

EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CLARIFICACIÓN
DE AGUAS RESIDUALES PREVIO AL TRATAMIENTO SECUNDARIO EN LA
PTAR DE ALBATEQ S.A.

MARÍA CAMILA DE LA TORRE DÍAZ

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ
2017

EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CLARIFICACIÓN
DE AGUAS RESIDUALES PREVIO AL TRATAMIENTO SECUNDARIO EN LA
PTAR DE ALBATEQ S.A.

MARÍA CAMILA DE LA TORRE DÍAZ

Proyecto Integral de Grado para optar al título de:
INGENIERO QUÍMICO

Director:
CARLOS GARZÓN
Ingeniero químico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C
2017

Nota de aceptación:

Presidente de jurados. Ing. Elizabeth Torres Gámez

Jurado 1. Ing. Mario Fernando Ortiz

Jurado 2. Luis Humberto Reyes

Bogotá D.C, marzo de 2017

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectoría Académica y de posgrado

Ing. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretaria General

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Decano General de la Facultad de Ingenierías

Dr. Julio César Fuentes Arizmendi

Director del Programa de Ingeniería Química

Dr. Leonardo De Jesús Herrera Gutiérrez

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

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a Dios por haberme dado la fortaleza para enfrentar cada adversidad que se presentó durante el desarrollo del trabajo. A mi familia que me brindo el apoyo, en especial mi hermana Adriana que desde la distancia estuvo pendiente del proyecto y además fue parte fundamental para cumplir este sueño.

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero Carlos Hernández por haberme permitido desarrollar el proyecto en Albateq S.A

Al ingeniero Carlos Garzón quien guio, estuvo pendiente y brindó lo necesario para el desarrollo el proyecto.

A la ingeniera Elizabeth Torres por su tiempo y apoyo en la realización del trabajo de grado.

Profesores de la Universidad América quienes transmitieron sus conocimientos para lograr cada uno de los objetivos.

Finalmente agradezco a mi familia y a compañeros que me brindaron su apoyo incondicional durante toda la carrera y en especial en este trabajo de grado.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	19
OBJETIVOS	20
1. MARCO REFERENCIAL	21
1.1 MARCO TEÓRICO	21
1.1.1 Características físicas del agua.	21
1.1.2 Características químicas del agua.	22
1.1.3 Tipos de tratamientos de aguas residuales.	22
1.2 MARCO LEGAL	26
2. DIAGNÓSTICO	28
2.1 GENERALIDADES	28
2.2 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS DE LA PTAR	33
2.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTOS DE AGUA RESIDUALES	35
2.3.1 Balance hídrico.	36
2.4 EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	41
3. DESARROLLO EXPERIMENTAL	44
3.1 MATERIALES Y EQUIPOS	46
3.2 TEST DE JARRAS	48
3.2.1 Descripción y preparación de los reactivos	49
3.3 SELECCIÓN Y DOSIFICACIÓN DE COAGULANTE Y FLOCULANTE	51
4. EQUIPOS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	68
4.1 DISEÑO DEL CLARIFICADOR	68
4.2 DOSIFICACIÓN Y PREPARACION DE REACTIVOS	69
4.2.1 Dosificación y preparación de coagulante Policloruro de aluminio	70
4.2.2 Dosificación y preparación de floculante L1538	70
4.3 DISEÑO DEL NUEVO TRATAMIENTO	71
5. ANÁLISIS DE COSTOS DE LA PTAR	76
5.1 COSTOS ACTUALES	76
5.1.1 Costos de mantenimiento.	76
5.1.2 Costos de operación.	76
5.2 COSTOS DEL NUEVO TRATAMIENTO DE LA PTAR	78
5.2.1 Costos de adquisición de nuevos equipos..	78
5.2.2 Costos de operación.	78

5.3 COSTOS POR SANCIONES	80
6. CONCLUSIONES	82
7. RECOMENDACIONES	83
BIBLIOGRAFÍA	84
ANEXOS	86

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Límite máximo permisible en vertimientos de aguas residuales	27
Tabla 2. Producción anual de alimentos balanceados para animales	28
Tabla 3. Porcentaje de residuos por pollo	29
Tabla 4. Condiciones de entrada de la materia prima	36
Tabla 5. Humedad final de la materia prima	36
Tabla 6. Caracterización de agua residual antes y después del tratamiento biológico	42
Tabla 7. Caracterización de agua residual después del tratamiento físico-químico	42
Tabla 8. Descripción de coagulantes	49
Tabla 9. Descripción de floculantes	50
Tabla 10. Condiciones para de test de jarras	51
Tabla 11. Condiciones iniciales del agua residual	51
Tabla 12. Resultados test de jarras con policloruro de aluminio	52
Tabla 13. Resultados test de jarras con sulfato de aluminio	53
Tabla 14. Resultados test de jarras con cloruro férrico	53
Tabla 15. Resultados ensayo 4	54
Tabla 16. Resultados ensayo 5	55
Tabla 17. Resultados ensayo 6	56
Tabla 18. Resultados ensayo 7	58
Tabla 19. Resultados ensayo 8	59
Tabla 20. Resultados ensayo 9	60
Tabla 21. Resultados ensayo 10	62
Tabla 22. Resultados ensayo 11	63
Tabla 23. Resultados ensayo 12	64
Tabla 24. Dimensiones del sedimentador	69
Tabla 25. Cantidad de productos por día	71
Tabla 26. Tiempos de operación del sistema de clarificación	72
Tabla 27. Porcentajes de remoción de la PTAR	74
Tabla 28. Parámetros estimados con el nuevo tratamiento	74
Tabla 29. Costos de lavado de la PTAR	76
Tabla 30. Costos de reactivos utilizados actualmente	77
Tabla 31. Consumo y costos de energía	77
Tabla 32. Consumo y costos de agua	78
Tabla 33. Costos de nuevos equipos	78
Tabla 34. Consumo y costos de reactivos del nuevo tratamiento	79
Tabla 35. Consumo y costos de agua del nuevo tratamiento	79
Tabla 36. Costo y consumo de energía de equipos de nuevo tratamiento	79
Tabla 37. Incremento de costos anuales del tratamiento de aguas residuales	80
Tabla 38. Criterios para la determinación de la sanción ambiental	81

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Diagrama de flujo producción de harina a partir de víscera y menudencia	30
Figura 2. Diagrama de flujo producción de harina a partir de sangre	31
Figura 3. Diagrama de flujo producción de harina a partir de pluma	32
Figura 4. Balance vísceras+menudencias	37
Figura 5. Balance sangre	37
Figura 6. Balance pluma	38
Figura 7. Balance lodos	39
Figura 8. Diagrama de bloques de la PTAR actual	40
Figura 9. Procedimiento para selección de dosis de coagulante.	45
Figura 10. Procedimiento para selección de coagulante-floculante	46
Figura 11. Diagrama de bloques de la PTAR nueva	72
Figura 12. Diagrama del nuevo proceso de la PTAR de Albateq S.A	73

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Función de equipos de la PTAR	33
Cuadro 2. Descripción de equipos y materiales	47

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Caudal real de la PTAR	41
Gráfica 2. Comparación del vertimiento con la Resolución 0631	43
Gráfica 3. Turbidez final en los ensayos realizados con policloruro de aluminio	57
Gráfica 4. SST final en los ensayos realizados con policloruro de aluminio	57
Gráfica 5. DQO final en los ensayos realizados con policloruro de aluminio	58
Gráfica 6. Turbidez final en los ensayos realizados con sulfato de aluminio	61
Gráfica 7. SST final en los ensayos realizados con sulfato de aluminio	61
Gráfica 8. DQO final en los ensayos realizados con sulfato de aluminio	62
Gráfica 9. Turbidez final en los ensayos realizados con cloruro férrico	65
Gráfica 10. SST final en los ensayos realizados con cloruro férrico	66
Gráfica 11. DQO final en los ensayos realizados con cloruro férrico	66
Gráfica 12. Caudal histórico de la PTAR	68
Gráfica 13. Comparación vertimiento esperado con la norma	75

LISTA DE IMÁGENES

	pág.
Imagen 1. Agua antes de tratamiento	51
Imagen 2. Resultados test de jarras con policloruro de aluminio	52
Imagen 3. Resultados test de jarras con sulfato de aluminio	52
Imagen 4. Resultados test de jarras con cloruro férrico	53
Imagen 5. Resultados ensayo 4	54
Imagen 6. Resultados ensayo 5	55
Imagen 7. Resultados ensayo 6	56
Imagen 8. Resultados ensayo 7	59
Imagen 9. Resultados ensayo 8	59
Imagen 10. Resultados ensayo 9	60
Imagen 11. Resultados ensayo 10	63
Imagen 12. Resultados ensayo 11	64
Imagen 13. Resultados ensayo 12	64

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Caudal total	39
Ecuación 2. Error relativo porcentual	41
Ecuación 3. Preparación de reactivos	49
Ecuación 4. Volumen del sedimentador	69
Ecuación 5. Determinación de sanción ambiental	80

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Balance hídrico	87
Anexo B. Toma de caudal y pH	91
Anexo C. Medición de turbidez	93
Anexo D. Índice de Willcomb	95
Anexo E. Medición de pH	97
Anexo F. Medición de sólidos suspendidos totales	99
Anexo G. Medición de DQO	101
Anexo H. Fichas técnicas de los coagulantes	103
Anexo I. Fichas técnicas de los floculantes	108
Anexo J. Dimensiones de los equipos	114
Anexo K. Cotizaciones de reactivos y equipos	116
Anexo L. Cálculo de multa	122

GLOSARIO

AGUA RESIDUAL: aquella que ha sido contaminada durante el empleo de actividades domésticas o industriales

CLARIFICACIÓN: técnica utilizada para la remoción de turbiedad, emplea agentes químicos como coagulantes y floculantes, el cual sirven para agrupar las pequeñas partículas que forman la turbiedad y de esta manera se consigue la precipitación y la remoción de manera más fácil.

COAGULACIÓN: desestabilización de partículas coloidales presentes en el agua.

COAGULANTE: sustancia que desestabiliza las cargas eléctricas del coloide, por lo general son sales metálicas.

DOSIFICACIÓN: actividad de adicionar agentes químicos al agua que se va a tratar.

FLOC: conglomerado de partículas sólidas que se genera a través de los procesos de coagulación y floculación.

FLOCULACIÓN: aglomeración de partículas desestabilizadas en microfloculos y después de floculos más grandes, gracias a una agitación moderada.

FLOCULANTE: sustancia química comúnmente orgánica que aglutina sólidos en suspensión una vez efectuada su coagulación, provocando su precipitación.

MATERIA ORGÁNICA: combinación de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno principalmente; con las proteínas, carbohidratos, grasas y aceites como grupo más importantes.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUALES (PTAR): es una instalación donde se lleva la actividad de retirar los contaminantes de aguas que con anterioridad tuvieron un proceso industrial.

TEST DE JARRAS: ensayo empleado para realizar un proceso de clarificación de agua que se lleva una PTAR, de esta manera se busca evaluar procesos de clarificación a una escala menor.

TURBIDEZ: es una medida del grado en el cual el agua pierde su transferencia debido a la presencia de partículas en suspensión; mide la claridad del agua.

VERTIMIENTO: es una descarga que se realiza a una fuente hídrica.

RESUMEN

La empresa Albateq S.A procesa vísceras, menudencias, plumas y sangre, procedentes de una central de sacrificio avícola, las cuales son materia prima para la fabricación de harina, donde en el proceso de transformación se genera un alto porcentaje de agua residual, la cual está siendo tratada en la PTAR de la misma empresa, pero con el tiempo se han venido observando falencias específicamente en el tratamiento secundario debido al incremento de caudal y carga orgánica del agua, por tanto, se ha propuesto evaluar la implementación de un sistema de clarificación previo al tratamiento microbiológico que hay actualmente.

Para evaluar dicho tratamiento en primer lugar se desarrolló un diagnóstico identificando las principales fuentes de agua residual, sus características y el flujo de agua que está siendo tratada, posteriormente se desarrolla la experimentación a través de pruebas de jarras donde se seleccionó como agente coagulante policloruro de aluminio en una concentración de 1400ppm y como floculante L1538 en una concentración de 12ppm obteniendo un agua clarificada con turbidez de 14 FAU, sólidos suspendidos totales de 17 mg/l y una demanda química de oxígeno de 1501 mg/l, por último teniendo en cuenta el diagnóstico y la experimentación se diseña la unidad necesaria para llevar a cabo el tratamiento, se especifican los tiempos de operación y se establece la correspondiente dosificación de cada uno de los agentes químicos. Adicionalmente se estiman los costos que implican poner en marcha el nuevo sistema de clarificación.

Palabras clave: clarificación, coagulante, floculante, sedimentación

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el cuidado del medio ambiente se ha convertido en una prioridad para las industrias, los consumidores y los organismos de control. El seguimiento adecuado de residuos generados por las industrias está siendo altamente valorado, especialmente en lo que se refiere al manejo de aguas residuales, para la fábrica Albateq S.A. es importante que los vertimientos que están generando cumplan con la normatividad colombiana y así asegurarse que su operación no implica daños al medio ambiente y evitar posibles sanciones por desvíos.

La planta de tratamiento de aguas de Albateq S.A actualmente está recibiendo en promedio 7 m³/h de aguas residuales, estas se caracterizan por el alto contenido de grasas y compuestos disueltos y en suspensión debido a la naturaleza de las materias primas, la principal unidad encargada de la degradación de dichos compuestos es un reactor microbiológico que tiene la capacidad de tratar 4 m³/h de agua residual.

Este proyecto nace de las falencias que se han venido presentando principalmente en el tratamiento microbiológico, pues este se está viendo afectado por el crecimiento del flujo de agua a tratar y por el aumento de carga orgánica, por tanto se tiene como objetivo evaluar la implementación de un tratamiento de clarificación, principalmente llevando a cabo una experimentación a través de ensayos de jarras con diferentes coagulantes y floculantes, garantizando un agua en mejores condiciones para el tratamiento microbiológico y por consiguiente un vertimiento de mejor calidad. Adicionalmente se espera que al poner en marcha el sistema de clarificación de aguas residuales previo al tratamiento secundario en la PTAR se garantice en el largo plazo la sostenibilidad de las operaciones de la compañía y su genuino interés por cuidar el medio ambiente.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la implementación de un sistema de clarificación de aguas residuales previo al tratamiento secundario en la PTAR de Albateq S.A.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar el estado actual en que funciona la planta de tratamiento de aguas.
- Seleccionar las condiciones de proceso para la implementación de un sistema de clarificación previo al tratamiento secundario en la PTAR.
- Determinar las especificaciones técnicas que se requieren para la implementación de un sistema de clarificación.
- Realizar el análisis financiero de la implementación de un sistema de clarificación.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 MARCO TEÓRICO

1.1.1 Características físicas del agua. “Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas importantes son la temperatura, la densidad, el color y la turbiedad”¹.

1.1.1.1 Sólidos totales. “Analíticamente, se define el contenido de sólidos totales como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación a entre 103 y 105 °C. No se define como sólida aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor. Los sólidos sedimentables se definen como aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono de Imhoff) en el transcurso de un periodo de 60 minutos. Los sólidos sedimentables, expresados en unidades de ml/l, constituyen una medida aproximada de la cantidad de fango que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual. Los sólidos totales, o residuo de la evaporación, pueden clasificarse en filtrables o no filtrables (sólidos en suspensión) haciendo pasar un volumen conocido de líquido por un filtro. La fracción filtrable de los sólidos corresponde a sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal está compuesta por las partículas de materia de tamaños entre 0,001 y 1 micrómetro. Los sólidos disueltos están compuestos de moléculas orgánicas e inorgánicas e iones en disolución en el agua. No es posible eliminar la fracción coloidal por sedimentación. Normalmente, para eliminar la fracción coloidal es necesaria la oxidación biológica o la coagulación complementadas con la sedimentación”²

1.1.1.2 Temperatura. Es un parámetro de importancia, esta influye sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, adicionalmente el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría.

1.1.1.3 Densidad. Está definida como la masa del agua residual por unidad de volumen. “En ocasiones, se emplea como alternativa a la densidad el peso específico del agua residual, obtenido como cociente entre la densidad del agua residual y la densidad del agua. Ambos parámetros, la densidad y el peso específico, dependen de la temperatura y varían en función de la concentración total de sólidos en el agua residual”³

¹ Metcalf & Eddy. Ingeniería De Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización. tercera ed. España: McGraw-Hill, 1995. 504 p. ISBN 84-481-1727-1 (vol 1)

² Ibid., p. 60

³ Metcalf & Eddy. Ingeniería De Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización. tercera ed. España: McGraw-Hill, 1995. 504 p. ISBN 84-481-1727-1 (vol 1)

1.1.1.4 Color. El color en el agua resulta de la presencia en solución de diferentes sustancias como iones metálicos naturales, humus y materia orgánica disuelta.

1.1.1.5 Turbiedad. La turbiedad es aquella que mide la transmisión de la luz de un agua, es uno de los parámetros que se emplean para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión.

1.1.2 Características químicas del agua.

1.1.2.1 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Es el parámetro de contaminación orgánica más empleado, el cual mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por microorganismos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión. Normalmente se mide transcurridos cinco días de reacción (DBO₅), y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO₂/l).

1.1.2.2 Demanda química de oxígeno (DQO). El ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales. La Demanda Química de Oxígeno, DQO, consiste en determinar la cantidad de oxígeno diatómico en mg/l consumido en la oxidación de las sustancias reductoras que están en un agua. Se emplean oxidantes químicos, como el dicromato potásico

1.1.3 Tipos de tratamientos de aguas residuales. El tratamiento de aguas residuales es el conjunto de operaciones y procesos unitarios necesarios para eliminar contaminantes del agua. Estas operaciones y procesos se agrupan dando origen a los diferentes tipos de tratamiento.

1.1.3.1 Pretratamiento. Busca remover a partir de operaciones unitarias y procesos mecánicos materia flotante, arena, aceites, que pueden causar inconvenientes en la operación y mantenimiento de procesos posteriores. Algunas operaciones unitarias realizadas en el tratamiento preliminar son:

- **Desbaste.** Consiste en la eliminación de residuos sólidos a través de rejillas verticales, con una separación entre barros de 50 a 100 milímetros para el desbaste de sólidos gruesos, y con una separación de barros entre 10 y 25 milímetros para desbaste de sólidos finos.
- **Desarenado.** Es la operación que tiene como objetivo eliminar arenas, partículas, minerales, granos, semillas entre otras partículas pesadas superiores a 0,2 milímetros para evitar la abrasión de equipos mecánicos, y la sedimentación de arenas en tuberías y canales en los siguientes tratamientos.

- **Desengrasado.** Es usado para la eliminación de grasas, aceites, espumas y demás materias flotantes, esta operación se realiza mediante la inyección de aire para desemulsionar las grasas y conseguir la flotación de estas para su posterior remoción.

1.1.3.2 Tratamiento primario. El objetivo de este tratamiento es remover parcialmente sólidos suspendidos y parte de materia orgánica, a través de algunas operaciones unitarias mencionadas a continuación.

- **Sedimentación.** “Se designa por sedimentación la operación por la cual se remuevan las partículas salidas de una suspensión mediante la fuerza de gravedad; en algunos casos se denomina clarificación o espesamiento”⁴.

Esta operación física de separación por gravedad hace que las partículas más densas que el agua desciendan, depositándose en el fondo del sedimentador. Será más eficaz cuanto mayor sea el tamaño y la densidad de las partículas a separar del agua, es decir, cuanto mayor sea su velocidad de sedimentación.

La sedimentación después de la adición de coagulantes y floculantes se usa con el fin de remover los sólidos (flocs) que han sido generados por la adición de dichos agentes químicos.

- **Flotación.** Es un proceso unitario utilizado para la separación de partículas sólidas o líquidas en un medio líquido, que se consigue por separación simple o introduciendo burbujas muy finas de gas (aire) en la masa líquida; estas arrastran las partículas suspendidas hacia la superficie produciendo la separación por flotación. “En esta operación hay un parámetro importante a la hora del diseño: La relación aire/sólidos, ml/l de aire liberados en el sistema por cada mg/l de concentración de sólidos en suspensión contenidos en el agua a tratar. Es un dato a determinar experimentalmente y suele tener un valor óptimo comprendido entre 0.005 y 0.06”⁵.

En el tratamiento de aguas se tienen dos sistemas de flotación “Flotación por Aire Disuelto – DAF” y flotación por aire inducido. El más común es el sistema DAF en el cual se “introduce en el agua residual bajo una presión de varias atmósferas. Los elementos principales de estos equipos son la bomba de presurización, el equipo de inyección de aire, el tanque de retención o saturador y la unidad de flotación propiamente dicha, donde tiene lugar la reducción brusca de la presión, por lo que el aire disuelto se libera, formando multitud de microburbujas de aire”⁶

⁴ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Purificación Del Agua. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2006. ISBN 9588060664

⁵ FERNANDEZ ALBA, Antonio, et al. tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. En: INFORME DE VIGILANCIA y TECNOLOGIA. 2006.vol. 2, no. 1, p. 1

⁶ *Ibíd.*, p. 2

- **Filtración.** La filtración es una operación en la que se hace pasar el agua a través de un medio poroso, con el objetivo de retener la mayor cantidad posible de materia en suspensión. El medio poroso tradicionalmente utilizado es un lecho de arena, de altura variable, dispuesta en distintas capas de distinto tamaño de partícula, siendo la superior la más pequeña y de entre 0.15 y 0.3 mm
- **Homogenización.** En esa operación lo que se busca es que por medio de un tanque de homogenización las aguas residuales procedentes de diferentes fuentes se mezclen con el fin de que al realizar los tratamientos físico-químicos el agua este totalmente homogénea, teniendo las mismas características en cualquier punto.

1.1.3.3 Tratamiento secundario. Este tratamiento “consiste en la eliminación de materia orgánica biodegradable, tanto soluble como coloidal, así como la eliminación de compuestos que contienen elementos nutrientes (N y P). Es uno de los tratamientos más habituales, no solo en el caso de aguas residuales urbanas, sino en buena parte de las aguas industriales”⁷.

Los tratamientos más usados son en presencia de oxígeno donde mediante el mecanismo de oxidación biológica los microorganismos degradan la materia orgánica contaminante del agua residual. De esta forma, los microorganismos se alimentan de dicha materia orgánica en presencia de oxígeno y nutrientes. Entre los procesos biológicos en presencia de oxígeno se encuentran: lodos activados y sus modificaciones, filtros percoladores y lagunas aireadas. El proceso de lodos activados generalmente es considerado como el más efectivo para la remoción de materia orgánica.

1.1.3.4 Tratamiento terciario. Los tratamientos terciarios tienen como finalidad eliminar contaminantes que no fueron posibles de remover en los tratamientos anteriores, estos se caracterizan por ser muy específicos y costosos y son acudidos cuando se requiere un efluente final de mayor calidad.

1.1.3.5 Tratamiento de clarificación. La clarificación del agua tiene por objeto retirar los sólidos suspendidos, sólidos finamente divididos y materiales coloidales, convirtiéndolos en partículas más grandes que se pueden remover con mayor facilidad.

Para llevar a cabo este tratamiento se requiere de una unidad de clarificación o sedimentación la cual cuenta con diferentes zonas, la zona de entrada es aquella donde se da una distribución uniforme del flujo dentro del sedimentador, la zona de sedimentación consta de un canal rectangular con volumen, longitud y condiciones de flujo adecuados para que sedimenten las partículas. La dirección del flujo es

⁷ FERNANDEZ ALBA, Antonio, et al. tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. En: INFORME DE VIGILANCIA y TECNOLOGIA. 2006.vol. 2, no. 1, p. 2

horizontal y la velocidad es la misma en todos los puntos, la zona de salida constituida por un vertedero, canaletas o tubos con perforaciones que tienen la finalidad de recolectar el efluente sin perturbar la sedimentación de las partículas depositadas y por último cuenta con la zona de recolección de lodos constituida por una tolva con capacidad para depositar los lodos sedimentados.

Este tratamiento se hace mediante transformaciones que producen las reacciones químicas, reciben el nombre de procesos químicos unitarios, estos se llevan a cabo junto con operaciones unitarias (agitación y sedimentación), para dar tratamiento a las aguas residuales.

