica</p>	<p>FIN DEL INFORME</p>	<p>Elaboró: Carlos Steven Moreno Giron Revisó: Johan David Quiroga Alarcón</p>																																										

Caracterización final



L. Q. LABORATORIO QUIMICONTROL LTDA.
Ambiente e Industria

INFORME DE RESULTADOS DE LABORATORIO

INFORME 3 C1247
18 de marzo de 2020

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE

Señora
Leidy González Rivera
Teléfono: 3197591757
Dirección: Carrera 18 #113-52
leidy.gonzalez2@estudiantes.uamerica.edu.co
Bogotá, D.C.

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

ORDEN DE SERVICIO: 10479
FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 5 de marzo de 2020
MATRIZ: AR
FECHA DE MUESTREO: 05 de marzo de 2020
TIPO DE MUESTREO: Dato no suministrado por el cliente
PUNTO DE MUESTREO: Salida Trampa de Grasas
IDENTIFICACIÓN MUESTRA: 20-AG975
OBSERVACIONES: Muestra tomada por el cliente y enviada al laboratorio.



núm.	Variable	Unidad	Método	Fecha Análisis	Resultados	Incertidumbre
1	pH-en laboratorio a 25°C **	Unidad	SM 4500-H*B, Electrométrico	2020-03-17	7,19	N.D.
2	Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L O ₂	SM 5220 C, Volumétrico, Reflujo Cerrado	2020-03-06	136	±9.52
3	Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅	mg/L O ₂	SM 5210 B, 4500-O C Incubación Modificación de Azida	2020-03-06	32	±0.9923
4	Sólidos totales	mg/L	SM 2540 B, Gravimetría, Secado	2020-03-10	620	±14.508
5	Sólidos suspendidos totales, SST	mg/L	SM 2540 D, Gravimetría, Secado	2020-03-10	30	±0.7008
6	Grasas y aceites	mg/L	SM 5520 D, Extracción Soxhlet	2020-03-09	14,6	±0.5124

SM: "STANDARD METHODS For The Examination Of Water And Wastewater" 23RD EDITION, 2017.(**):Variable que no se encuentra acreditada.(N.D.): No Disponible.
AR: Agua residual.

NOTA 1: Los resultados que se relacionan en este informe corresponden únicamente a la muestra analizada.

NOTA 2: La reproducción total o parcial de este informe deberá ser autorizada por el Laboratorio Quimicontrol Ltda.

NOTA 3: Las muestras serán eliminadas treinta (30) días después de haber sido recibidas.

NOTA 4: Incertidumbre expandida para un nivel de confianza del 95,45 % con un factor K=2.

Este informe NO es válido para impresión ni almacenamiento sin firma original de las personas autorizadas por el Laboratorio.

CYNTHIA PAOLA ÁVILA GARAVITO
Química, Matrícula profesional PQ-5002
Coordinadora Técnica

Elaboró: Duvan Andrey Nieto Sanabria
Revisó: Carlos Steven Moreno Giron

FIN DEL INFORME

ANEXO F COTIZACIONES DEL PROYECTO

Agua sistema y soluciones integrales SAS



Agua sistema y soluciones
integrales S.A.S

Fecha cotización 02 de Abril de 2020
Cotización GOT. 00181-20
Cliente LACTEOS FOOD AND DRINKS ALIMENTOS SAS
Ingeniero

REF: SUMINISTRO E INSTALACION DE EQUIPO DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

De acuerdo a su solicitud realizada, le adjunto cotización del producto en referencia, de acuerdo a las siguientes características las que se han de tener en cuenta para un óptimo funcionamiento del equipo en la producción de agua para el proceso de producción que su empresa requiere;

OFERTA ECONOMICA:

ITEM	PRODUCTO	CANT	U.M	VALOR UNIDAD	VALOR TOTAL
1	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE EQUIPO PARA TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL QUE CONTIENE: A) TANQUE CLARIFICADOR, B) TANQUE HOMOGENIZADOR, C) MOTO REDUCTOR, D) 2 BOMBA CENTRIFUGA, E) BOMBA SUMERGIBLE, F) 4 BOMBAS DOSIFICADORAS, G) FILTRACIÓN CONFORMADA POR TANQUES DE ARENA Y CARBÓN, H) ACCESORIOS PVC 1 1/2, I) TABLERO DE CONTROL, J) M.O ENSAMBLE Y ARRANQUE DE EQUIPO	1	UND	\$ 78.428.571	\$ 78.428.571
	TOTAL				\$ 78.428.571
	IVA			19%	\$ 14.901.428
	VALOR TOTAL				\$ 93.329.999

• **OBSERVACIONES:**

Los valores que se muestran a continuación están de acuerdo a lo descrito en esta cotización. Toda la información técnica se entregará una vez se haya realizado el acuerdo de trabajo y/o anticipo o en su defecto los que se hayan estipulado. EL TRANSPORTE DE LOS MEDIOS ESTARA A CARGO DE LA EMPRESA CONTRATISTA. Todas las veces que aparezca la palabra garantía se dará sin previo daño emergente. Los medios de filtración tienen una durabilidad en trabajo de 1 año como máximo.

ASSI Agua sistema y soluciones integrales SAS

YESID ALVARADO MARTINEZ CEL: 3202709000/ 317 837 96 41

aguadesmi2011@gmail.com

NIT: 900.748.616-2

Bioplantas ingeniería SAS



BIOPLANTAS INGENIERÍA S.A.S. Tecnología para el tratamiento de aguas

DESCRIPCION TECNICA DE MATERIALES

TIPO DE RESINA: poliéster 805 de Ander col

TIPO DE FIBRA: Velo de superficie Mat. 700, rowing continuo.
Mat 700

METODO CONSTRUCCION. Laminado, enrollado

VALORES

ITEM	DESCRIPCION	V/UNITARIO	CANTIDAD	V/TOTAL
1	TANQUE ALMACENAMIENTO EN FIBRA DE VIDRIO CAPACIDAD 5 M3 DIAMETRO 1.62 ALTURA 2.43M	\$ 3.235.000	1	\$ 3.235.000
2	TANQUE RECTANGULAR EN FIBRA DE VIDRIO MEDIDAS LARGO 2.10M ANCHO 0.70M ALTURA 1.30M ESPESOR 7MM	\$ 4.198.350	1	\$ 4.198.350
3	FILTRO EN FIBRA DE VIDRIO DIAMETRO 6" ALTURA 1.5M	\$ 486.320	1	\$486.320
4	FILTRO EN FIBRA DE VIDRIO DIAMETRO 8" ALTURA 1.50M	\$ 563.700	1	\$563.700

CONDICIONES COMERCIALES

IMPUESTO:

Se adiciona el valor del impuesto del IVA en el momento de facturación.

FORMA DE PAGO:

50% Anticipo
50% Entrega

TIEMPO DE ENTREGA:

A Definir

GARANTIA:

48 meses bajo condiciones de operación estándar.

SITIO DE ENTREGA:

En las instalaciones de la compañía **BIOPLANTAS INGENIERIA S.A.S**

VALIDEZ DE LA OFERTA:

Treinta días a partir de la fecha de presentación.

Av Cra 5 Este N° 89 – 45 Sur – Teléfono: (1) 764 33 45 Fax: 773 0917 cel: 310 339 9819
Pagina web: www.bioplantas.net E-mail: gerencia@bioplantas.net – bioplantas@hotmail.com