La clarificación se hace mediante adición de agentes químicos como los coagulantes y los floculantes dando origen a las respectivas operaciones, coagulación y floculación.

- **Coagulación.** Las partículas coloidales presentes en el agua y la existencia de cargas negativas repartidas en la superficie dan origen a suspensiones coloidales que necesitan ser desestabilizarlas para su eliminación, es aquí donde la coagulación toma un papel importante en el tratamiento de aguas residuales.

La coagulación es la desestabilización de partículas coloidales a través de la neutralización de cargas eléctricas. Esto se logra gracias a sustancias llamadas coagulantes, estos agentes actúan bajo la influencia de algunos parámetros, como los que se muestran a continuación.

- **pH:** el pH es un factor es un factor crítico en el proceso de coagulación. Siempre que sea posible, la coagulación se debe efectuar dentro de una zona óptima de pH, de lo contrario se podría dar un desperdicio de productos químicos y un descenso del rendimiento de la planta. Si el pH del agua no fuera el adecuado, se puede modificar mediante el uso de coadyuvantes o ayudantes de la coagulación, entre los que se encuentran la cal viva, la cal apagada, el carbonato sódico, la sosa cáustica y ácidos minerales.
- **Agitación de la mezcla:** para que la coagulación sea óptima es necesaria la agitación rápida y homogenización de la mezcla para favorecer la formación de flóculo o precipitado.
- **Tipo y cantidad de coagulante:** los principales compuestos químicos usados como coagulantes son las sales de aluminio y las sales de hierro.
- **Floculación.** Posterior a la coagulación debe existir el proceso de floculación el cual consiste en la adición de sustancias llamadas floculantes que permiten la aglomeración de partículas desestabilizadas en microflóculos y después en los flóculos más grandes, facilitando principalmente la remoción de sólidos en suspensión.

En esta operación el agua debe ser sometida a una agitación moderada o suave, esto incrementa la posibilidad de que las partículas puedan aglutinarse, mejorando el proceso de clarificación y sedimentación. Una agitación intensa puede lograr el rompimiento del floc adicionalmente hay otros factores que influyen en la floculación, presentados a continuación.

- **Coagulación previa:** la coagulación previa es la que permite la desestabilización de las partículas coloidales y/o emulsiones.
- **Agitación lenta y homogénea:** la floculación debe ser estimulada por la agitación lenta de la mezcla para así favorecer la unión entre flóculos. Una agitación demasiado rápida podría desintegrar los flóculos ya formados.
- **Temperatura del agua:** generalmente a bajas temperaturas el periodo de floculación se alarga dificultando la clarificación del agua y haciendo que se requiera mayor dosis de floculante.
- **Características del agua:** una de las características del agua es la turbiedad. Cuando el agua es poco turbia se hace más compleja la floculación debido a que las partículas en suspensión son el núcleo para la formación inicial de los flóculos.
- **Tipos de floculantes:** los floculantes pueden clasificarse según su naturaleza y su carácter iónico. Según la naturaleza estos pueden ser de origen mineral como por ejemplo la sílice activada, la cual es considerada como uno de los mejores floculantes para asociarse con sales de aluminio. Por otro lado, están los floculantes orgánicos de origen natural o sintético. Estos son macromoléculas de cadena larga y alto peso molecular. Según el carácter iónico se distinguen los floculantes no iónicos, los polielectrolitos catiónicos y los polielectrolitos aniónicos.

1.2 MARCO LEGAL

Dentro del marco legal ambiental cabe resaltar la resolución 0631 de 2015 que corresponde a la última actualización de los parámetros y valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. El artículo 12 de dicha resolución corresponde a los parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas de las actividades asociadas a la elaboración de productos alimenticios y bebidas, la Tabla 1 representa los valores máximos de los parámetros.

Tabla 1. Límite máximo permisible en vertimientos de aguas residuales

Parámetros	Unidades	Elaboración de alimentos preparados para animales
Generales		
pH	Unidades de pH	6.00 a 9.00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	200
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L O ₂	100
Solidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	50
Solidos Sedimentables (SSED)	mg/L	1
Grasas y Aceites	mg/L	10
Sustancia Activa al azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte
Iones		
Cianuro Total (CN)	mg/L	0.2
Cloruros (Cl)	mg/L	-
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	-
Sulfuros (S ²⁻)	mg/L	-
Metales y Metaloides		
Cadmio (Cd)	mg/L	0.05
Cinc (zn)	mg/L	3
Cobre (Cu)	mg/L	1
Cromo (Cr)	mg/L	0.5
Mercurio (Hg)	mg/L	0.01
Níquel (Ni)	mg/L	-
Plomo (Pb)	mg/L	0.2

Fuente. Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible. Resolución 0631. Bogota.,2015.

2. DIAGNÓSTICO

2.1 GENERALIDADES

La industria de alimentos balanceados para animales se encarga de convertir las materias primas de origen agropecuario en productos con índices nutricionales necesarios para la alimentación animal. Actualmente en Colombia el sector ha evolucionado en torno a la producción avícola debido a que una óptima producción requiere cuidado, lo que implica una buena alimentación animal, en la Tabla 2 se observa el incremento de la producción de alimentos concentrados durante los últimos años, donde la línea de mayor producción corresponde a la de avicultura, siendo esta la línea de interés de Albateq.

Tabla 2. Producción anual de alimentos balanceados para animales

Línea de producción	Toneladas							
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Avicultura	3,696,173	3,810,754	3,936,509	4,086,096	4,167,818	4,313,692	4,555,258	4,783,021
Porcicultura	660,100	660,100	685,844	757,172	830,000	849,920	913,664	1,019,419
Ganadería	539,995	501,115	516,650	526,983	568,614	595,583	653,851	680,334
Menores	244,098	256,546	278,352	300,621	345,714	402,991	453,515	497,293
Piscicultura	108,249	116,368	133,823	120,441	142,120	177,416	202,145	203,722
Total	5,248,615	5,344,883	5,551,178	5,791,313	6,054,266	6,339,602	6,778,433	7,183,789

Fuente. ANDI. Asociación Nacional De Empresarios De Colombia-Cámara De La Industria De Alimentos Balanceados. [Electronic(1)]. [Consultado en febrero 2017]. Disponible en: <http://www.andi.com.co/cia/Paginas/default.aspx>

La empresa alimentos balanceados Tequendama S.A (Albateq S.A), ubicada en el municipio de Mosquera nace ante la necesidad de disponer los subproductos tales como las vísceras, menudencias, plumas y sangre, generados en las plantas de sacrificio avícola, para la transformación en harinas las cuales serán procesadas en la elaboración de alimentos concentrados para animales de granja. hoy en día es una de la empresa más estables en el mercado puesto al crecimiento en el sector tal como se dijo anteriormente.

La materia prima que Albateq S.A. procesa proviene de la central de sacrificio avícola Pollo Andino la cual tiene una capacidad de producción de 146.000⁸ pollos al día y de Pollo Olympico con una capacidad de producción de 156.000⁹ pollos al

⁸ Pollo Andino. [Electronic(1)]. [Consultado en febrero 2017]. Disponible en: <http://www.polloandino.com/processes>

⁹ Pollo Olympico. [Electronic(1)]. [Consultado en febrero 2017]. Disponible en: <http://www.polloolympico.com/nuevo/nosotros.php>

día, de esta manera se controla la calidad de los subproductos desde la generación hasta su transformación en harina de origen animal, por otro lado, además de los subproductos avícolas la empresa recibe los lodos resultantes de la planta de tratamiento de agua residual de dichos mataderos.

En total al día Albateq recibe los residuos generados por 302,000 pollos, en la Tabla 3 se representa el porcentaje de residuos por pollo.

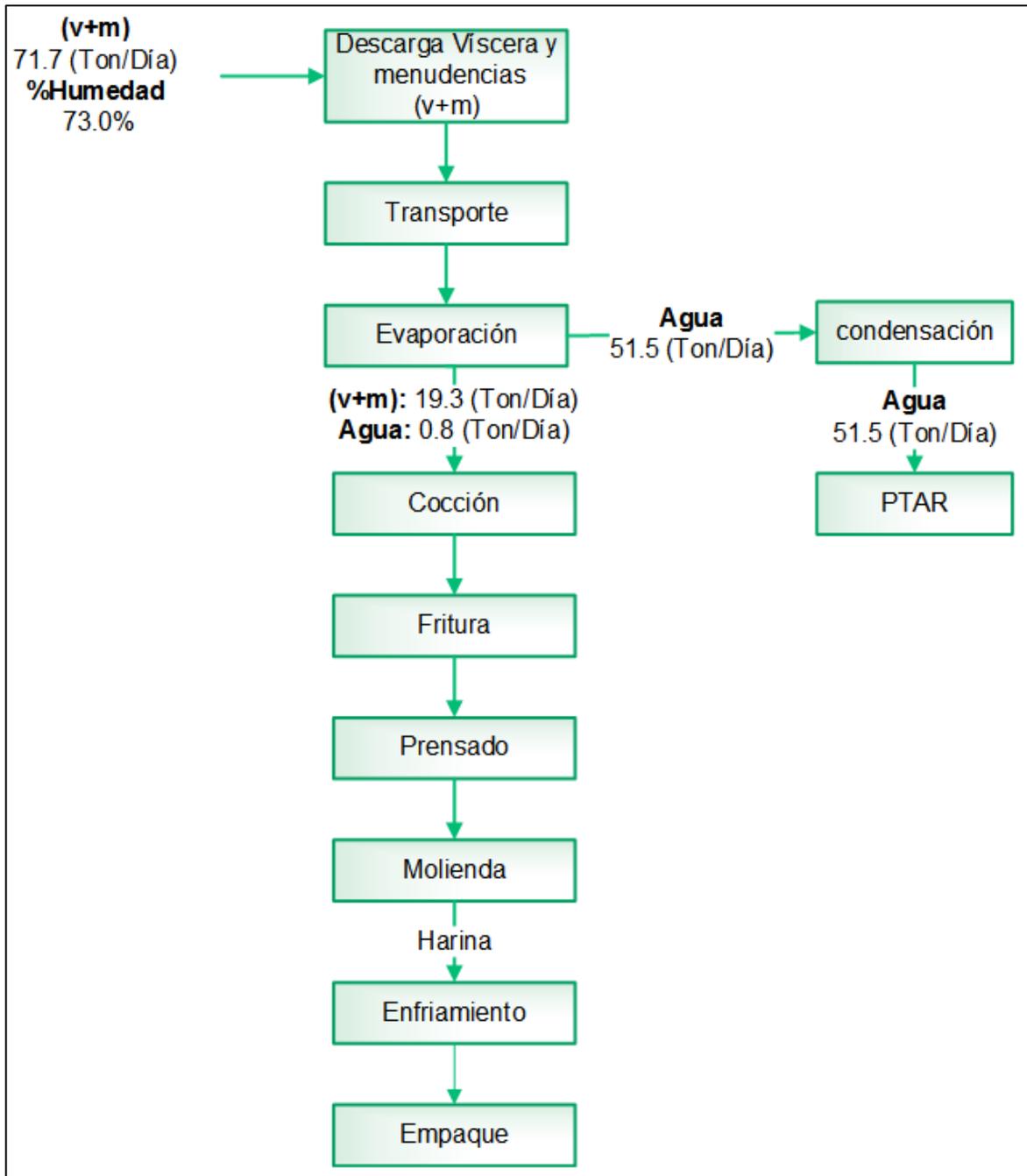
Tabla 3. Porcentaje de residuos por pollo

N° pollos	302,000
Peso pollo (kg)	2.1
Peso total pollos (kg)	634,200
Peso total pollos (Ton)	634
% Vísceras	9.0%
% Plumas	8.0%
% Menudencias	2.3%
% Sangre	4.20%

Fuente. SALDAÑA RODRIGUEZ, Diego. Procesamiento de la carne de pollo.
En: AVETECNIA MANEJO DE LAS AVES DOMÉSTICAS MÁS COMUNES.
2011.vol. 1, p. 13

El proceso de transformación de las vísceras y menudencias consiste en la descarga de la materia prima, luego es transportada por una banda con detector de metales hasta un depósito de soplado, donde por medio de aire son impulsadas las vísceras hasta llegar al equipo de evaporación, cocción y fritura, una vez están fritas pasan por una prensa para eliminar aceite y disminuir su tamaño, y por último se lleva a molienda se deja enfriar y es empacada. Este proceso puede ser observado en la Figura 1.

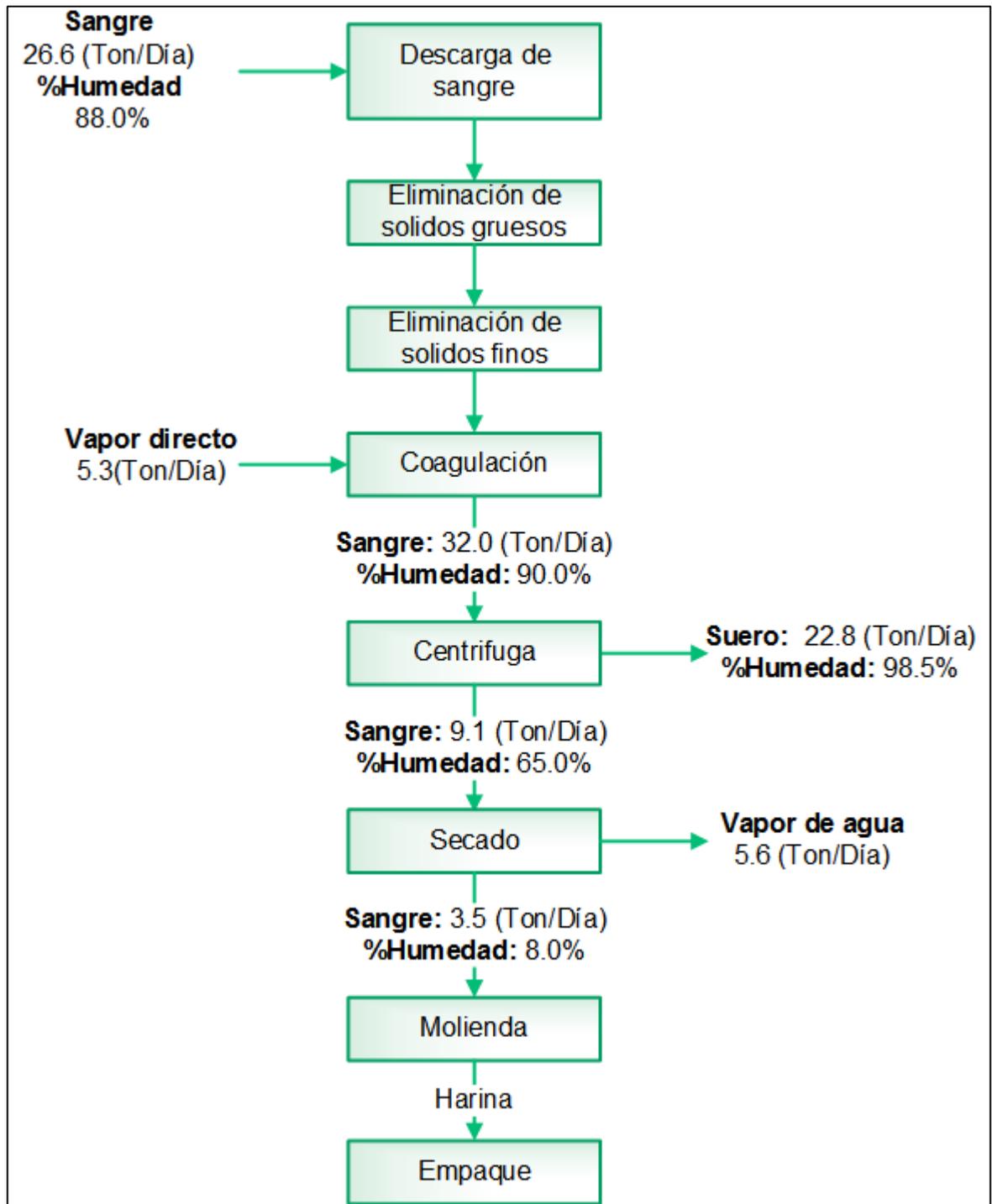
Figura 1. Diagrama de flujo producción de harina a partir de víscera y menudencia



La producción de harina a partir de sangre inicia con el descargue de la materia prima por un tobogán compuesto de mallas para retirar los posibles solidos gruesos que pueda traer la sangre, posteriormente pasa a un tanque y desde ahí es bombeada a un filtro prensa el cual retira partículas más finas, pasa por un coagulador donde se aplica vapor directo y es llevada a una centrifuga donde se

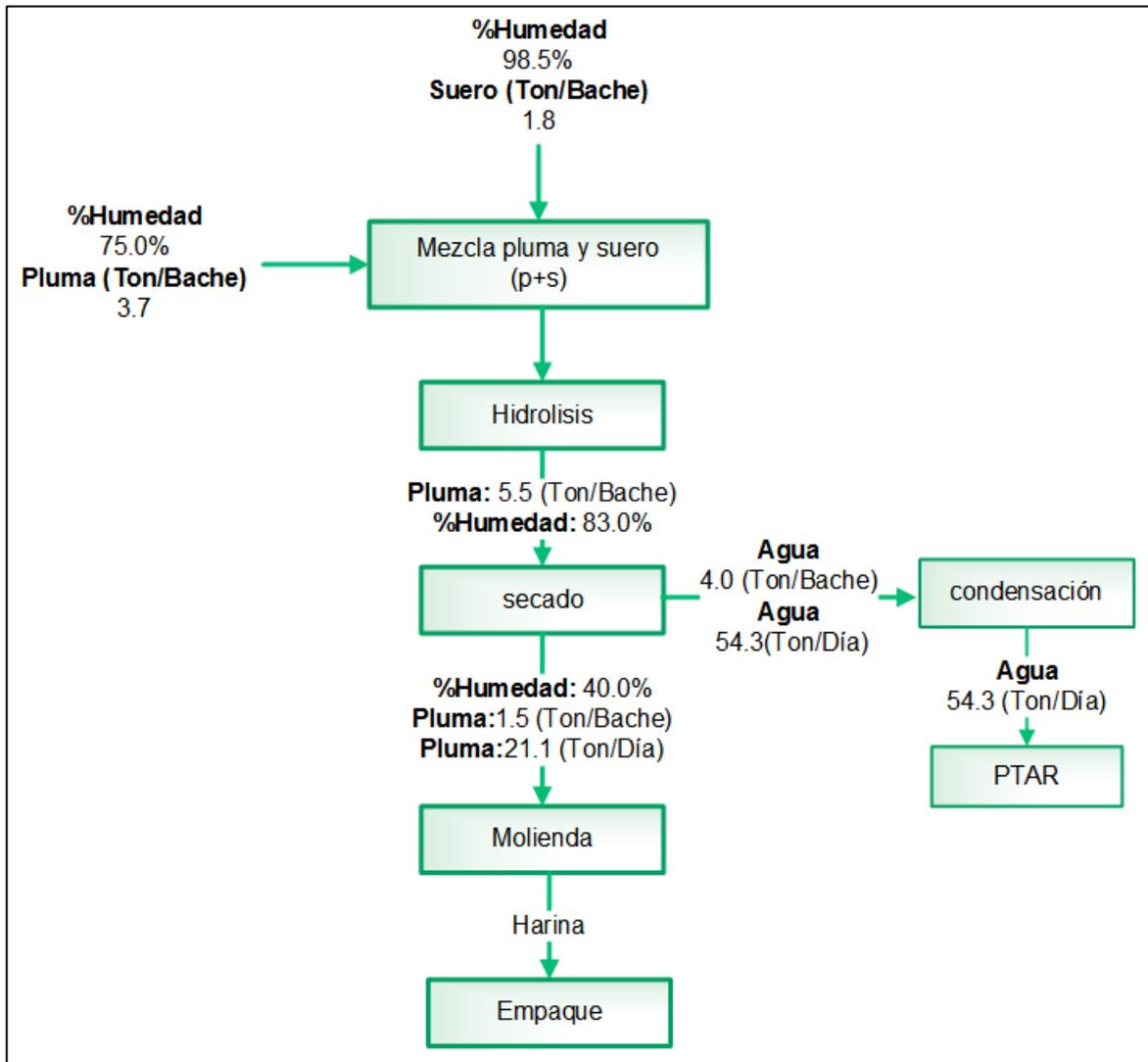
separa la parte solida (harina) y la parte liquida (suero). La parte solida pasa por un molino para mejorar la textura, y finalmente es empacada. Este proceso se observa en la Figura 2.

Figura 2. Diagrama de flujo producción de harina a partir de sangre



Por último, el proceso de obtención de harina de pluma se puede observar en la Figura 3. Este consiste en mezclar la pluma con el suero proveniente de la centrifugación de la sangre, llevarla al digestor donde ocurre la hidrólisis ajustando presión y temperatura, una vez terminada la reacción se elimina al máximo la humedad de la pluma y finalmente se lleva a un molino donde como resultado se obtiene la harina para ser empacada.

Figura 3. Diagrama de flujo producción de harina a partir de pluma



2.2 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS DE LA PTAR

La planta de tratamientos de aguas residuales cuenta con varios equipos los cuales tienen una función específica dentro del tratamiento, en el Cuadro 1 se presentan los equipos con su respectiva función.

Cuadro 1. Función de equipos de la PTAR

Equipo	Función
<p data-bbox="493 562 760 596">Trampa de grasas</p> 	<p data-bbox="964 636 1461 814">La trampa de grasas tiene como finalidad recibir el agua residual de las diferentes fuentes ya mencionadas y retener las grasas y aceites que esta contiene.</p>
<p data-bbox="516 963 737 997">Criba helicoidal</p> 	<p data-bbox="964 1058 1461 1310">Esta es la encargada de trasportar el agua desde las trampas de grasa hasta el cárcamo de bombeo, adicionalmente por medio de la hélice sinfín se comprimen y separan los sólidos presentes en el agua.</p>
<p data-bbox="428 1442 824 1476">Tanque de homogenización</p> 	<p data-bbox="964 1486 1461 1772">Esta estructura hidráulica sirve como almacenamiento provisional y homogenizar el agua procedente de la criba helicoidal, adicionalmente su función es rebompear el agua en proceso de tratamiento al sistema aerobio de la PTAR.</p>

Cuadro 1. (Continuación)

Equipo	Función
<p data-bbox="513 327 740 359">Reactor aerobio</p> 	<p data-bbox="967 390 1458 674">En este reactor es donde a través de microorganismos aerobios la materia orgánica es oxidada, adicionalmente el reactor cuenta con un clarificador interno donde por decantación es separada el agua tratada de los lodos, los cuales son recirculados.</p>
<p data-bbox="529 783 724 814">Caja de paso</p> 	<p data-bbox="967 993 1458 1098">El agua tratada se transporta a una caja de paso y es llevada al tratamiento físico-químico.</p>
<p data-bbox="553 1320 699 1352">Serpentín</p> 	<p data-bbox="967 1467 1458 1646">Por medio de una bomba dosificadora, y a través del serpentín se lleva a cabo la adición de agentes químicos (coagulante y polímero), para la clarificación.</p>

Cuadro 1. (Continuación)

Equipo	Función
<p data-bbox="438 325 812 357">Tratamiento físico-químico</p> 	<p data-bbox="966 409 1461 703">En este tratamiento se desestabilizan las partículas disueltas en el agua por medio de un coagulante, y con un polímero floculante se aglomeran dichas partículas facilitando la sedimentación y lograr clarificar el agua.</p>

2.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTOS DE AGUA RESIDUALES

Albateq tiene diferentes fuentes de agua residual, principalmente son 3, las cuales son la eliminación de humedad de la materia prima en el proceso de producción de harina, la segunda fuente de agua residual corresponde a la que se genera en el lavado de contenedores y patios de la planta, y la tercera fuente de agua residual es la que genera es espesamiento de lodos, los cuales provienen de la PTAR de pollo olímpico.

Adicionalmente hay otras fuentes de agua que son la purga de la torre de enfriamiento, el lixiviado de los lodos del tratamiento biológico y el lixiviado de los lodos del tratamiento físico-químico.

El agua residual procedente de las tres fuentes anteriormente mencionadas es transportada a las trampas de grasas donde se retienen grandes sólidos, grasas y aceites, posteriormente pasa por un tornillo helicoidal el cual se encarga de transportar el agua hasta el tanque de homogenización a su vez compactando y separando materia solida presente en el agua, una vez llega el agua al tanque de homogenización se mezcla y se regula el caudal en seguida a través de una bomba se transporta el agua al tratamiento secundario allí un conjunto de microorganismos se encargan de la degradación de materia orgánica presente en el agua residual, esta unidad cuenta con una tolva de decantación donde se separa el agua de los lodos los cuales son recirculados, cumplido el tiempo de retención en el tratamiento secundario, el agua pasa por un tratamiento físico-químico donde se regula pH con soda caustica luego a través de un serpentín se dosifica un coagulante en este caso es policloruro de aluminio y por último se dosifica un floculante, terminando así el tratamiento.

2.3.1 Balance hídrico. Partiendo con una base de 302.000 pollos estimada por la capacidad de producción de las centrales avícolas pollo Andino y Olympico, las condiciones de entrada (Tabla 4) y salida de la materia prima (Tabla 5), se hace un balance de masa el cual determina cuánta agua generada por los condensados entra a la PTAR.

Tabla 4. Condiciones de entrada de la materia prima

	Humedad inicial (%)	Flujo másico (Ton/Día)
vísceras	75%	62.4
Menudencias	65%	15.6
Pluma	75%	55.4
Sangre	88%	29.1
Vísceras+menudencia	73%	78

Fuente. CANO MARIN, Carlos Andres. Evaluación de un tratamiento de floculación-flotación para el agua residual generada en el procesamiento de subproductos avícolas. Bogotá.: Universidad libre, 2015. p. 16.

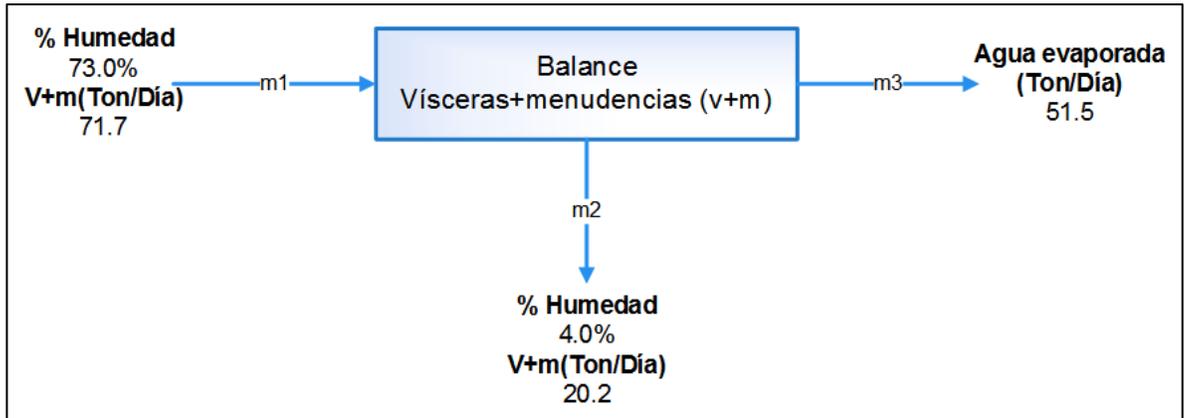
Tabla 5. Humedad final de la materia prima

	% Humedad final
Vísceras+menudencias	4%
Sangre	65%
Pluma+suero	40%

Fuente. Fuente. CANO MARIN, Carlos Andres. Evaluación de Un tratamiento de floculación-flotación para el agua residual generada en el procesamiento de subproductos avícolas. Bogotá.: Universidad libre, 2015. p. 16.

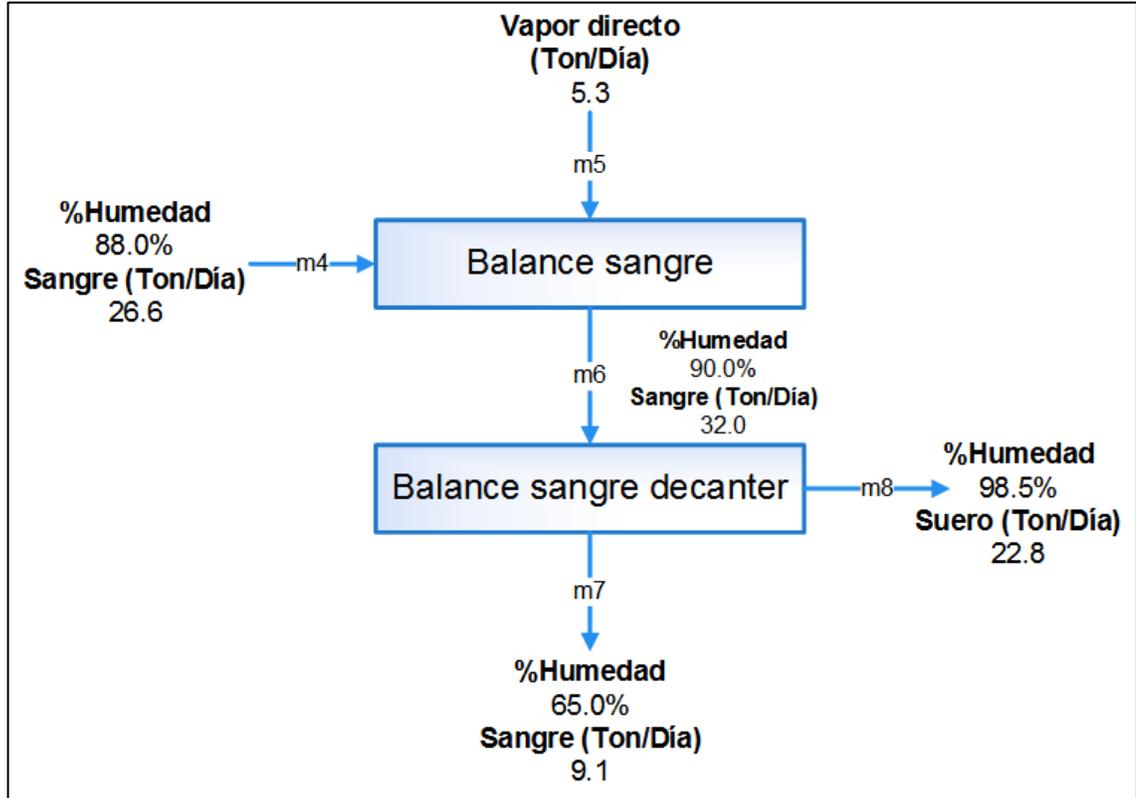
En la Figura 4 se detalla el balance en la unidad de evaporación de agua en el proceso de obtención de harina de vísceras con menudencias (v+m). El cálculo de los valores registrados se encuentra descrito en el Anexo A.

Figura 4. Balance vísceras+menudencias



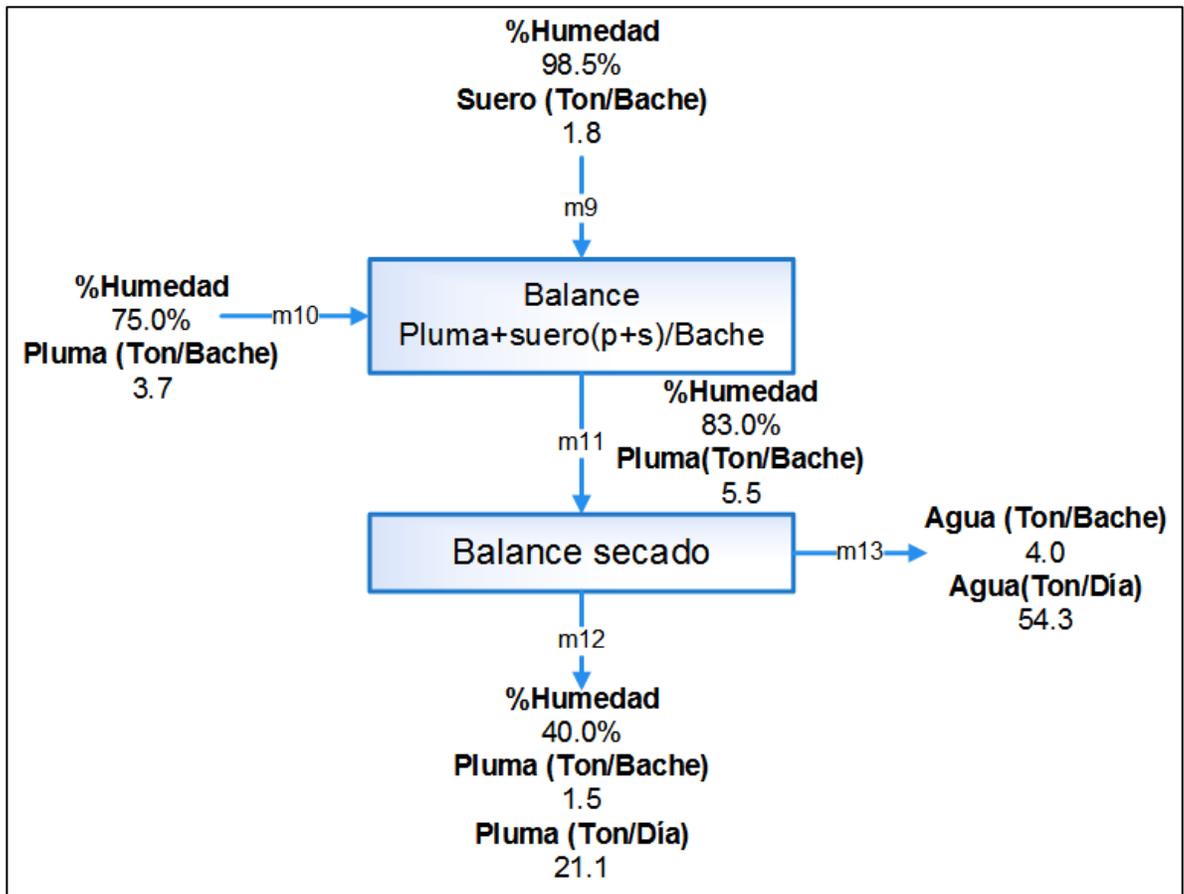
En la Figura 5 se explica la unidad de coagulación y centrifugación de la sangre en donde la primera se utilizan 200 kg de vapor directo por cada kilogramo de sangre, posteriormente se lleva la sangre coagulada a un decanter y ahí está sale con una humedad del 65% y por otra corriente sale suero que es usado en la producción de harina de pluma. El balance se hace individualmente para cada unidad. El cálculo de los valores registrados se encuentra descrito en el Anexo A.

Figura 5. Balance sangre



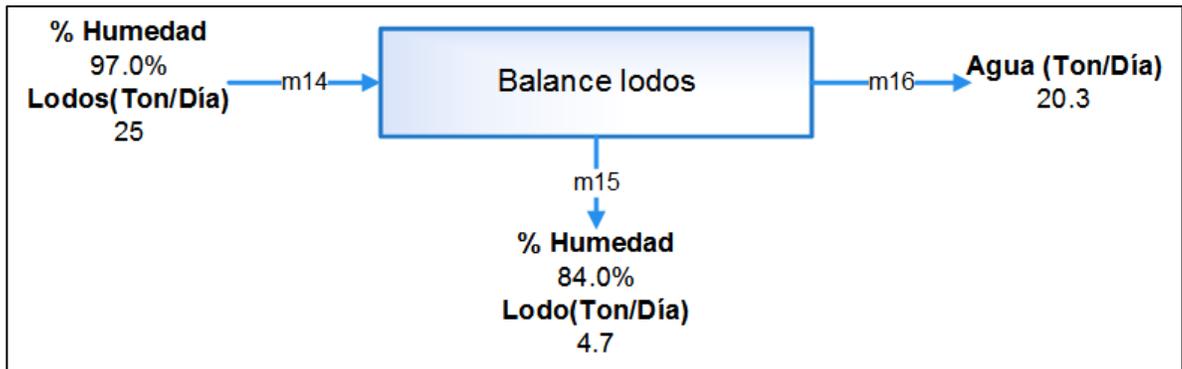
En el proceso de producción de harina de pluma, como ya se ha mencionado se le agrega el suero producto de la centrifugación de la sangre, se suministra 1.8 toneladas de suero por cada 3.7 toneladas que equivalen a un bache de pluma. En la Figura 6 se muestra el balance por un bache de pluma en la unidad de mezcla pluma suero y en el secado de la pluma adicionalmente se determina el total de agua evaporada teniendo en cuenta que por día se procesan 14.98 baches. El cálculo de los valores obtenidos se encuentra descrito en el Anexo A.

Figura 6. Balance pluma



Por ultimo a Albateq a diario le están llegando 25 toneladas de lodos con una humedad aproximadamente del 97%, estos pasan por un sistema de espesamiento logrando obtener un lodo con el 84% de humedad, en este proceso se generan aproximadamente 20.3 Ton/día de agua residual en la Figura 7 se observa el balance del espesamiento de lodos, dichos resultados de encuentran en el Anexo A.

Figura 7. Balance lodos



Para concluir los balances se suma el agua evaporada generado en el proceso de la harina a partir de vísceras y menudencias, el agua evaporada en el proceso de la harina a partir de pluma, el agua residual de los lodos y el agua residual generada por el lavado general que es de aproximadamente 10 Ton/Día y la de otras fuentes menores que corresponde a 5 Ton/Día, dando como resultado 141.1 Ton/día de agua que entra a la PTAR. Adicionalmente como se trabajan 24 horas se puede determinar el caudal de la PTAR el cual es equivalente a 5.91 m³/h o a 142 m³/Día calculado por la Ecuación 1.

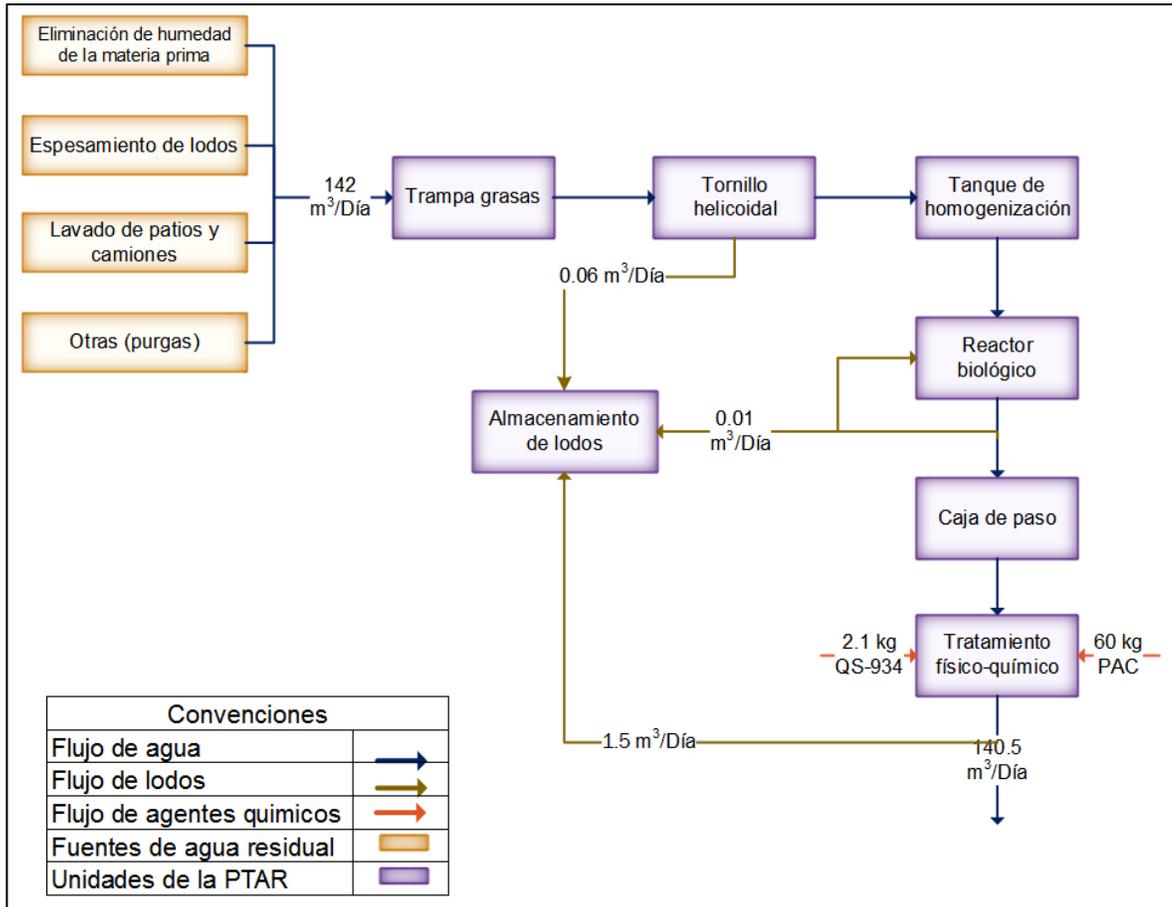
Ecuación 1. Caudal total

$$Q_T = \left(\sum \text{Fuentes de agua residual} \right) * \frac{\text{día}}{\text{horas de trabajo}} * \frac{1}{\rho_{\text{agua}}}$$

$$Q_T = (51.5 + 54.3 + 20.3 + 10 + 5) \frac{\text{Ton}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} * \frac{\text{m}^3}{0.994 \text{ Ton}} = 5.91 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Conocido el flujo de agua que entra a la planta de tratamiento de aguas residuales en la Figura 8 se presenta el diagrama de bloques de la PTAR junto con el flujo de entradas y salidas de materia en cada una de las unidades.

Figura 8. Diagrama de bloques de la PTAR actual

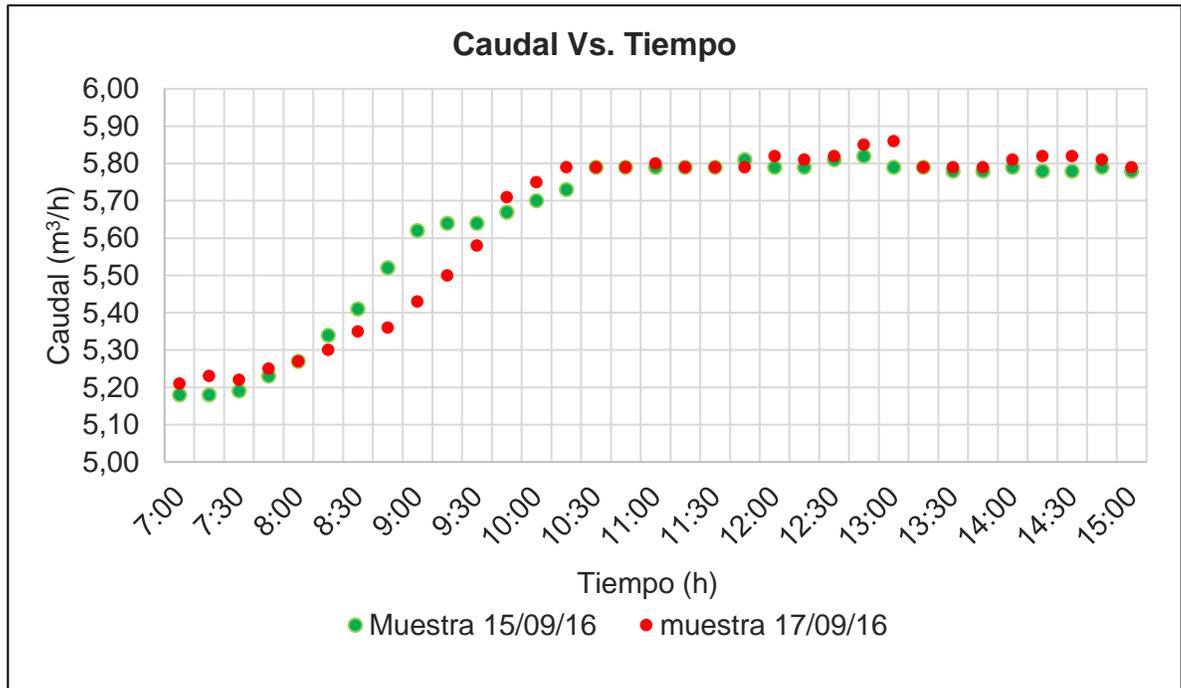


Los cálculos anteriormente realizados representan el valor teórico del caudal promedio que la PTAR trata, En el Anexo B se presenta la toma de caudal observado en el medidor junto con el pH, el registro de datos se realizó por 2 días en una jornada de 8 horas en intervalos de 15 minutos.

En la Gráfica 1 se muestra el caudal Vs tiempo, se observa que en el periodo de 7:00 am a 9:30 am el caudal va de manera creciente debido a que es cuando comienza la producción, aun no se lleva a cabo el lavado general de patios y camiones y tampoco el espesamiento de lodos.

De los datos recolectados se analiza que el caudal promedio es 5.65 m³/h, con una desviación estándar de 0.22, adicionalmente el valor con mayor frecuencia corresponde a 5.79 m³/h.

Gráfica 1. Caudal real de la PTAR



Los valores del caudal teórico difieren del caudal real en un 2.1 % según la Ecuación 2, debido a que los estimados en los balances dependen de la cantidad de materia prima junto con las condiciones iniciales que ingresan al proceso.

Ecuación 2. Error relativo porcentual

$$\%Error\ relativo = \frac{|valor\ calculado - valor\ real|}{valor\ real} * 100\%$$

$$\%Error\ relativo = \frac{|5.91 - 5.79|}{5.79} * 100\% = 2.1\%$$

2.4 EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Se caracteriza el agua residual que ingresa al tratamiento biológico, puesto que la propuesta es evaluar la implementación un sistema de clarificación antes del reactor biológico, por lo tanto, es importante saber qué características tiene el agua en este punto del tratamiento. Adicionalmente también se analiza el agua que sale del reactor biológico con el fin de conocer el porcentaje de remoción que se está obteniendo de dicho tratamiento.

Por otro lado, se caracteriza el agua tratada evaluando así en qué condiciones está siendo vertida el agua, con el propósito de determinar de manera teórica el impacto que generaría llevar a cabo el tratamiento propuesto.

Tras un seguimiento hecho en la PTAR durante junio y julio, se determinaron sólidos suspendidos totales (SST), turbidez y la demanda química de oxígeno (DQO). Estos resultados se presentan en la Tabla 6 y Tabla 7.

Tabla 6. Caracterización de agua residual antes y después del tratamiento biológico

Fecha	Turbidez (FAU)			Sólidos suspendidos totales (mg/l)			Demanda Química de Oxígeno (mg/l)		
	Entrada	Salida	% de remoción	Entrada	Salida	% de remoción	Entrada	Salida	% de remoción
10-jun	1600	260	84%	1410	620	56%	6250	2560	59%
13-jun	1140	225	80%	1880	652	65%	5510	2410	56%
14-jun	1260	295	77%	1380	593	57%	5110	2190	57%
15-jun	1650	280	83%	1160	452	61%	5850	2570	56%
18-jun	1300	256	80%	1230	550	55%	6020	2450	59%
09-jul	1360	299	78%	1540	559	64%	5280	2150	59%
21-jul	1020	330	68%	1390	560	60%	5500	2380	57%
28-jul	1057	250	76%	1840	673	63%	5580	2170	61%
Promedio	1298	274	78%	1479	582.38	60%	5638	2360	58%

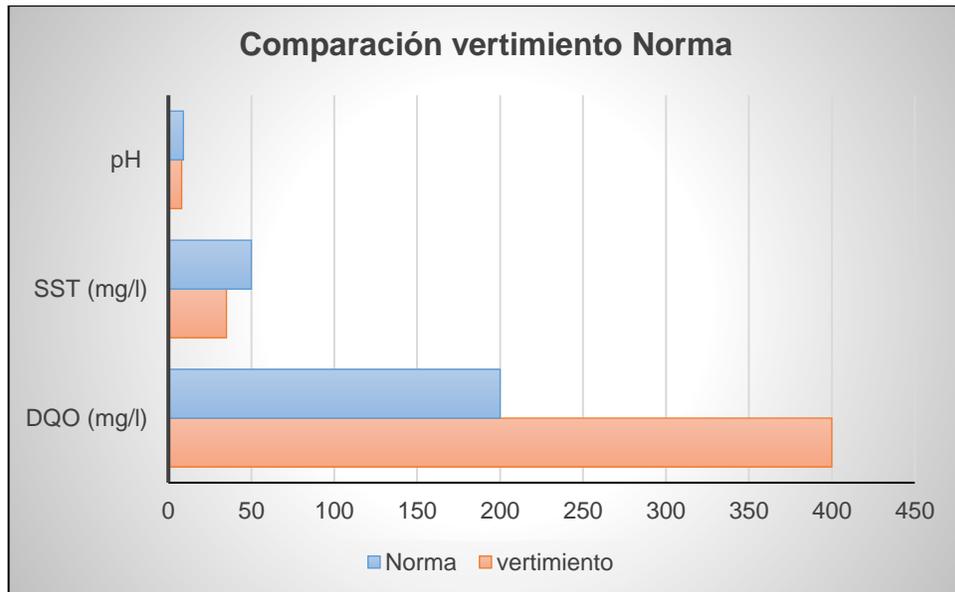
Tabla 7. Caracterización de agua residual después del tratamiento físico-químico

Fecha	pH	Turbidez (FAU)			Sólidos suspendidos totales (mg/l)			Demanda Química de Oxígeno (mg/l)		
		Entrada	Salida	% de remoción	Entrada	Salida	% de remoción	Entrada	Salida	% de remoción
10-jun	7.8	260	31	88%	620	46	93%	2560	410	84.0%
13-jun	8.1	225	27	88%	652	43	93%	2410	395	83.6%
14-jun	7.9	295	32	89%	593	8	99%	2190	370	83.1%
15-jun	7.6	280	28	90%	452	34	92%	2570	415	83.9%
18-jun	7.8	256	30	88%	550	37	93%	2450	425	82.7%
09-jul	8.1	299	33	89%	559	40	93%	2150	380	82.3%
21-jul	7.8	330	22	93%	560	38	93%	2380	420	82.4%
28-jul	7.7	250	26	90%	673	34	95%	2170	385	82.3%
Promedio	8	274	29	89%	582	35.00	94%	2360	400	83%

De la caracterización del agua se evidencia que el tratamiento biológico logra en promedio un porcentaje de remoción de DQO y de SST del 58% y 60% respectivamente, la baja remoción se debe a que el caudal ha venido incrementando pues dicho tratamiento fue diseñado para tratar entre 3 y 4 m³/h de agua residual y en ocasiones ingresa de 5 a 6 m³/h de agua residual, por tanto, así como aumenta el caudal aumenta la carga orgánica lo que ha hecho que el tratamiento no funcione adecuadamente, adicionalmente el mantenimiento de este tratamiento se ha complicado por la alta generación de lodos.

En cuanto a la caracterización realizada en la entrada y salida del tratamiento físico-químico se observa que, aunque los porcentajes de remoción sean altos el parámetro DQO no cumple con los valores máximos permitidos por la Resolución 0631 de 2015, en la Gráfica 2 se hace la comparación del vertimiento con la norma.

Gráfica 2. Comparación del vertimiento con la Resolución 0631



Dada esta situación a través de un sistema previo de clarificación con coagulantes y floculantes se busca evitar que el tratamiento microbiológico se siga poniendo en riesgo, y finalmente se espera obtener un vertimiento menos contaminado.

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

El desarrollo experimental tiene como finalidad hacer pruebas mediante test de jarras usando diferentes coagulantes y floculantes para establecer las condiciones que garanticen que el agua tratada tendrá una mejor calidad para el tratamiento microbiológico.

Según el desarrollo experimental del trabajo de grado “Estudio de factibilidad de un proceso fisicoquímico para la remoción de carga orgánica, color y turbidez en aguas residuales de una central de sacrificio”¹⁰, se indica que los coagulantes adicionados en concentraciones inferiores a 1000 ppm y mayores a 1500 ppm disminuyen el porcentaje de remoción de la turbidez, adicionalmente también se demuestra que el pH empieza a disminuir a medida que aumenta la concentración de coagulante en las jarras.

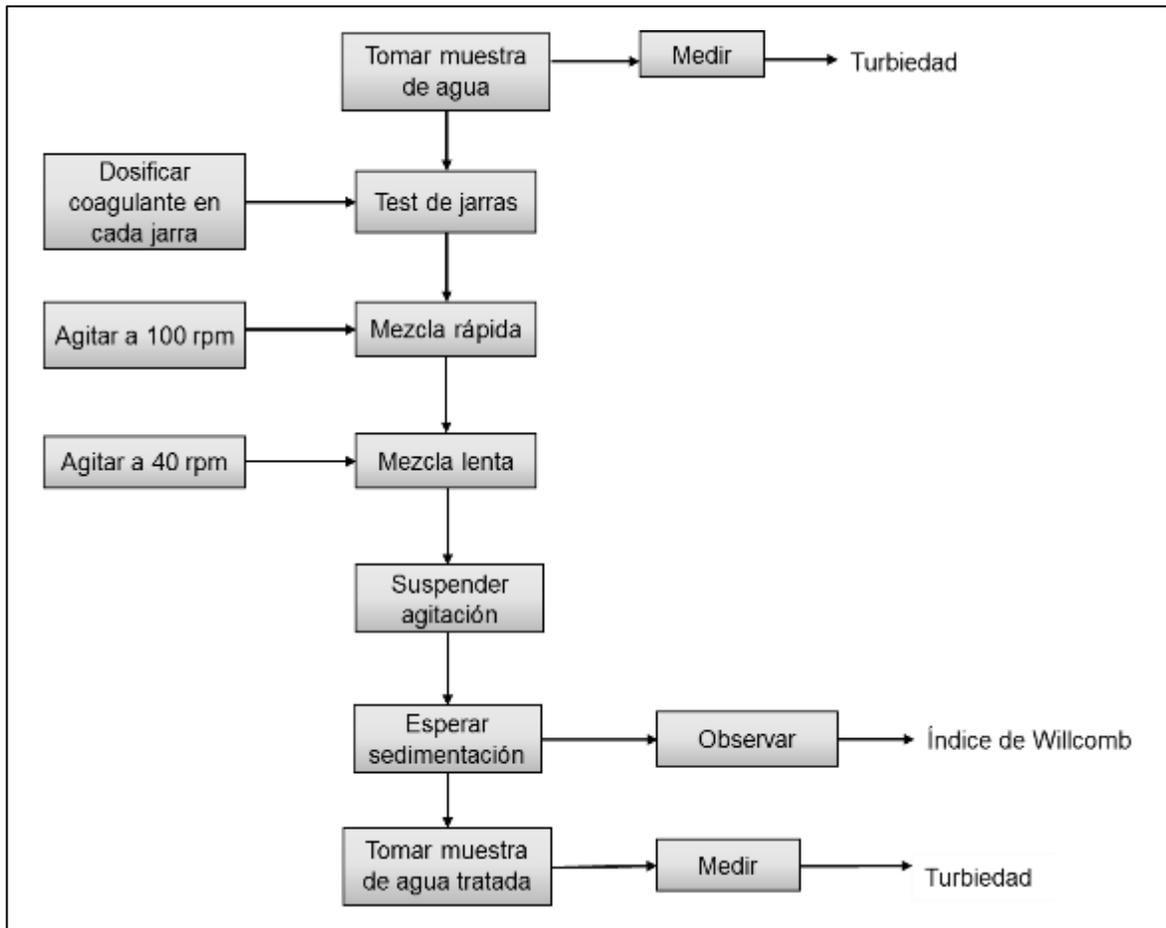
En cuanto a las concentraciones de floculante se elige 3 una baja (8ppm), una media (12ppm) y una alta (18ppm), pues según el trabajo de grado “Propuesta de mejoramiento de la planta de aguas residuales industriales de la empresa avícola Miluc s.a.s.”¹¹. En el desarrollo experimental utilizan un rango de 4 ppm a 10ppm donde a concentraciones inferiores a 8 ppm no se obtienen óptimos resultados.

Para determinar las condiciones de este tratamiento se selecciona la mejor dosificación de tres coagulantes, siguiendo el procedimiento de la Figura 9 para cada uno de los coagulantes, para un total de 3 ensayos de jarras.

¹⁰ IBARRA RODRIGUEZ, Paulo Geymar y BASTIDAS PANTOJA, German Dario. Estudio De Factibilidad De Un Proceso Fisicoquímico Para La Remoción De Carga Orgánica, Color y Turbidez En Aguas Residuales De Una Central De Sacrificio. Manizales.: Universidad Nacional De Colombia, 2004.

¹¹ FONSECA GONZALEZ, Natalia y MARTÍNEZ ORJUELA, Mónica Rocio. Propuesta De Mejoramiento De La Planta De Tratamiento De Aguas Residuales Industriales De La Empresa Avícola Miluc S.A.S. Bogotá D.C: Fundación Universidad de América, 2013.

Figura 9. Procedimiento para selección de dosis de coagulante.

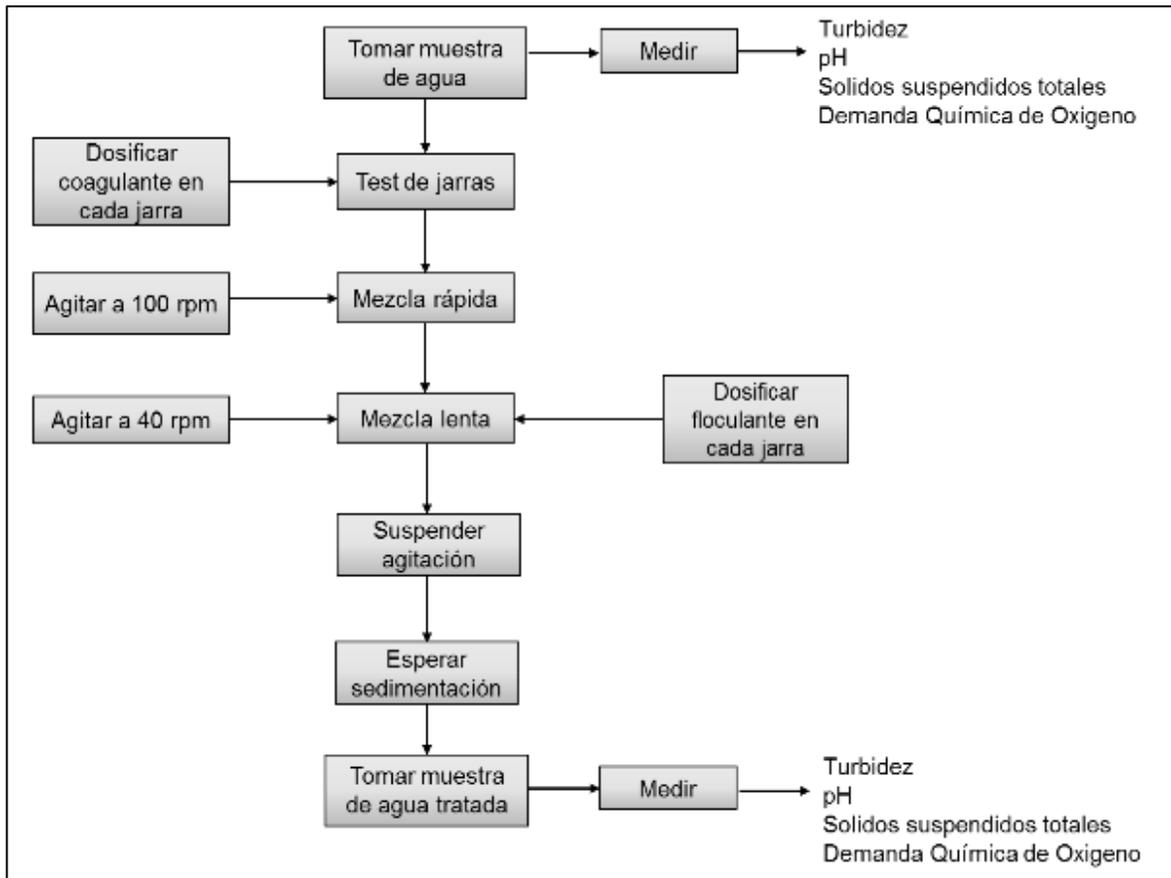


Nota: los procedimientos para medir turbidez y el índice de Willcomb están descritos en los Anexos C y D respectivamente

Una vez identificada la dosificación por cada coagulante se procede a experimentar con cada uno de los floculantes, determinando así la mejor pareja coagulante-floculante, con su respectiva dosificación óptima.

Para seleccionar el floculante se procede a fijar la dosificación de los coagulantes previamente ya determinada, luego se varia el floculante, pero su dosificación será igual, tal como se muestra en la Figura 10, este proceso se hará para tres veces con una concentración baja, media, y alta de floculante para cada dosis de coagulante seleccionada anteriormente es decir para un total de 9 ensayos de jarras.

Figura 10. Procedimiento para selección de coagulante-floculante



Nota: Los procedimientos para medir el pH, los sólidos suspendidos totales (SST) y la demanda química de oxígeno (DQO) están descritos en los Anexos E, F y G respectivamente.

3.1 MATERIALES Y EQUIPOS

En el Cuadro 2 se puede apreciar los materiales y equipos necesarios en el desarrollo experimental.

Cuadro 2. Descripción de equipos y materiales

Equipo / Material	Descripción
<p data-bbox="495 321 690 359">Vidrio de reloj</p> 	<p data-bbox="909 409 1453 483">Lámina de vidrio en forma circular cóncava, para pesar reactivos solidos</p>
<p data-bbox="527 577 657 615">Espátula</p> 	<p data-bbox="909 672 1453 787">Lámina plana de metal con mango de metal, para tomar pequeñas cantidades de reactivos en polvo.</p>
<p data-bbox="495 886 690 924">Test de jarras</p> 	<p data-bbox="909 997 1453 1176">Equipo de test de jarras cuadrado de cuatro puestos, permite realizar varios ensayos haciendo uso de diferentes coagulantes y floculantes, en diferentes concentraciones.</p>
<p data-bbox="511 1285 673 1323">Colorímetro</p> 	<p data-bbox="909 1512 1453 1627">Colorímetros marca Hach referencia DR 900™ portátil, utilizado para medir turbidez (FAU) y DQO (mg/l).</p>

Cuadro 2. (Continuación)

Equipo / Material	Descripción
<p data-bbox="467 323 717 352">Balanza analítica</p> 	<p data-bbox="901 323 1453 428">Balanza OHAUS, permite pesar con gran precisión la masa de los reactivos granulares a usar.</p>
<p data-bbox="495 653 690 682">Termoreactor</p> 	<p data-bbox="909 653 1445 835">Reactor Hach DRB 200 Dry Thermostat Reactor, permite calentar hasta 15 muestras en dos horas, para determinar la demanda química de oxígeno.</p>
<p data-bbox="487 1073 698 1102">Medidor de pH</p> 	<p data-bbox="966 1113 1388 1142">pHmetro digital marca HANNA</p>

3.2 TEST DE JARRAS

El desarrollo del test de jarras se realiza con una muestra compuesta la cual es “la integración de varias muestras puntuales de una misma fuente, tomadas a intervalos programados y por períodos determinados, las cuales pueden tener volúmenes iguales o ser proporcionales al caudal durante el período de muestras”. En este caso se recolectaron y homogenizaron 15 muestras provenientes de la entrada al tratamiento microbiológico cada una de 5 litros.

Las pruebas para la selección de coagulante y floculante se realizaron en un equipo de pruebas de Jarras Phipps & Bird, que consta de cuatro paletas y cuatro vasos de

precipitado cada uno de 1000ml, con el fin de encontrar las concentraciones adecuadas de agentes químicos para llevar a cabo la clarificación del agua residual.

3.2.1 Descripción y preparación de los reactivos Los agentes químicos usados en este tratamiento son llamados coagulantes los cuales se encargan de desestabilizar partículas coloidales o emulsiones presentes en el agua residual formando microfloculos, adicionalmente se hace uso de polímeros que ayudan a la aglutinación de estos microfloculos formando partículas de mayor tamaño, estos son denominados floculantes y a su vez pueden ser catiónicos o aniónicos.

Los coagulantes a utilizar son policloruro de aluminio, sulfato de aluminio tipo A y cloruro férrico, estos son descritos en la Tabla 8, adicionalmente en el Anexo H se encuentran las fichas técnicas de cada uno de estos.

Tabla 8. Descripción de coagulantes

Nombre	Descripción	Preparación
Policloruro de aluminio (PAC)	Líquido transparente de color amarillo claro a ámbar oscuro, ligeramente ácido, soluble en agua.	Agitar suavemente durante 10, dejar en reposo durante 5 minutos y finalmente, agitar por 15 minutos
Sulfato de aluminio tipo A	Sólido granulado, color blanco, soluble en agua.	Para aguas residuales se recomienda preparar el coagulante al 10%
Cloruro férrico	Compuesto granular, color marrón con alto poder de coagulación.	

Teniendo en cuenta que la preparación de los coagulantes es al 10% a continuación se presenta el cálculo considerando la Ecuación 3 y que cada uno fue preparado en 500ml de agua destilada.

Ecuación 3. Preparación de reactivos

$$C_1 * v_1 = C_2 * v_2$$

Donde:

C₁: concentración inicial del reactivo

C₂: concentración final del reactivo

V₁: volumen de reactivo a adicionar

V₂: volumen en que se va preparar

El cálculo para la preparación de policloruro de aluminio es el siguiente.

$$1000000 * v_1 = 100000 * 500ml$$

$$v_1 = \frac{100000 * 500ml}{1000000} = 50ml$$

Para preparar sulfato de aluminio y cloruro férrico es necesario pasar el volumen en mililitros a gramos debido a que estos se encuentran como sólidos granulares, el cálculo consiste en multiplicar por la densidad del agua lo que hace equivalente 50ml a 50g.

En cuanto a los floculantes a usar serán cuatro, tres suministrados por Lipesa (L-1538, L-1564, L-1587A) y uno que actualmente está siendo utilizado en planta (QS-934), estos son descritos en la Tabla 9, adicionalmente en el Anexo I se encuentran las fichas técnicas de cada uno de estos.

Tabla 9. Descripción de floculantes

Nombre	Descripción	Preparación
L-1538	Polímero floculante sólido granular de alto peso molecular, aniónico de color blanco, actúa en un amplio rango de pH de 1 a 12	Agitar suavemente durante 10, dejar en reposo durante 5 minutos y finalmente, agitar por 15 minutos. Para aguas tratamiento de aguas residuales se recomienda preparar el floculante al 0.1%
L-1564	polímero floculante sólido granular de alto peso molecular y catiónico de color blanco que actúa en un amplio rango de pH de 1 a 13	
L-1587 ^a	Polímero floculante sólido granular de alto peso molecular de color blanco que actúa en un amplio rango de pH de 2 a 13.	
QS-934	polímero floculante catiónico, sólido granular blanco, con un pH de trabajo de 4 a 9	

La preparación de los floculantes es al 0.1%(1000mg/l) como se menciona anteriormente, a continuación, se presenta el cálculo para determinar la cantidad a adicionar de reactivo, a través de la Ecuación 3, teniendo en cuenta que el volumen de agua en que se va a preparar es de 500ml.

$$1000000 * v_1 = 1000 * 500ml$$

$$v_1 = \frac{1000 * 500ml}{1000000} = 0.5ml$$

3.3 SELECCIÓN Y DOSIFICACIÓN DE COAGULANTE Y FLOCULANTE

La selección de coagulante-floculante se hace mediante test de jarras, donde la parte experimental se divide en 2 sesiones la primera es la elección de la dosis de cada coagulante, la segunda consiste en seleccionar la mejor pareja coagulante-floculante.

En la Tabla 10 se especifican las condiciones en que se harán estos ensayos, en la Tabla 11 se encuentran los valores de los parámetros iniciales del agua a tratar y en la Imagen 1 se evidencia el agua antes del tratamiento.

Tabla 10. Condiciones para de test de jarras

Volumen de jarra (ml)		600
Mezcla rápida	Velocidad agitación (RPM)	100
	Tiempo de agitación (min)	1
Mezcla lenta	Velocidad agitación (RPM)	40
	Tiempo de agitación (min)	15
Sedimentación	Tiempo (min)	20

Tabla 11. Condiciones iniciales del agua residual

Parámetro	valor
Turbidez (FAU)	1055
pH	9
Solidos suspendidos totales (mg/l)	1227
DQO (mgO ₂ /l)	5565

Imagen 1. Agua antes de tratamiento



Ensayo 1. Selección de concentración de policloruro de aluminio. La Imagen 2 y en la Tabla 12 se presentan los resultados después del test de jarras usando policloruro de aluminio, en la jarra 1 y 2 hay formación de floc pero estos precipitaron demasiado lento con respecto a la jarra 3 donde se evidencia que usando una

concentración de 1400ppm hay mejor formación y sedimentación de floc, siendo tomada esta concentración para lo posteriores ensayos. Adicionalmente a una concentración igual a 1600ppm no se evidencia formación de floc.

Imagen 2. Resultados test de jarras con policloruro de aluminio



Tabla 12. Resultados test de jarras con policloruro de aluminio

Jarra	Concentración (ppm)	Turbidez (FAU)	índice de willcomb
1	1000	30	4
2	1200	21	6
3	1400	13	8
4	1600	-	-

Ensayo 2. Selección concentración de sulfato de aluminio. En la Imagen 3 y en la Tabla 13 se presentan los resultados después del test de jarras usando sulfato de aluminio, observando que la mejor concentración es la que corresponde a la jarra 3, en las jarras 1 y 2 la sedimentación era lenta con respecto a la jarra 3, por otro lado, en la jarra 4 no hay formación clara de floc.

Imagen 3. Resultados test de jarras con sulfato de aluminio



Tabla 13. Resultados test de jarras con sulfato de aluminio

Jarra	Concentración (ppm)	Turbidez (FAU)	índice de willcomb
1	1000	153	4
2	1200	90	6
3	1400	78	8
4	1600	-	-

Ensayo 3. Selección de concentración de cloruro férrico. En la Imagen 4 y en la Tabla 14 se presentan los resultados después del test de jarras usando cloruro férrico observando que a diferencia de los ensayos 1 y 2 en la jarra 4 si hay formación de floc siendo en esta donde el índice de Willcomb es más alto mientras que en la jarra 1 no hay formación clara de floc. Con respecto a la jarra 2 y 3 la sedimentación tardo más con respecto a la jarra 4.

Imagen 4. Resultados test de jarras con cloruro férrico



Tabla 14. Resultados test de jarras con cloruro férrico

Jarra	Concentración (ppm)	Turbidez (FAU)	índice de willcomb
1	1000	-	-
2	1200	37	6
3	1400	31	4
4	1600	27	8

Ensayo 4. Uso de concentración baja de floculantes con policloruro de aluminio. En la Tabla 15 y en la Imagen 5 se encuentran los resultados del test de jarras utilizando la dosificación de policloruro de aluminio establecida en el ensayo 1, en cada una de las jarras se adiciono uno de los floculantes a una concentración baja que en este caso es 8 ppm.

Tabla 15. Resultados ensayo 4

Jarra	1	2	3	4
Floculante	L1564	QS-934	L1538	L1587A
Concentración (ppm)	8	8	8	8
Turbidez final (FAU)	27	23	25	18
SST (mg/l)	38	25	41	24
DQO (mg/l)	1790	1803	1978	1520
pH final	6.8	7.1	7.2	6.9
%Remoción de turbidez	97.44%	97.82%	97.63%	98.29%
% Remoción de solidos	96.90%	97.96%	96.66%	98.04%
%Remoción DQO	67.83%	67.60%	64.46%	72.69%

Imagen 5. Resultados ensayo 4



Con respecto a la turbidez y a los sólidos suspendidos totales (SST) en general se evidencia una alta remoción en cada una de las jarras aunque se observó una lenta sedimentación en las jarras 2 y 4. Con respecto a la demanda química de oxígeno (DQO) el floculante L1587A es el que mayor porcentaje de remoción presenta, en cuanto al pH es cercano a 7. La cantidad de lodo generada en cada una de las jarras es similar y es de aproximadamente 100ml a excepción de la jarra 4 donde se generó un volumen cercano a los 200ml,

Ensayo 5. Uso de concentración media de floculantes con policloruro de aluminio. En la Tabla 16 y en la Imagen 6 se encuentran los resultados del test de jarras utilizando la dosificación de policloruro de aluminio establecida en el ensayo 1, en cada una de las jarras se adiciono uno de los floculantes a una concentración media que en este caso es 12 ppm.

Tabla 16. Resultados ensayo 5

Jarra	1	2	3	4
Floculante	L1564	QS-934	L1538	L1587A
Concentración (ppm)	12	12	12	12
Turbidez final (FAU)	24	21	14	19
SST (mg/l)	30	22	17	18
DQO (mg/l)	1760	1799	1501	1550
pH final	6.8	7.2	7.4	6.9
%Remoción de turbidez	97.73%	98.01%	98.67%	98.20%
% Remoción de solidos	97.56%	98.21%	98.61%	98.53%
%Remoción DQO	68.37%	67.67%	73.03%	72.15%

Imagen 6. Resultados ensayo 5



En este ensayo los porcentajes de remoción de turbidez y de solidos suspendidos totales es alta en cada una de las jarras, en la jarra 3 se evidencia menor cantidad de lodo y mayor porcentaje de remoción de demanda química de oxígeno (DQO) a comparación de las otras jarras.

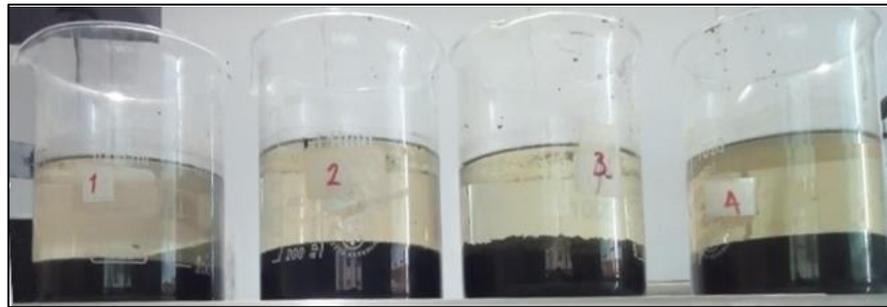
Las jarras 2 y 4 a pesar de tener altos porcentajes de remoción de los parámetros medidos, generan un alto volumen de lodo se observa que sobrepasan los 200 ml lo que representa aproximadamente un 35% del volumen del agua tratada en cada jarra.

Ensayo 6. Uso de concentración alta de floculantes con policloruro de aluminio. En la Tabla 17 y en la Imagen 7 se encuentran los resultados del test de jarras utilizando la dosificación de policloruro de aluminio establecida en el ensayo 1, en cada una de las jarras se adiciono uno de los floculantes a una concentración alta que en este caso es 18 ppm.

Tabla 17. Resultados ensayo 6

Jarra	1	2	3	4
Floculante	L1564	QS-934	L1538	L1587A
Concentración (ppm)	18	18	18	18
Turbidez final (FAU)	23	19	17	21
SST (mg/l)	21	20	27	18
DQO (mg/l)	1695	1572	1523	1595
pH final	7	7.2	7.1	6.8
%Remoción de turbidez	97.82%	98.20%	98.39%	98.01%
% Remoción de solidos	98.29%	98.37%	97.80%	98.53%
%Remoción DQO	69.54%	71.75%	72.63%	71.34%

Imagen 7. Resultados ensayo 6

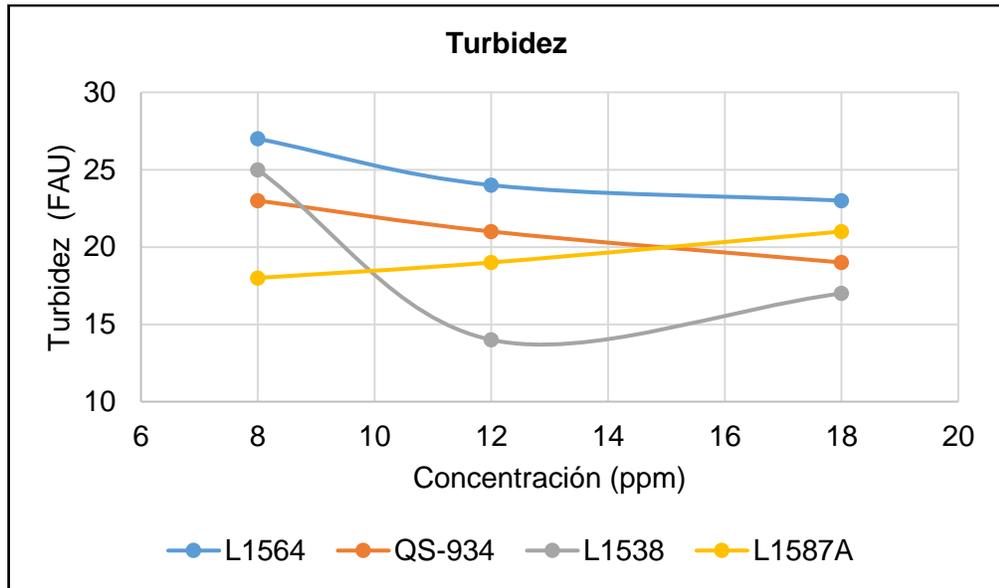


En este ensayo el porcentaje de remoción más alto de turbidez y demanda química de oxígeno se obtuvo en la jarra 3, se evidencia una cantidad de lodos igual en cada una de las jarras. En cuanto al pH en la jarra 4 disminuyó más a comparación de las otras jarras.

Análisis de ensayos realizados con policloruro de aluminio. En estos ensayos el rango de turbidez final estuvo entre 14 y 27 FAU, siendo el floculante L1538 el que presentó mejores resultados en dos de las tres pruebas realizadas. En la Gráfica 3 se presenta la turbidez final que se obtuvo con los diferentes floculantes a las tres concentraciones utilizadas, donde se observa que los floculantes QS-934 y L1564 remueven mayor turbidez en concentración alta, por otro lado con el floculante L1538 se obtiene la más baja turbidez, según CÁRDENAS¹² la dosis óptima se obtiene en el punto de inflexión, que es el punto más bajo de la curva.

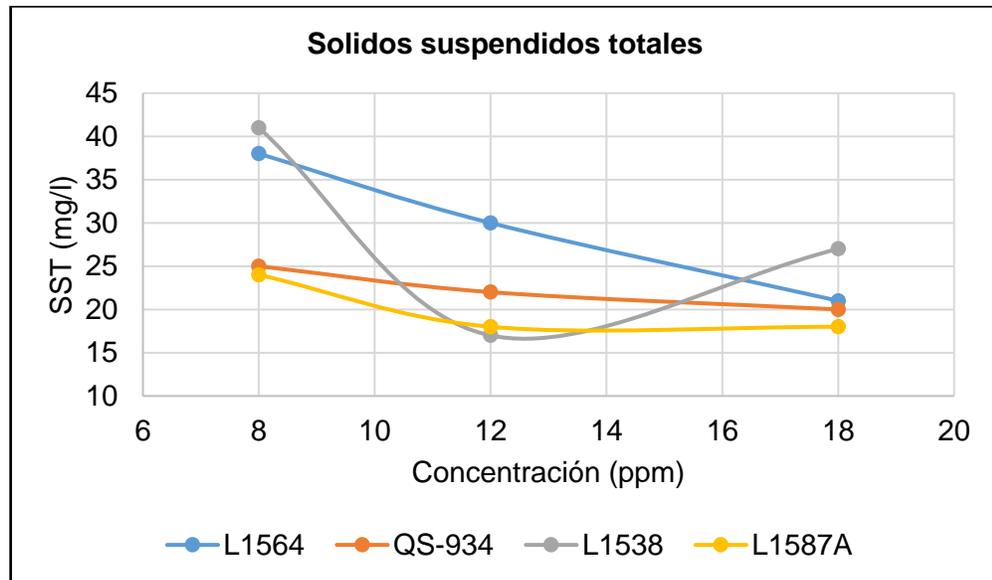
¹² CÁRDENAS, Yolanda. Tratamiento de aguas: coagulación - floculación. En: SEDAPAL EVALUACIÓN DE PLATAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO. Abril del 2000 p. 13-25

Gráfica 3. Turbidez final en los ensayos realizados con policloruro de aluminio



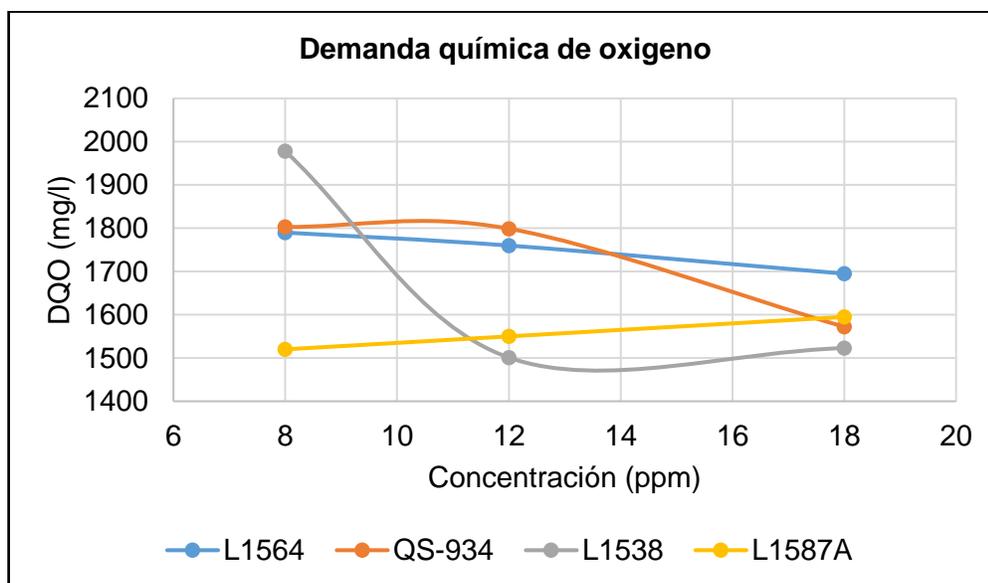
La Grafica 4 representa los sólidos suspendidos totales finales, allí se observa que los flocculantes QS-934 y L1587A son los que remueven mayor cantidad de sólidos, en cuanto al flocculante L1564 a medida que se aumenta la concentración más SST remueve, el comportamiento del flocculante L1538 se debe a que a concentraciones muy baja no logra aglomerar las partículas en suspensión después de la coagulación y en concentraciones altas es posible que la cantidad de coagulante adicionado no se suficiente para interactuar con dicho flocculante.

Gráfica 4. SST final en los ensayos realizados con policloruro de aluminio



En la Gráfica 5 se encuentran los resultados de la DQO final con cada uno de los floculantes utilizados, se observa que los floculantes L1564 y L1587A presentan una buena remoción de DQO a una concentración media. Los floculantes QS-934 y L1564 logran mejores porcentajes de remoción a concentraciones mayores. Por otro lado, se recomendaría utilizar el floculante L1538 en un rango de 12ppm a 16ppm.

Gráfica 5. DQO final en los ensayos realizados con policloruro de aluminio



Ensayo 7. Uso de concentración baja de floculantes con sulfato de aluminio.

En la Tabla 18 y en la Imagen 8 se encuentran los resultados del test de jarras utilizando la dosificación de sulfato de aluminio establecida en el ensayo 2, en cada una de las jarras se adiciono uno de los floculantes a una concentración baja que en este caso es 8 ppm.

Tabla 18. Resultados ensayo 7

Jarra	1	2	3	4
Floculante	L1564	QS-934	L1538	L1587A
Concentración (ppm)	8	8	8	8
Turbidez final (FAU)	67	43	41	50
SST (mg/l)	81	53	49	56
DQO (mg/l)	2190	2106	1803	2150
pH final	7.1	7.3	6.8	6.9
%Remoción de turbidez	93.65%	95.92%	96.11%	95.26%
% Remoción de solidos	93.40%	95.68%	96.01%	95.44%
%Remoción DQO	60.65%	62.16%	67.60%	61.37%

Imagen 8. Resultados ensayo 7



En este ensayo los porcentajes de remoción más altos se obtienen en la jarra 3 aunque es en esta donde el pH disminuyó más y se evidencia una mayor cantidad de lodo, por otro lado, la jarra 1 presenta un bajo volumen de lodo, pero así mismo la calidad del agua tratada no es la mejor con respecto a las otras jarras

Ensayo 8. Uso de concentración media de floculantes con sulfato de aluminio.

En la Tabla 19 y en la Imagen 9 se encuentran los resultados del test de jarras utilizando la dosificación de sulfato de aluminio establecida en el ensayo 2, en cada una de las jarras se adiciono uno de los floculantes a una concentración media que en este caso es 12 ppm.

Tabla 19. Resultados ensayo 8

Jarra	1	2	3	4
Floculante	L1564	QS-934	L1538	L1587A
Concentración (ppm)	12	12	12	12
Turbidez final (FAU)	42	34	31	46
SST (mg/l)	60	57	55	47
DQO (mg/l)	1960	1799	1783	2090
pH final	6.9	7.1	7.3	7
%Remoción de turbidez	96.02%	96.78%	97.06%	95.64%
% Remoción de solidos	95.11%	95.35%	95.52%	96.17%
%Remoción DQO	64.78%	67.67%	67.96%	62.44%

Imagen 9. Resultados ensayo 8



El porcentaje de remoción más alto de turbidez, sólidos suspendidos totales y demanda química de oxígeno se obtiene en las jarras 2 y 3, pero en la jarra 3 se observó que el floc precipito con facilidad y hay poca generación de lodos. Con respecto a la jarra 4 se tiene una gran cantidad de lodo y el porcentaje de remoción es el más bajo con respecto a las otras jarras.

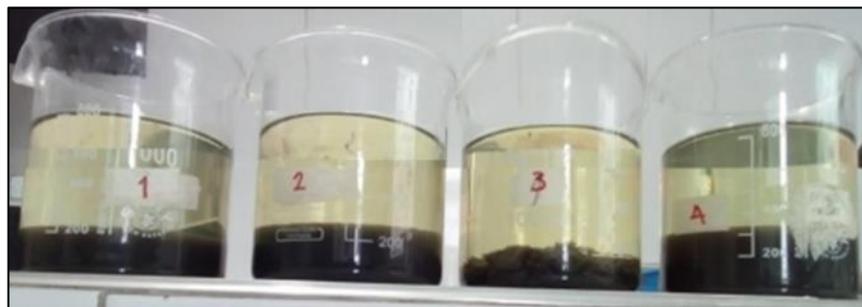
Ensayo 9. Uso de concentración alta de floculantes con sulfato de aluminio.

En la Tabla 20 y en la Imagen 10 se encuentran los resultados del test de jarras utilizando la dosificación de sulfato de aluminio establecida en el ensayo 2, en cada una de las jarras se adiciono uno de los floculantes a una concentración alta que en este caso es 18 ppm.

Tabla 20. Resultados ensayo 9

Jarra	1	2	3	4
Floculante	L1564	QS-934	L1538	L1587A
Concentración (ppm)	18	18	18	18
Turbidez final (FAU)	30	23	21	26
SST (mg/l)	40	33	31	39
DQO (mg/l)	1795	1605	1589	1623
pH final	6.8	7.2	7	6.9
%Remoción de turbidez	97.16%	97.82%	98.01%	97.54%
% Remoción de sólidos	96.74%	97.31%	97.47%	96.82%
%Remoción DQO	67.74%	71.16%	71.45%	70.84%

Imagen 10. Resultados ensayo 9

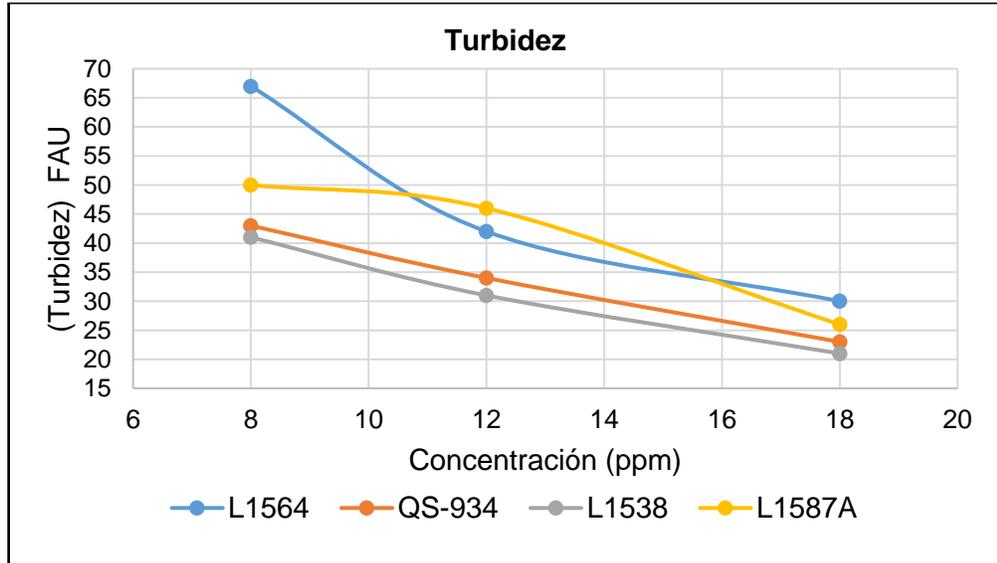


En la jarra 3 es donde se obtienen los mejores porcentajes de remoción de turbidez, demanda química de oxígeno adicionalmente el floc precipito con facilidad y la generación de lodo fue inferior con respecto a las otras jarras, en la jarra 1 y 4 es donde los porcentajes de remoción son más bajos y la generación de lodo es mayor.

Análisis de ensayos realizados con sulfato de aluminio. En cuanto a la turbidez final del agua tratada con sulfato de aluminio estuvo en un rango entre 21 y 67 FAU, en la Gráfica 6 se observa que a mayor concentración de floculante la turbidez final disminuye, significa que a concentraciones bajas los floculantes no pueden

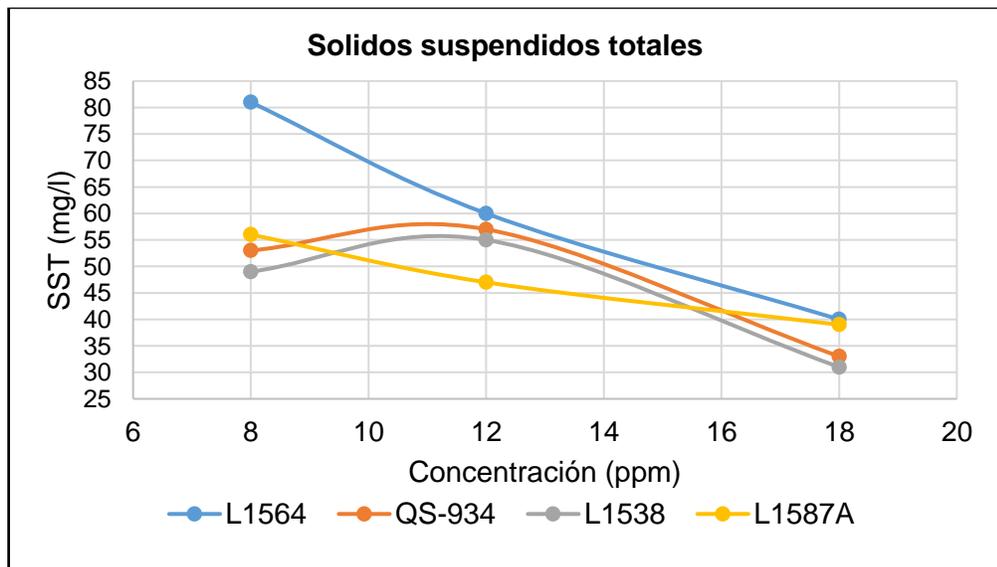
aglomerar fácilmente los microfloculos generados en la coagulación con sulfato de aluminio, y por el contrario en concentraciones altas los floculantes interactúan correctamente con el sulfato de aluminio.

Gráfica 6. Turbidez final en los ensayos realizados con sulfato de aluminio



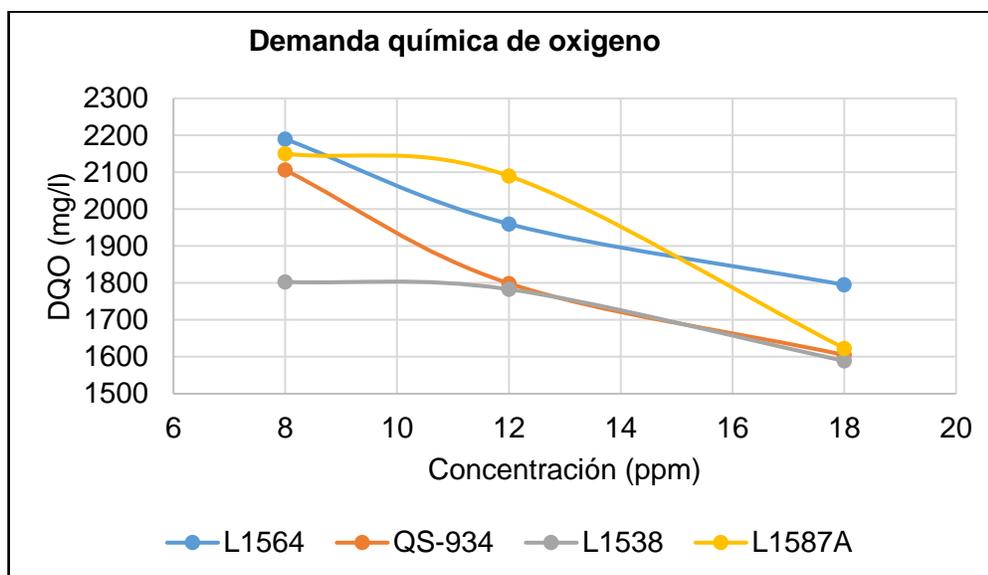
En la gráfica 7 se observa que el floculante L1564 a concentraciones remueve menos cantidad de solidos a comparación de los otros floculantes, por otro lado, a medida que aumenta la concentración los sólidos suspendidos disminuyen. En estas pruebas el floculante que mayor porcentaje de remoción de solido logro fue el L1538 a una concentración alta.

Gráfica 7. SST final en los ensayos realizados con sulfato de aluminio



En la Gráfica 8 se observa que la DQO final disminuye a medida que la concentración de floculante aumenta, el floculante L1538 a concentraciones baja presenta mayor remoción de DQO a comparación de los otros floculantes, adicionalmente los floculantes L1587A y QS-934 a una concentración alta presentan DQO finales similares a las del L1538 que fue el que en todos los ensayos logro mayor remoción.

Gráfica 8. DQO final en los ensayos realizados con sulfato de aluminio



Ensayo 10. Uso de concentración baja de floculantes con cloruro férrico. En la Tabla 21 y en la Imagen 11 se encuentran los resultados del test de jarras utilizando la dosificación de cloruro férrico establecida en el ensayo 3, en cada una de las jarras se adiciono uno de los floculantes a una concentración baja que en este caso es 8 ppm.

Tabla 21. Resultados ensayo 10

Jarra	1	2	3	4
Floculante	L1564	QS-934	L1538	L1587A
Concentración (ppm)	8	8	8	8
Turbidez final (FAU)	44	32	27	29
SST (mg/l)	52	39	34	32
DQO (mg/l)	2034	1903	1878	1920
pH final	6.9	7.2	7.1	7
%Remoción de turbidez	95.83%	96.97%	97.44%	97.25%
% Remoción de solidos	95.76%	96.82%	97.23%	97.39%
%Remoción DQO	63.45%	65.80%	66.25%	65.50%

Imagen 11. Resultados ensayo 10



En este ensayo en general todas las jarras presentaron una alta remoción de turbidez y de sólidos suspendidos totales, aunque hubo una alta generación de lodo se estima que el volumen de lodo generado esta entre el 40% y el 50% del volumen de agua tratada en cada jarra adicionalmente se observó que la sedimentación fue demasiado lenta, en cuanto a la demanda química de oxígeno se evidencia una mayor remoción en la jarra 3.

Ensayo 11. Uso de concentración media de floculantes en cloruro férrico. En la Tabla 22 y en la Imagen 12 se encuentran los resultados del test de jarras utilizando la dosificación de cloruro férrico establecida en el ensayo 3, en cada una de las jarras se adiciono uno de los floculantes a una concentración media que en este caso es 12 ppm.

Tabla 22. Resultados ensayo 11

Jarra	1	2	3	4
Floculante	L1564	QS-934	L1538	L1587A
Concentración (ppm)	12	12	12	12
Turbidez final (FAU)	36	24	22	25
SST (mg/l)	41	33	38	37
DQO (mg/l)	1960	1689	1615	1623
pH final	6.9	7.1	7.3	6.9
%Remoción de turbidez	96.59%	97.73%	97.91%	97.63%
% Remoción de sólidos	96.66%	97.31%	96.90%	96.98%
%Remoción DQO	64.78%	69.65%	70.98%	70.84%

Imagen 12. Resultados ensayo 11



En este ensayo se presentaron resultados muy similares en cuanto a turbidez y solidos suspendidos totales, sin embargo, los mejores porcentajes de remoción de demanda química de oxígeno se obtienen en la jarra 3.

Ensayo 12. Uso de concentración alta de floculantes en cloruro férrico. En la Tabla 23 y en la Imagen 13 se encuentran los resultados del test de jarras utilizando la dosificación de cloruro férrico establecida en el ensayo 3, en cada una de las jarras se adiciono uno de los floculantes a una concentración alta que en este caso es 18 ppm.

Tabla 23. Resultados ensayo 12

Jarra	1	2	3	4
Floculante	L1564	QS-934	L1538	L1587A
Concentración (ppm)	18	18	18	18
Turbidez final (FAU)	29	22	45	30
SST (mg/l)	38	30	64	41
DQO (mg/l)	1795	1670	1997	1867
pH final	7	7.2	7.1	6.8
%Remoción de turbidez	97.25%	97.91%	95.73%	97.16%
% Remoción de solidos	96.90%	97.56%	94.78%	96.66%
%Remoción DQO	67.74%	69.99%	64.12%	66.45%

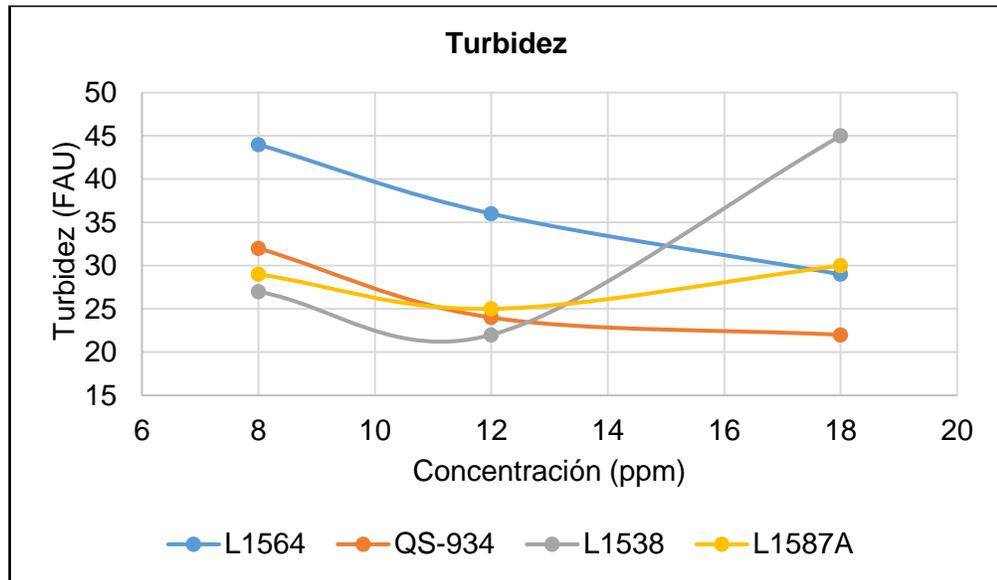
Imagen 13. Resultados ensayo 12



En este ensayo los porcentajes de remoción en cuanto a turbidez y solidos suspendidos totales son altos y cercanos en cada una de las jarras, en la jarra 1 y 2 se observa una menor proporción de lodo en comparación con las jarras 2 y 4, sin embargo, la jarra 3 es donde se presentó un menor porcentaje de remoción de demanda química de oxígeno.

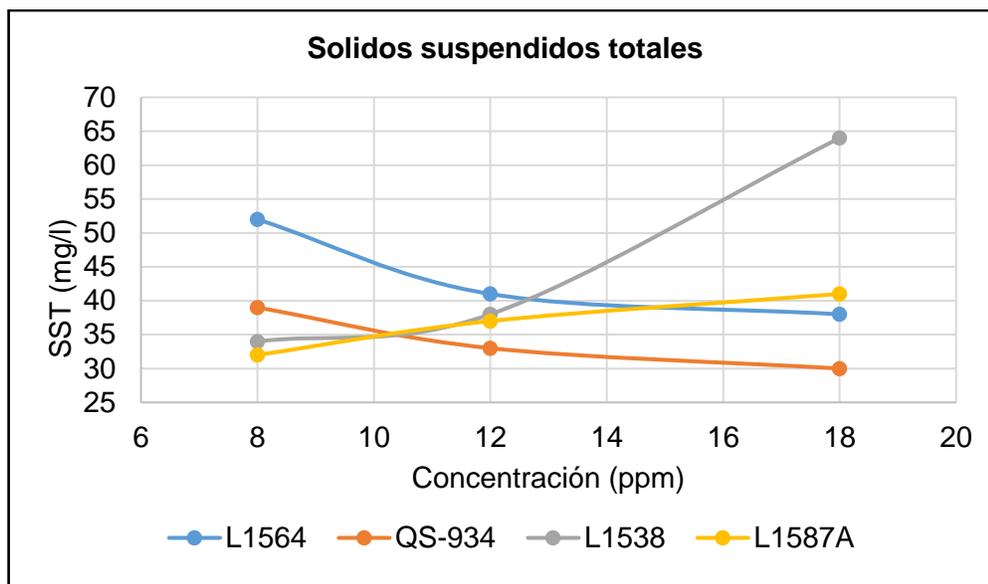
Análisis de ensayos realizados con cloruro férrico. En la Gráfica 9 está representada la turbidez final de los ensayos realizados con cloruro férrico donde los resultados estuvieron en un rango entre 22 y 45 FAU, se observa que al aumentar la concentración de los floculantes QS-934 y L1564 la turbidez final disminuye significativamente que a una concentración alta dichos floculantes interactúan bien con el cloruro férrico. En cuanto a los floculantes L1587A y L1538 logran mayor remoción a una concentración media.

Gráfica 9. Turbidez final en los ensayos realizados con cloruro férrico



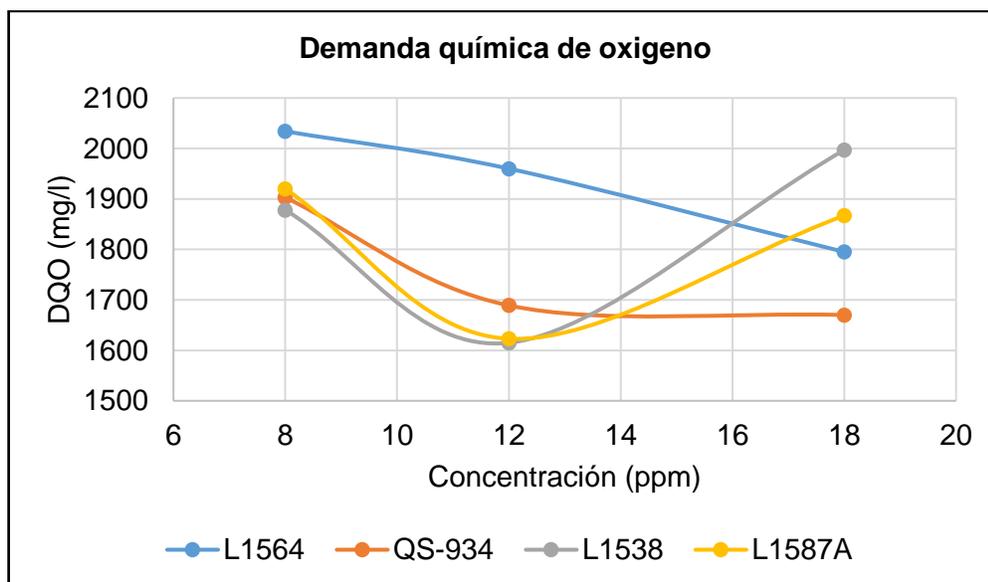
En la Gráfica 10 se observa un comportamiento similar al de la turbidez pues son parámetros que están relacionados dependiendo uno del otro, el mayor porcentaje de remoción de solidos suspendidos totales se obtuvo con el floculante QS-934 a una concentración alta.

Gráfica 10. SST final en los ensayos realizados con cloruro férrico



En la Gráfica 11 se observa que los flocculantes QS-934 y L1564 logran disminuir la DQO cuando aumenta la concentración, en cuanto a los flocculantes L1587A y L1538 logran una mejor remoción de DQO en una concentración intermedia, se recomienda experimentar otro rango de concentración para dichos flocculantes, con el fin de analizar mejor su comportamiento.

Gráfica 11. DQO final en los ensayos realizados con cloruro férrico



Finalizadas las pruebas de jarras se observó que el policloruro de aluminio interactuaba mejor con los floculantes, este fue el que mejores porcentajes de remoción presentó a diferencia de los otros dos coagulantes utilizados, por otro lado, los mejores resultados se obtuvieron en el ensayo 5 donde se utilizó una concentración media de los diferentes floculantes en policloruro de aluminio, obteniendo porcentajes de remoción muy similares escogiendo finalmente como mejor pareja de reactivos al policloruro de aluminio junto con el floculante L1538, adicionalmente se observa que la generación de lodo es aproximadamente el 10% del volumen de la jarra.

Bajo dichas condiciones determinadas en el ensayo 5, se dan las especificaciones técnicas.

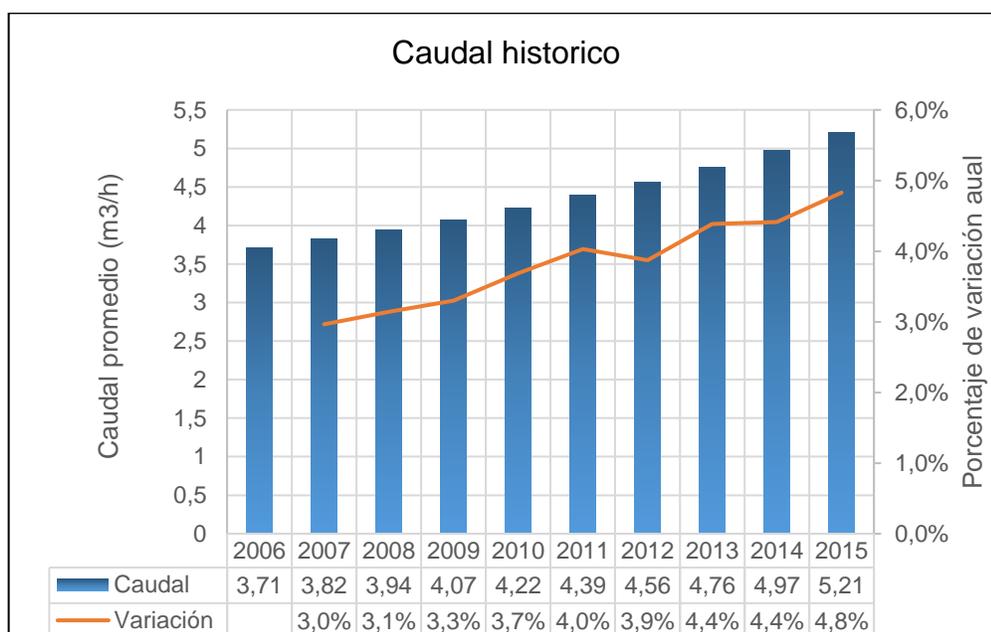
4. EQUIPOS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

4.1 DISEÑO DEL CLARIFICADOR

Los sedimentadores deben tener capacidad suficiente para realizar adecuadamente la operación en caso de grandes caudales en la planta, por eso para el diseño de esta unidad se toma el caudal (Q_T) que fue más frecuente en las mediciones realizadas el 15 y 17 de agosto, el cual corresponde a $5.79 \text{ m}^3/\text{h}$.

En los últimos 10 años el caudal ha ido aumentando, tal como se ve en la Gráfica 12, lo que ha afectado al tratamiento actual. Como parámetro de seguridad se selecciona el 15%.

Gráfica 12. Caudal histórico de la PTAR



Fuente. CAMACHO RAMOS, John y CONTRERAS PALACIOS, Felipe. Informe de caudal promedio anual de la PTAR Albateq harinas. 2016.

El sedimentador se divide en una estructura cilíndrica y una estructura cónica cuyo volumen está determinado por la Ecuación 4 que es la suma del volumen del cono con el volumen del cilindro, adicionalmente el volumen también está determinado por la multiplicación del caudal de trabajo por el tiempo en este caso el volumen será 6.7 m^3 , incluido el factor de seguridad.

Ecuación 4. Volumen del sedimentador

$$v_{sed} = \frac{\pi D^2 H_{con}}{12} + \frac{\pi D^2 H_{cil}}{4}$$

De acuerdo a PÉREZ¹³ se considera que el 20% del volumen total del sedimentador es el que corresponde a la estructura cónica o tolva de lodos, el 80% corresponde a la estructura cilíndrica, por otro lado, el criterio de diseño altura – diámetro (H/D) es igual a 1.5 y el diámetro de desagüe de la tolva de lodos como mínimo debe tener un diámetro de 30 cm según ROMERO¹⁴.

En la Tabla 24 se presentan las dimensiones del sedimentador una vez hechas las consideraciones necesarias, en el Anexo J se encuentra con detalle el cálculo y la explicación del solver realizado.

Tabla 24. Dimensiones del sedimentador

volumen sedimentador (m ³)	6.7
H _{cono} (m)	1.3
H _{cilindro} (m)	1.7
H _{total} (m)	3.0
Diámetro (m)	2.0
Volumen cono (m ³)	1.3
Volumen cilindro (m ³)	5.4
Relación (H _{total} /D)	1.5
Diámetro de desagüe de lodos (m)	0.3

4.2 DOSIFICACIÓN Y PREPARACION DE REACTIVOS

En el ensayo 5 se obtuvo como mejor floculante al L1538 con una concentración de 12 ppm (7.2 ml) preparado a 0.1%, por otro lado, como coagulante se utilizó policloruro de aluminio en una concentración de 1400ppm (8.4 ml) preparado al 10%, teniendo en cuenta que el volumen de la jarra era de 600ml y que el clarificador tiene un volumen útil de 5.79 m³ se realiza el cálculo de la dosificación necesaria para el tratamiento.

¹³ PEREZ PARRA, Jorge Arturo. Manual de potabilización de agua. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

¹⁴ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Purificación Del Agua. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2006. ISBN 9588060664

4.2.1 Dosificación y preparación de coagulante Policloruro de aluminio. Teniendo en cuenta el volumen del clarificador y los resultados obtenidos en el ensayo 5, se calculan las dosificaciones de los compuestos utilizados en el tratamiento.

$$8.4 * 10^{-6}m^3 \rightarrow 600 * 10^{-6}m^3$$

$$Xm^3 \rightarrow 5.79m^3$$

$$\frac{8.4 * 10^{-6}m^3}{600 * 10^{-6}m^3} * 5.79m^3 = 0.08m^3 \text{ policloruro de aluminio}$$

Para preparar 0.08 m³ policloruro de aluminio al 10% (100000g/m³) en planta se debe realizar el cálculo tal como se demostró con la Ecuación 3, es decir, se requieren 8x10⁻³ m³ de policloruro de aluminio al 100% y 0.08 m³ de agua.

$$1000000 \frac{g}{m^3} v_1 = 0.08m^3 * 100000 \frac{g}{m^3}$$

$$v_1 = \frac{0.08m^3 * 100000 \frac{g}{m^3}}{1000000 \frac{g}{m^3}} = 8 * 10^{-3}m^3 \text{ policloruro de aluminio}$$

$$v_1 = 8L_{\text{policloruro de aluminio}}$$

4.2.2 Dosificación y preparación de floculante L1538

$$7.2 * 10^{-6}m^3 \rightarrow 600 * 10^{-6}m^3$$

$$Xm^3 \rightarrow 5.79m^3$$

$$\frac{7.2 * 10^{-6}m^3}{600 * 10^{-6}m^3} * 5.79m^3 = 0.07m^3_{L1538}$$

Para preparar 0.07 m³ de floculante L1538 al 0.1% (1000g/m³) en planta se realiza el cálculo igual al anterior, pero en este caso se tiene en cuenta la densidad para

determinar el peso del floculante ya que este se encuentra en forma granular. Se requieren 70g de floculante y 0.07m³ de agua.

$$1000000 \frac{g}{m^3} v_1 \rho_1 = 0.07m^3 * 1000000 \frac{g}{m^3} * 1000 \frac{g}{m^3}$$

$$v_1 \rho_1 = m = \frac{0.07m^3 * 1000000 \frac{g}{m^3} 1000 \frac{g}{m^3}}{1000000 \frac{g}{m^3}} = 70g_{L1538}$$

Una vez determinada la cantidad necesaria de agentes químicos por tratamiento se calcula la cantidad de producto necesario por día, teniendo en cuenta que el tiempo de retención es de 1.5 horas y que se trabaja de manera continua durante las 24 horas. En la Tabla 25 se especifica la cantidad de producto requerida.

Tabla 25. Cantidad de productos por día

Producto	Unidad	Cantidad por tratamiento	Cantidad por día
Policloruro de aluminio	kg	8	128
Floculante L1538	kg	7x10 ⁻²	1.2

La implementación de este tratamiento no solo requiere saber cuál es la dosificación de reactivos optima y las características del clarificador, pues también se necesita de tranques para la preparación de dichos reactivos y un motor agitador. Teniendo en cuenta la cantidad de producto requerida se recomiendan tanques con una capacidad de 1500 L, con sus respectivas bombas dosificadoras.

Se estable que el producto debe ser dosificado dentro de un rango de 4 a 5 minutos por tanto se estima un caudal aproximadamente de 23 L/min para cada uno de los agentes químicos, el equipo indicado es una bomba dosificadora de diafragma mecánico con un caudal máximo de 1500 L/h, dichas bombas trabajan con gran variedad de productos químicos que presenten viscosidades hasta 500 cps.

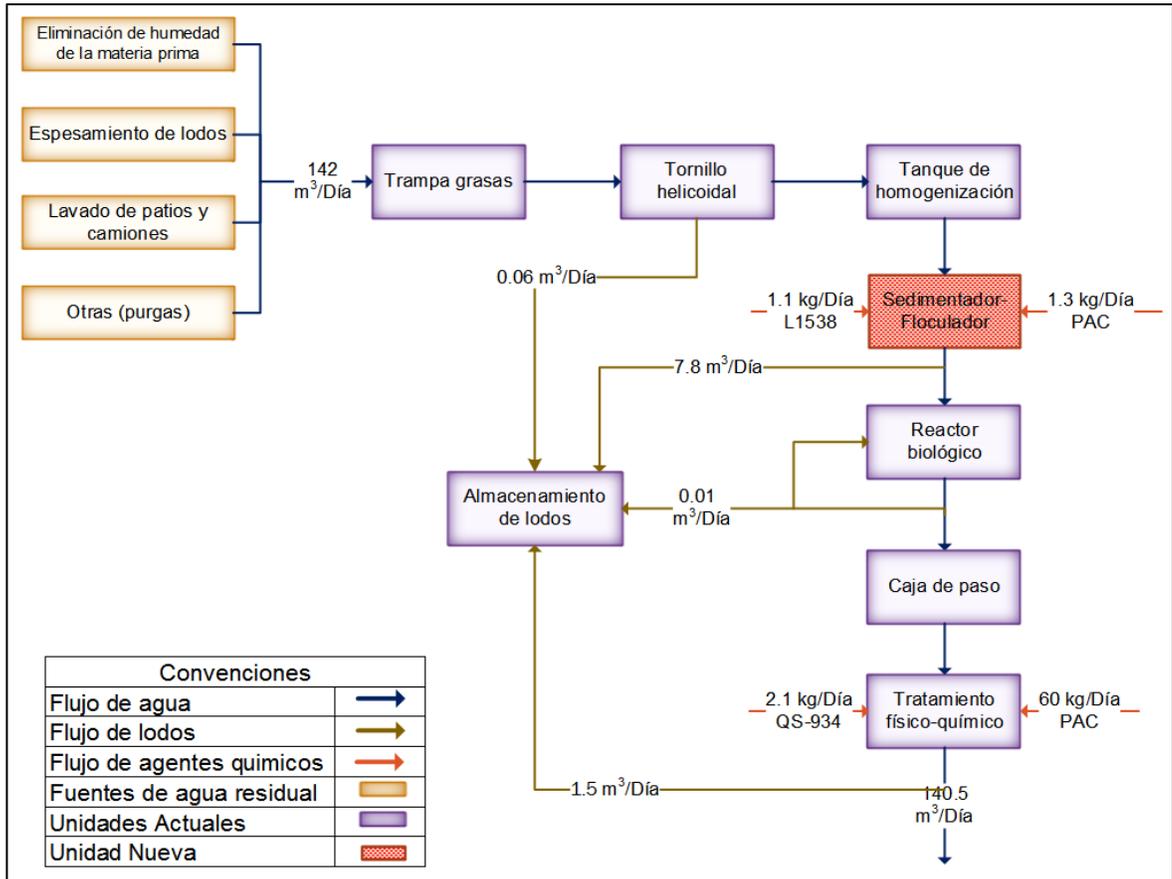
Por ultimo como complemento al tanque de sedimentación se requiere de un motor agitador, el cual se encargará de llevar acabo tanto la mezcla rápida como la mezcla lenta del tratamiento de clarificación.

4.3 DISEÑO DEL NUEVO TRATAMIENTO

Una vez conocidas las especificaciones y equipos requeridos para el tratamiento de clarificación, se da a conocer el nuevo diseño de la planta en el diagrama de bloques

representado por la Figura 11 donde se establece que la unidad de clarificación se encuentra entre el tanque de homogenización y el tratamiento secundario que en este caso es el reactor biológico. En la Figura 12 está el diagrama de proceso de la PTAR.

Figura 11. Diagrama de bloques de la PTAR nueva

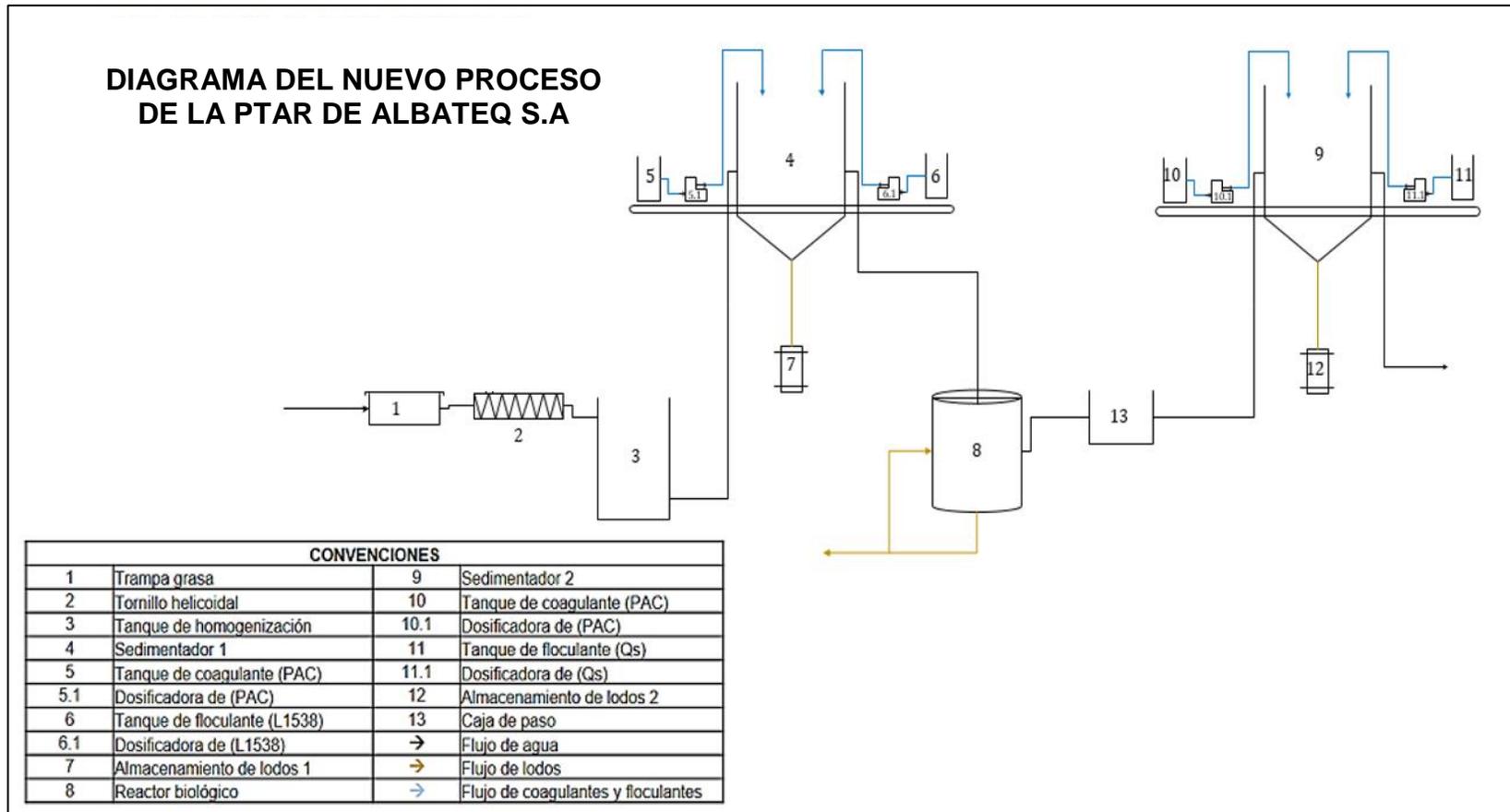


La Tabla 26 se presenta los tiempos de operación del nuevo tratamiento de clarificación.

Tabla 26. Tiempos de operación del sistema de clarificación

Operación	Duración (min)
Adición coagulante	5
Adición floculante	2
Mezcla rápida	3
Mezcla lenta	20
Sedimentación	60
Total	90

Figura 12. Diagrama del nuevo proceso de la PTAR de Albateq S.A



Con el nuevo tratamiento se espera obtener un vertimiento que cumpla con los parámetros máximos establecidos por Resolución 0631.

De acuerdo con los porcentajes de remoción promedio obtenidos en la caracterización del agua del tratamiento microbiológico y del tratamiento final o físico-químico y de los resultados del ensayo de jarras 5 se determinan las características finales del vertimiento.

En la Tabla 27 se encuentra el porcentaje de remoción de cada uno de los tratamientos, teniendo en cuenta el tratamiento de clarificación.

Tabla 27. Porcentajes de remoción de la PTAR

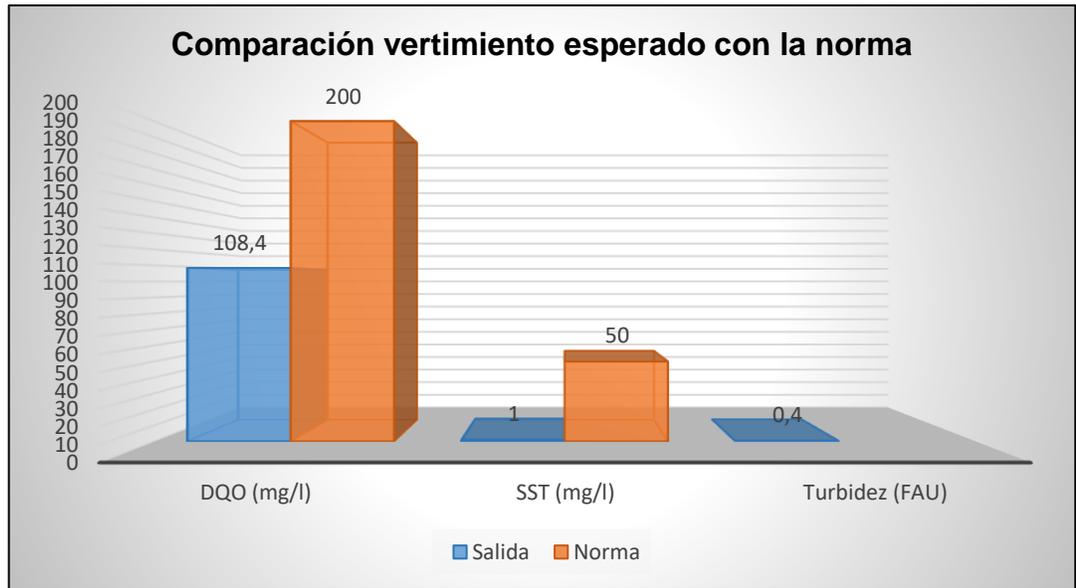
% Remoción	Nuevo tratamiento	Tratamiento microbiológico	Tratamiento físico-químico
DQO (mg/l)	73.0%	58.1%	83.0%
SST (mg/l)	98.6%	60.2%	93.90%
Turbidez (FAU)	98.6%	78.2%	89.40%

Finalmente se presenta en la Tabla 28 los valores de entrada y salida de cada una de las etapas de la PTAR. En la Gráfica 13 se comparan los valores del vertimiento con la norma, donde el parámetro DQO está dentro de los límites máximos.

Tabla 28. Parámetros estimados con el nuevo tratamiento

Parámetro	Entrada	Salida del nuevo tratamiento	Salida del tratamiento microbiológico	Salida del tratamiento físico-químico	Norma
DQO (mg/l)	5638	1522	638	108	200
SST (mg/l)	1479	21	8	1	50
Turbidez (FAU)	1298	18	4	0.4	-

Gráfica 13. Comparación vertimiento esperado con la norma



Concretando este capítulo, con la puesta en marcha del sistema de clarificación previo al tratamiento biológico se obtiene un vertimiento que cumple con la Resolución 0631 de 2015, por otro lado, el tratamiento microbiológico deja de estar en riesgo lo que puede llegar a mejorar su rendimiento.

5. ANÁLISIS DE COSTOS DE LA PTAR

5.1 COSTOS ACTUALES

Los costos actuales de la planta de tratamiento de aguas residuales se presentan a continuación, teniendo en cuenta tanto costos de mantenimiento como costos de operación anuales.

5.1.1 Costos de mantenimiento. Actualmente la planta de tratamiento se lava aproximadamente 4 veces al mes, se hace un lavado general con hipoclorito de sodio, jabón neutro, soda caustica y agua. En la Tabla 29 se presenta el consumo de cada uno de los insumos utilizados en el lavado junto con su valor mensual y anual.

Tabla 29. Costos de lavado de la PTAR

Producto	Unidad	Consumo mensual	Costo unitario	Costo mensual	Costo anual
Hipoclorito de sodio	kg	4	\$1,500	\$6,000	\$72,000
Soda caustica	kg	4	\$2,500	\$10,000	\$120,000
Jabón neutro	kg	2	\$5,700	\$11,400	\$136,800
Agua	m ³	4	\$1,950	\$7,800	\$93,600
Total			\$11,650	\$27,400	\$328,800

Fuente. Fuente. CORTES RODRIGUEZ, Cristian , SANCHEZ MARTINEZ, Jesús Andres. control de insumos en la PTAR Albateq harinas.2016.

5.1.2 Costos de operación. Dentro de los costos de operación están los costos de los insumos (reactivos, agua energía) para llevar a cabo el tratamiento de aguas residuales.

En la Tabla 30 se especifican los costos de los reactivos utilizados en el tratamiento físico-químico y microbiológico que hay actualmente.

Tabla 30. Costos de reactivos utilizados actualmente

Producto	Unidad	Consumo mensual	Costo unitario	Costo mensual	Costo anual
Soda caustica liquida	kg	250	\$1,300	\$325,000	\$3,900,000
Policloruro de aluminio	kg	1650	\$1,500	\$2,475,000	\$29,700,000
Floculante QS-934	kg	80	\$28,600	\$2,288,000	\$27,456,000
Enzimas	Kg	25	\$29,500	\$737,500	\$8,850,000
Antiespumante	Kg	40	\$26,000	\$1,040,000	\$12,480,000
Total			\$86,900	\$6,865,500	\$82,386,000

Fuente. CORTES RODRIGUEZ, Cristian , SANCHEZ MARTINEZ, Jesús Andres. control de insumos en la PTAR Albateq harinas.2016.

Actualmente el mayor consumo energético en la PTAR se debe al tratamiento microbiológico, este cuenta con 6 aireadores que suministran 1.4 kgO₂/kW-h y requieren una potencia de 6HP (4.5 kW), en la Tabla 31 se presenta el consumo de energía con sus respectivos costos teniendo en cuenta que cada aireador funciona las 24 horas, adicionalmente el cálculo del consumo mensual tienen en cuenta los 6 aireadores.

Tabla 31. Consumo y costos de energía

Equipo	Horas de operación al día	Cantidad por hora (kWh)	Costo unitario (\$/kWh)	Costo mensual	Costo anual
Aireadores	24	4.5	\$460	\$8,942,400	\$107,308,800
Serpentín	2	0.2	\$460	\$5,520	\$66,240
Total				\$8,975,520	\$107,706,240

Fuente. Fuente. CORTES RODRIGUEZ, Cristian , SANCHEZ MARTINEZ, Jesús Andres. control de insumos en la PTAR Albateq harinas.2016.

El consumo de agua en la PTAR equivale al agua utilizada en la preparación de los reactivos para el tratamiento físico-químico, en la Tabla 32 se encuentra el consumo de agua con sus respectivos costos.

Tabla 32. Consumo y costos de agua

Producto	Unidad	Consumo por mes	Costo unitario	Costo mensual	Costo anual
Agua para soda caustica liquida	m ³	3	\$1,950	\$5,850	\$70,200
Agua para policloruro de aluminio	m ³	8	\$1,950	\$15,600	\$187,200
Agua para floculante QS-934	m ³	23	\$1,950	\$44,850	\$538,200
Total		34	\$5,850	\$66,300	\$795,600

Fuente. CORTES RODRIGUEZ, Cristian , SANCHEZ MARTINEZ, Jesús Andres. control de insumos en la PTAR Albateq harinas.2016.

5.2 COSTOS DEL NUEVO TRATAMIENTO DE LA PTAR

A continuación, se presentan los costos que conciernen a la implementación del tratamiento de clarificación previo al sistema microbiológico.

5.2.1 Costos de adquisición de nuevos equipos. Como se menciona en el capítulo 4 se requiere de varios equipos para llevar a cabo el tratamiento de clarificación, en la Tabla 33 se encuentran los equipos con sus respectivos costos los cuales salen de cotizaciones que se encuentran en el Anexo K.

Tabla 33. Costos de nuevos equipos

Equipo	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Tanque de preparación de reactivos	2	\$754,000	\$1,508,000
Sedimentador	1	\$9,860,000	\$9,860,000
Recolector de lodos	1	\$34,800	\$34,800
Bombas dosificadoras	2	\$1,798,000	\$3,596,000
Motor de agitación	3	\$1,740,000	\$5,220,000
Total		\$14,186,800	\$20,218,800

5.2.2 Costos de operación. Dentro de los costos de operación del tratamiento de clarificación están involucrados, los costos de los productos coagulante, floculante, los costos energéticos y los costos del consumo de agua para la preparación de reactivos, en la Tabla 34 se presenta el consumo mensual de los productos junto con el costo mensual y anual. En el Anexo K se encuentran las cotizaciones de los productos.

Tabla 34. Consumo y costos de reactivos del nuevo tratamiento

Producto	Unidad	Consumo por mes	Costo unitario	Costo mensual	Costo anual
Policloruro de aluminio	kg	3840	\$1,300	\$4,992,000	\$59,904,000
Floculante L-1538	kg	36	\$17,500	\$630,000	\$7,560,000
Total			\$18,800	\$5,622,000	\$67,464,000

En el capítulo 4 se establece la cantidad de agua que se requiere para preparar los reactivos, en la Tabla 35 se presentan los costos del consumo de agua para el nuevo tratamiento.

Tabla 35. Consumo y costos de agua del nuevo tratamiento

Producto	Unidad	Consumo por mes	Costo unitario	Costo mensual	Costo anual
Agua para coagulante	m ³	38	\$1,950	\$74,880	\$2,246,400
Agua para floculante	m ³	34	\$1,950	\$65,520	\$1,965,600
Total			\$3,900	\$140,400	\$4,212,000

Teniendo en cuenta que se requiere de bombas dosificadoras y motores de agitación para el nuevo tratamiento en la Tabla 36 se especifica el consumo energético y los costos que implica.

Tabla 36. Costo y consumo de energía de equipos de nuevo tratamiento

Equipo	Horas de operación al día	Cantidad por hora (kW/h)	Costo unitario (\$/kWh)	Costo mensual	Costo anual
Bomba dosificadora de coagulante	2	0.2	\$460	\$5,520	\$66,240
Bomba dosificadora de floculante	2	0.2	\$460	\$5,520	\$66,240
Agitador de sedimentador	5	1.5	\$460	\$103,500	\$1,242,000
Agitador de coagulante	0.5	1.5	\$460	\$10,350	\$124,200
Agitador de floculante	0.5	1.5	\$460	\$10,350	\$124,200
Total				\$135,240	\$1,622,880

Los costos anuales del nuevo tratamiento aumentan en un 38 % (Tabla 37) los costos totales del funcionamiento de la PTAR, pero es necesario analizar como el tratamiento de clarificación influye en el sistema microbiológico, pues este es el que mayor impacto económico representa en la planta. Con el nuevo tratamiento se reduce la carga orgánica lo que significa que el sistema microbiológico puede llegar a requerir menor cantidad de enzimas y adicionalmente al emplear menos microorganismos se necesitaría menos aireación reduciendo consumo y costos de energía.

Tabla 37. Incremento de costos anuales del tratamiento de aguas residuales

Costos actuales	Costos del nuevo tratamiento	Costos totales	Incremento
\$190,885,440	\$ 73,298,880	\$ 264,184,320	38%

Adicionalmente la inversión de implementar el sistema de clarificación previo al tratamiento secundario reduce las posibilidades de seguir poniendo en riesgo el tratamiento microbiológico, a su vez evitaría multas y sanciones como las impuestas por la Ley 99 de 1993¹⁵ en el artículo 85 donde se establece que se puede llegar a pagar Multas diarias hasta por una suma equivalente a 300 salarios mínimos mensuales.

5.3 COSTOS POR SANCIONES

La multa es una sanción económica impuesta a quien infringe ante una obligación legal. Las sanciones ambientales se modelan por medio de la Ecuación 5 presentada en el Artículo 4 de la resolución 2086 de 2010.

Ecuación 5. Determinación de sanción ambiental

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

Fuente. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2086 Bogotá, 2010 Artículo 4

En la Tabla 38 se encuentra el valor de cada uno de los criterios de la ecuación donde el cálculo se hizo de manera detallada y se presenta en el Anexo L.

¹⁵MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Ley 99 de 1993 (diciembre 22 de 1993). Bogota, 1993 Artículo 85

Tabla 38. Criterios para la determinación de la sanción ambiental

Criterios	valor
Beneficio ilícito B	\$ 49,110,250
Factor de temporalidad α	1
Grado de afectación ambiental y/o Evaluación de riesgo i	\$654,429,737
Circunstancias agravantes y atenuantes A	0
Costos asociados Ca	\$ 1,700.000
Capacidad socioeconómica del infractor Cs	1

Por ultimo al reemplazar cada uno de los criterios el valor impuesto por una sanción ambiental corresponde a \$ 750,239,987.

$$\mathbf{Multa} = \$ 49,110,250 + [(1 * \$654,429,737) * (1 + 0) + \$1,700,000] * 1$$

$$\mathbf{Multa} = \$750,239,987$$

Los costos anuales de mantenimiento y operación del nuevo tratamiento corresponden a un total de \$ 73,298,880, los costos de la adquisición de los equipos para poner en marcha el tratamiento o de inversión corresponden a \$20,218,800. Lo que en conclusión se traduce a que llevar acabo el tratamiento de clarificación propuesto sale equivale al 12.4% del valor total de la multa.

6. CONCLUSIONES

- Con el desarrollo del diagnóstico, se identificó que debido al crecimiento de la industria de alimentos balanceados, la empresa ha ido aumentando la producción causante del crecimiento del caudal del agua de entrada a la PTAR con el consecuente incremento en carga orgánica, lo que genera que cada vez sea más ineficiente el tratamiento y se incremente la generación de lodos que también afecta la correcta operación del sistema, dada esta situación se comprueba la necesidad de implementar un sistema de clarificación previo al tratamiento microbiológico.
- Para la clarificación del agua residual se llevó a cabo la experimentación con diferentes coagulantes y floculantes donde se observó la interacción entre ellos teniendo en cuenta los porcentajes de remoción de los parámetros establecidos, eligiendo una dosificación de 1400 ppm de policloruro de aluminio con 12 ppm del floculante L1538, finalmente obteniendo un agua clarificada con turbidez de 14 FAU, sólidos suspendidos totales de 17 mg/l y una demanda química de oxígeno de 1501 mg/l.
- Se identificaron las unidades necesarias para llevar a cabo el tratamiento de clarificación, donde principalmente se requiere de un sedimentador cuyas dimensiones se acotaron de acuerdo al volumen actual de agua tratada teniendo en cuenta un porcentaje de seguridad del 15%, por otro lado, se estima la dosificación de floculante y coagulante a partir del volumen de agua utilizado en las jarras y el volumen real de agua tratada en la planta. Finalmente, se describió como debe operar el sistema de clarificación y la planta de tratamiento con la nueva unidad.
- Los costos que representan mayor impacto económico en el actual tratamiento son los relacionados a la aireación del tratamiento microbiológico debido a que se requiere de bastante energía. Con respecto al tratamiento de clarificación propuesto se estableció que anualmente se genera un costo de energía de \$1,622,880. El nuevo sistema de clarificación, requiere de nuevos equipos los cuales tienen un valor de \$20,218,800 según la cotización realizada, adicionalmente se calcula el consumo y costos anuales de los agentes químicos que equivalen a \$67,464,000, se determina el consumo de agua que equivale a un costo de \$4,212,000 último se concluye que el punto más importante de la puesta en marcha del nuevo sistema de clarificación es que se evitaran sanciones y multas impuestas por la normativa colombiana que en este caso sería de \$750,239,987.

7. RECOMENDACIONES

- Monitorear periódicamente el caudal de la planta de tratamiento de aguas residuales para evitar incorrectas dosificaciones.
- Realizar un mantenimiento general a cada una de las unidades de la PTAR antes de poner en marcha la nueva propuesta.
- Llevar un control sobre el afluente y el efluente, controlando así el comportamiento y las posibles variaciones del agua tratada.
- Evaluar el efecto que tiene el tratamiento propuesto en el sistema microbiológico, para asegurar que se esté suministrando correctamente tanto enzimas como aireación.
- Se recomienda evaluar la viabilidad de recircular el agua tratada, siendo utilizada para otros fines en la empresa, disminuyendo así el consumo de agua proveniente del acueducto.

BIBLIOGRAFÍA

ANDI. Asociación Nacional de Empresarios de Colombia-Cámara de la Industria de Alimentos Balanceados. [1]. [Consultado el febrero2017]. Disponible en: <http://www.andi.com.co/cia/Paginas/default.aspx>

AVILA AVILA,Nazly Valentina; CAMACHO,Oscar y TENJO RODRÍGUEZ,Martha Natalia. Desarrollo de una propuesta de mejoramiento a la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR de la empresa Recticar. Bogotá D.C.: fundación Universidad América, 2014.

BRAVO ROBAYO,David Andrés; HENAO OVALLE,Zulysmileth andOSORIO ROJAS,Olga. Desarrollo de una propuesta de mejora en el sistema de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de lácteos Levelma. municipio de Cajicá. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América, 2016.

CAMACHO RAMOS,John andCONTRERAS PALACIOS,Felipe. Informe de caudal promedio anual de la PTAR Albateq harinas. [0]:2016.

CARDENAS,Yolanda. Tratamiento de aguas: coagulación - floculación. En: SEDAPAL EVALUACIÓN DE PLATAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO. Abril.p. 13-25

CORTES RODRIGUEZ, Cristian , SANCHEZ MARTINEZ, Jesús Andres. control de reactivos usados en la PTAR Albateq harinas. 2016. 2

FERNANDEZ ALBA,Antonio, et al. tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. En: INFORME DE VIGILANCIA Y TECNOLOGIA. vol. 2, no. 1, p. 1

FONSECA GONZALEZ,Natalia y MARTÍNEZ ORJUELA,Mónica Rocio. Propuesta de mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de la Empresa Avícola Miluc S.A.S. Bogotá D.C: Fundación Universidad de América, 2013.

IBARRA RODRIGUEZ,Paulo Geymar y BASTIDAS PANTOJA,German Dario. Estudio de factibilidad de un proceso fisicoquímico para la remoción de carga orgánica, color y turbidez en aguas residuales de una central de sacrificio. Manizales.: Universidad Nacional De Colombia, 2004.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Sexta actualización. Bogotá: El Instituto, 2008, p.1

_____. Referencias bibliográficas, contenido, forma y estructura. NTC 5613. Bogotá: El Instituto, 2008, p.1 – 2.

_____. Referencias documentales para fuentes de informaciones electrónicas. NTC 4490. Bogotá: El Instituto, 1998, p.2.

MASCARÓS VICEDO,JAVIER. Estudio de la eliminación físico-química de la turbidez en una agua residual de una industria cárnica. Metcalf & Eddy. Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. tercera ed. España: McGraw-Hill, 1995. 504 p. ISBN 844811727-1 (vol 1)

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. RESOLUCION 0631. BOGOTA.,2015.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. DECRETO 3100 DE 2003. 2003. p. Artículo 4

MUÑOZ MUÑOZ,Deyanira. para una población menor 2000 habitantes. En: REVISTA UNIVERSIDAD DEL CAUCA.

Pollo Andino. Pollo Andino. [Consultado en febrero2017]. Disponible en: <http://www.polloandino.com/processes>

Pollo Olympico. [[Consultado en febrero 2017]. Disponible en: <http://www.polloolympico.com/nuevo/nosotros.php>

ROMERO ROJAS,Jairo Alberto. Purificación del agua. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2006. ISBN 9588060664

SALDAÑA RODRIGUEZ,Diego. Procesamiento de la carne de pollo. En: AVETECNIA MANEJO DE LAS AVES DOMÉSTICAS MÁS COMUNES. vol. 1, p. 13

VILLALOBOS NAVARRO,María Magdalena. Remoción de aceite emulsificado en aguas residuales de refinerías Introducción mediante su desestabilización y flotación con aire disuelto. Mexico.: 2010.

Wiki. Ingeniería de aguas residuales. España: Wiki, 2007.

ZARATE YEPES, Carlos Alberto et al. Metodología para el cálculo de multas por infracción a la normativa ambiental: Manual conceptual y procedimental.

ANEXOS

ANEXO A
BALANCE HÍDRICO

BALANCE EN LA UNIDAD DE EVAPORACIÓN DE AGUA EN EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE HARINA DE VÍSCERAS CON MENUDENCIAS

Balance global

$$m_1 = m_2 + m_3$$

Balance parcial

$$m_1 * (1 - \%humedad_1) = m_2 * (1 - \%humedad_2)$$

$$m_2 = \frac{71.7 * (1 - 0.73)}{(1 - 0.04)} = 20.2 \text{ Ton/Día}$$

$$m_3 = 71.7 - 20.2 = 51.5 \text{ Ton/Día}$$

BALANCE EN LA UNIDAD DE COAGULACIÓN Y DECANTER EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE HARINA DE SANGRE

Balance global centrifuga

$$m_4 + m_5 = m_6$$

$$m_6 = 5.3 + 26.6 = 32 \text{ Ton/Día}$$

Balance parcial

$$m_4 * \%humedad_4 + m_5 = m_6 * \%humedad_6$$

$$\%humedad_6 = \frac{26.6 * 0.88 + 5.3}{32} = 90\%$$

Balance decanter

$$m_6 = m_7 + m_8$$

Balance parcial

$$m_6 * (1 - \%humedad_6) = m_7 * (1 - \%humedad_7)$$

$$m_7 = \frac{32 * (1 - 0.9)}{1 - 0.65} = 9.1 \text{ Ton/Día}$$

$$m_8 = \text{suero} = 32 - 9.1 = 22.8 \text{ Ton/Día}$$

**BALANCE POR UN BACHE DE PLUMA EN LA UNIDAD DE MEZCLA PLUMA
SUERO Y EN EL SECADO DE LA PLUMA**

Balance global p+s/Bache

$$m_{10} + m_9 = m_{11}$$

$$m_{11} = 3.7 + 1.8 = 5.5 \text{ Ton/bache}$$

Balance parcial

$$m_{10} * \%humedad_{10} + m_9 * \%humedad_9 = m_{11} * \%humedad_{11}$$

$$\%humedad_{11} = \frac{3.7 * 0.75 + 1.8 * 0.985}{5.5} = 83\%$$

Balance secado

$$m_{11} = m_{13} + m_{12}$$

Balance parcial

$$m_{11} * (1 - \%humedad_{11}) = m_{12} * (1 - \%humedad_{12})$$

$$m_{12} = \frac{5.5 * (1 - 0.83)}{1 - 0.4} = 1.5 \frac{\text{Ton}}{\text{bache}} * 13.7 \frac{\text{bache}}{\text{día}}$$

$$= 21.3 \text{Ton/Día}$$

$$m_{13} = 5.5 - 1.5 = 4 \frac{\text{Ton}}{\text{bache}} * 13.7 \frac{\text{bache}}{\text{día}} = 54.3 \text{Ton/día}$$

BALANCE DE LODOS

Balance global

$$m_{14} = m_{16} + m_{15}$$

Balance parcial

$$m_{14} * (1 - \%humedad_{14}) = m_{15} * (1 - \%humedad_{15})$$

$$m_{15} = \frac{25 * (1 - 0.97)}{(1 - 0.84)} = 4.77 \text{Ton/Día}$$

$$m_{16} = 25 - 4.687 = 20.3 \text{Ton/Día}$$

ANEXO B
TOMA DE CAUDAL Y pH

Caudal y pH tomado el 15 de septiembre

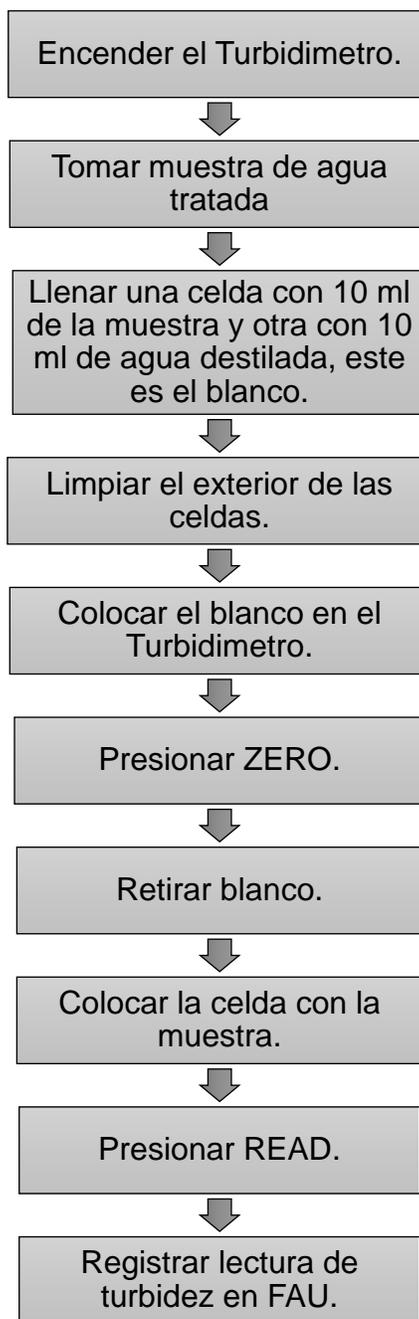
Hora	Caudal (m³/h)	pH	Hora	Caudal (m³/h)	pH
7:00	5.18	9	11:15	5.79	9.3
7:15	5.18	9.05	11:30	5.79	9.2
7:30	5.19	9.05	11:45	5.81	8.76
7:45	5.23	8.9	12:00	5.79	9.2
8:00	5.27	9	12:15	5.79	9.15
8:15	5.34	9.1	12:30	5.81	9.2
8:30	5.41	9.04	12:45	5.82	9.2
8:45	5.52	9.02	13:00	5.79	9.3
9:00	5.62	9.02	13:15	5.79	9
9:15	5.64	9.05	13:30	5.78	9.1
9:30	5.64	9.01	13:45	5.78	9
9:45	5.67	8.8	14:00	5.79	9.2
10:00	5.70	8.7	14:15	5.78	9.2
10:15	5.73	8.77	14:30	5.78	9.1
10:30	5.79	9.25	14:45	5.79	9.1
10:45	5.79	9.3	15:00	5.78	9
11:00	5.79	9.3			

Caudal y pH tomado el 17 de septiembre

Hora	Caudal (m³/h)	pH	Hora	Caudal (m³/h)	pH
7:00	5.21	9.02	11:15	5.79	9.15
7:15	5.23	9.05	11:30	5.79	9.2
7:30	5.22	9.05	11:45	5.79	9.2
7:45	5.25	8.9	12:00	5.82	9.2
8:00	5.27	9.04	12:15	5.81	9.3
8:15	5.30	8.77	12:30	5.82	9.2
8:30	5.35	9.25	12:45	5.85	9
8:45	5.36	9	13:00	5.86	9.2
9:00	5.43	9.1	13:15	5.79	9.15
9:15	5.50	9.01	13:30	5.79	9
9:30	5.58	8.8	13:45	5.79	9.1
9:45	5.71	8.7	14:00	5.81	9.15
10:00	5.75	9	14:15	5.82	9.2
10:15	5.79	9.1	14:30	5.82	9.2
10:30	5.79	9.2	14:45	5.81	9.1
10:45	5.79	9	15:00	5.79	9.1
11:00	5.80	9.02			

ANEXO C
MEDICIÓN DE TURBIDEZ

PASOS PARA MEDICIÓN DE TURBIDEZ



Nota: En caso de que el colorímetro no pueda medir el parámetro, se debe diluir la muestra con agua destilada y el resultado multiplicarlo de acuerdo con la dilución.

ANEXO D
ÍNDICE DE WILLCOMB

Tabla. Índice de willcomb

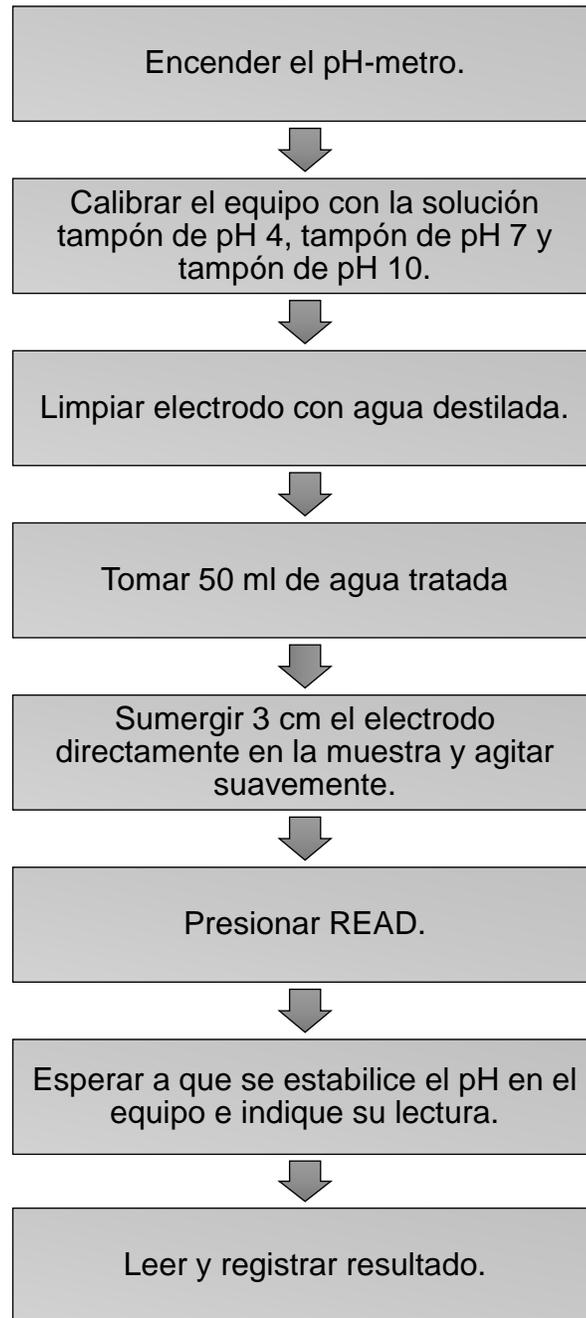
Calificación	Descripción
0	Flóculo coloidal. Ningún signo de aglutinación.
2	Visible. Flóculo muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado.
4	Disperso. Flóculo bien formado pero uniformemente distribuido. (Sedimenta muy lentamente o no sedimenta.)
6	Claro. Flóculo de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud.
8	Bueno. Flóculo que se deposita fácil pero no completamente.
10	Excelente. Flóculo que se deposita completamente, dejando el agua cristalina.

Fuente: Vargas L., Criterios para la selección de los procesos y de los parámetros óptimos de las unidades. Disponible en línea en:

<http://cdam.minam.gob.pe:8080/bitstream/123456789/109/13/CDAM0000012-12.pdf>

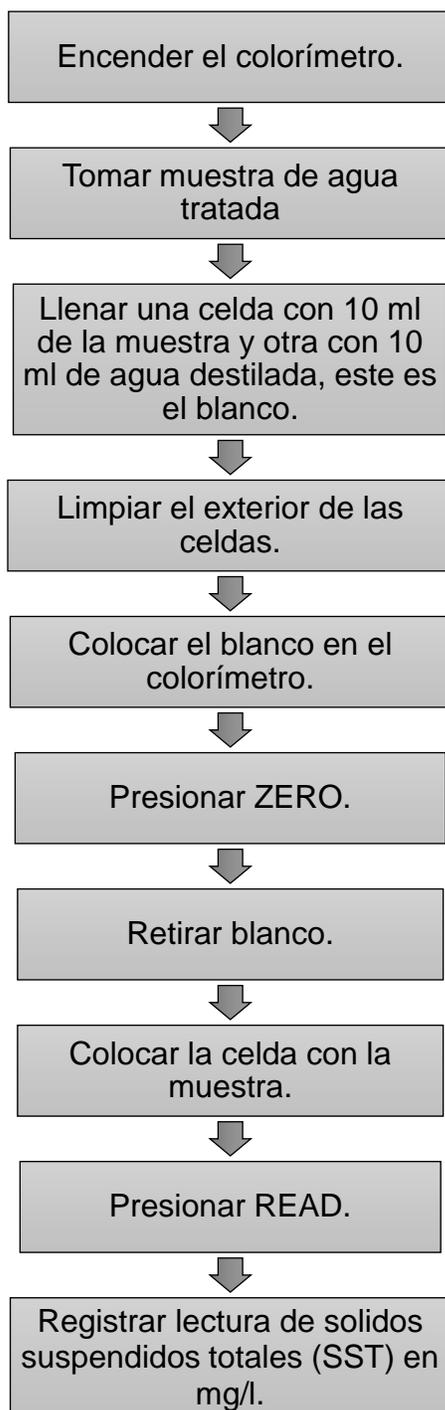
ANEXO E
MEDICIÓN DE pH

PASOS PARA MEDICIÓN DE pH



ANEXO F
MEDICIÓN DE SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

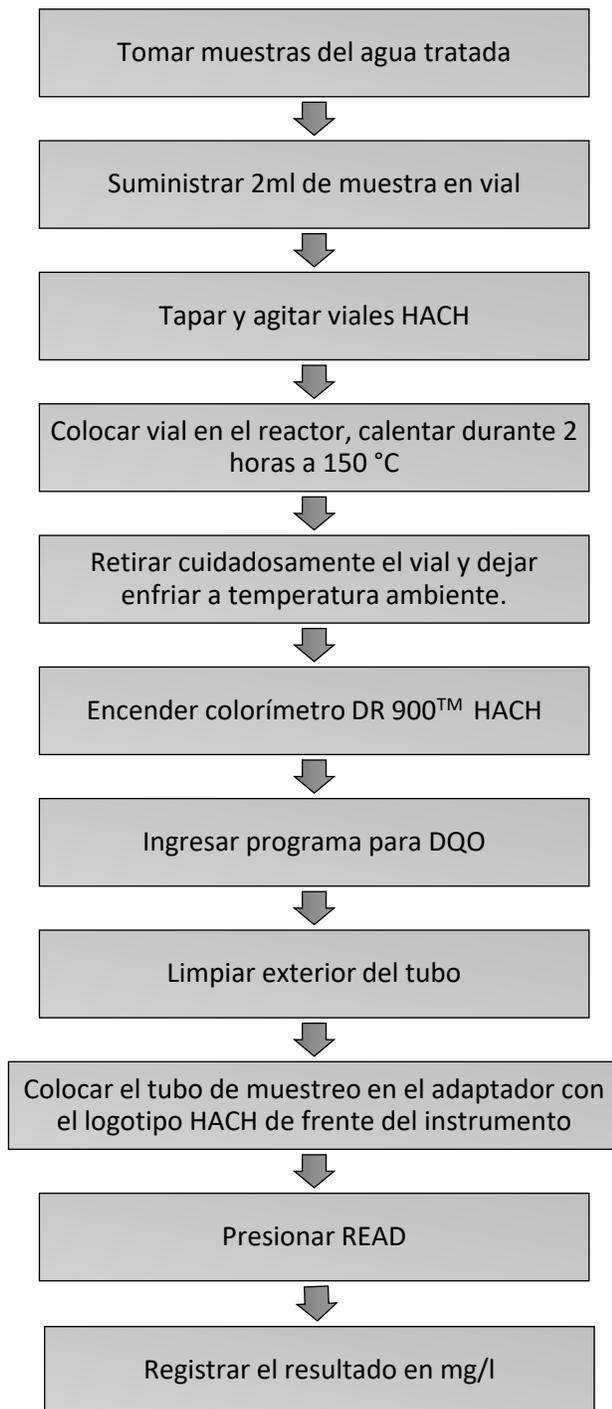
PASOS PARA LA MEDICIÓN DE SST



Nota: En caso de que el colorímetro no pueda medir el parámetro, se debe diluir la muestra con agua destilada y el resultado multiplicarlo de acuerdo con la dilución.

ANEXO G
MEDICIÓN DE DQO

PASOS PARA LA MEDICIÓN DE DQO



Nota: El rango de la prueba para DQO está limitado de 0 a 1500 ppm, por lo que, si se esperan resultados mayores a este rango, se debe diluir la muestra con agua destilada y el resultado del colorímetro multiplicarlo de acuerdo con la dilución.

ANEXO H
FICHAS TÉCNICAS DE LOS COAGULANTES



LIPESA AC005

POLICLORURO DE ALUMINIO

Aprobado para ser aplicado en agua potable

Posee un fuerte poder de coagulación.

Amplio rango de actuación en el pH (5 a 10) y de temperatura

No afecta el pH del agua tratada, permitiendo un ahorro sustancial de neutralizante

Perfectamente compatible con los tratamientos biológicos

Rápida velocidad de coagulación

Alto rendimiento en aguas con gran carga contaminante

Volumen menor de lodos y mayor compactación de los mismos

Alto poder defosfatante

Alto rendimiento en eliminación de sólidos en suspensión, DQO y DBO5

Excelente relación costo rendimiento

Usos principales

LIPESA AC005 ha sido formulado para ser utilizado en la coagulación de aguas potables, residuales municipales e industriales, permitiendo el reemplazo total o parcial del alumbre y otros coagulantes. Puede emplearse como acondicionador de lodos, mejorando el proceso de deshidratación.

Descripción general

LIPESA AC005 es una solución líquida de policloruro de aluminio con las siguientes características:

Color:	Incoloro a ámbar
Olor:	Inodoro
Gravedad específica:	1,26 - 1,33 a 25 °C
PH al 1%:	3.0- 4,5 a 25 °C
% activo:	22.5 – 23.5 % Al ₂ O ₃
Solubilidad:	100% en agua

Dosis

La dosis óptima debe ser determinada por pruebas de laboratorio y campo. Las dosis típicas son:

Clarificación de aguas: 3 - 260 ppm (0,29 -24,8 como Al)

Tratamiento de lodos 50- 2.000 ppm

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

Modo de Empleo y Alimentación

LIPESA AC005 debe alimentarse de una manera continua al proceso, cualquiera que sea su

aplicación, en un punto de buena agitación y mezcla, a través de bombas dosificadoras de plástico o cualquier otro material resistente al ácido. El producto es totalmente soluble en agua, por lo tanto, su preparación es muy sencilla.

Despacho y almacenamiento

LIPESA AC005 se despacha en tambores plásticos de 270 Kg y a granel. Puede almacenarse por seis (6) meses sin que se altere la calidad del producto.

Manejo y seguridad

LIPESA AC005 no presenta ningún riesgo en el manejo. No es tóxico. Como todo producto químico debe manejarse con cuidado. En caso de contacto con los ojos, lavar y enjuagar con abundante agua por lo menos por 15 minutos. Al contacto con la piel y ropa de trabajo, lavar con abundante agua y jabón por 5 minutos. No lo ingiera, pero si ocurre accidentalmente, inducir al vómito y llamar al médico inmediatamente.

BD 04-05

Rev. 6

SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO A

Producto obtenido generalmente por la reacción entre el ácido sulfúrico y una fuente rica en aluminio.

FORMULA: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 - 18 \text{H}_2\text{O}$.

ESPECIFICACIONES:

Al_2O_3 mínimo	17.0%
Hierro como Fe_2O_3 , máx.	0.75%
Materia insoluble, máx.	0.50%
Basicidad mínimo	0.05%

GRANULOMETRIA: Pasa 100% malla 4, Máximo 10 % retiene malla 10, Máximo 10 % pasa malla 100.

PRESENTACIÓN: Granulado, en bultos de 25 Kg. y 50 Kg.

USOS DEL PRODUCTO: Este producto es utilizado para el tratamiento de aguas potables, piscinas, en la fabricación de detergentes, en la industria petrolera y tratamiento de aguas residuales industriales.

ALMACENAMIENTO: Por ser un producto higroscópico es empacado en sacos de polipropileno con laminado interno. Debe ser almacenado en bodegas cerradas sobre estibas plásticas o de madera.

PRECAUCIONES PARA EL USO Y SEGURIDAD: Para su manipulación se requiere de equipo de protección: Máscaras para polvos, gafas protectoras y buena ventilación. No es un producto tóxico, pero puede producir leve irritación nasal, por tratarse de una sal ácida.

Cloruro ferrico



FORMULA QUÍMICA: FeCl_3
P.M:162.2

SINÓNIMOS:

Tricloruro férrico percloruro Férrico,
Cloruro de hierro. tricloruro de Hierro,
Percloruro de Hierro

DESCRIPCIÓN:

El cloruro férrico anhídrido se suministra en forma de cristales iridiscentes negro- verdoso. Esta forma es extremadamente higroscópica y se disuelve fácilmente en agua para formar soluciones hasta 45% de FeCl_3 a temperatura ambiente de 10°C . También es soluble en alcohol, glicerina, metanol y éter. No combustible, poco toxico.

VENTAJAS:

- Soluble en agua.
- Trabaja de forma eficiente en aguas con amplio rango de pH (4,0 – 11).
- Eficaz en la remoción de materia orgánica, de grasas y aceites, en aguas coloreadas con presencia de ácidos húmicos, en la remoción de hierro y manganeso.
- Elimina fosfatos, sulfuros y metales pesados presentes en las plantas de agua potable y aguas residuales, tanto municipales como industriales.

Usos:

Para tratamiento de agua potable y aguas residuales como coagulante para la clarificación del agua y en otras industrias en general.

ANEXO I
FICHAS TÉCNICAS DE LOS FLOCULANTES



LIPESA 1564

FLOCULANTE

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

Usos principales

LIPESA 1564 ha sido especialmente formulado para ser utilizado en la deshidratación mecánica de lodos provenientes de procesos de clarificación y espesamiento de efluentes Industriales, especialmente los orgánicos. LIPESA 1564 tiene también aplicación en la clarificación y espesamiento de aguas Industriales y procesos varios.

Descripción General

LIPESA 1564 es un polímero sólido, granular de "muy alto peso molecular", fuertemente catiónico, con las siguientes características:

Color:	Blanco
Olor:	Inodoro
pH a 25°C:	2,50 – 4,50 al 0,5%
Densidad:	600 - 900 Kg/m ³
Solubilidad:	0,5% máximo en agua
Viscosidad (cP):	*145,0 al 0,1 % *450,0 al 0,25 % *1150 al 0,5 %

*Valores medios Indicativos. Seleccionar los equipos de disolución sobre la base de una viscosidad 10 veces mayor (fluido no Newtoniano)

Dosis

La dosis de LIPESA 1564 varía de acuerdo al tipo de proceso y efluente tratado.

Las dosis típicas son:

- Deshidratación mecánica: 5 – 150 g/m³
- Espesamiento y clarificación: 0,05 – 30 g/m³

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

Modo de Empleo y Alimentación

LIPESA 1564 se debe alimentar de manera continua al proceso, en un punto de buena agitación y mezcla, a través de bombas dosificadoras de acero dulce o cualquier otro material. Para obtener el mejor rendimiento del producto, se debe preparar en soluciones hasta un 0,5% de concentración y alimentar luego al 0,1% de concentración como máximo.

El tiempo de preparación de las soluciones de LIPESA 1564 es de 60 minutos. Se recomienda realizarlo de la siguiente manera:

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

	ALIMENTOS BALACEADOS TEQUENDAMA S.A	FICHA TÉCNICA	Código:
			Fecha de actualización: Febrero de 2013
			Versión: 02
			Página 1 de 1

QS-934	
1 Identificación: Polímero catiónico soluble en agua	
2 PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS: sólido granular, color blanco, pH 4-9	
3 IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS	
<p>Riesgos para la salud: Este producto no presenta amenazas contra la salud humana.</p> <p>Estabilidad y reactividad: Este producto es estable, presenta incompatibilidad con agentes oxidantes, pueden causar reacciones exotérmicas.</p> <p>Número de Naciones Unidas:</p>	
4 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL: Guantes de caucho, gafas, tapabocas, overol, botas antideslizantes.	
5 MEDIDA CONTRA INCENDIOS	
Si se presenta incendio apagar con agua, espuma dióxido de carbono, (CO ₂), polvo químico seco. Este producto deja las superficies húmedas y resbaladizas.	
6 PRIMEROS AUXILIOS:	
<p>Contacto con la piel: Lavar con agua y jabón como precaución.</p> <p>Contacto con los ojos: Lavar inmediatamente los ojos con abundante agua a baja presión por lo menos por 15 minutos.</p> <p>Inhalación: Trasládese a un lugar ventilado.</p> <p>Ingestión: No es considerado tóxico.</p>	
7 MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO: Evite contacto con ojos y piel. Evite formación de polvo, no respire el polvo, lavar las manos en los descansos y al final del día. Conservar seco en un lugar fresco.	
8 PROCEDIMIENTOS EN CASO DE FUGA Y/O DERRAME: No enjuague con agua. Recoger con palas o aspirar el producto primero guardar en empaques especialmente para su debido desecho. Después de la limpieza enjuague con agua.	
DATOS DEL PROVEEDOR: CISPROQUIM-línea de emergencia 018000916012(1) 2886012	

“Los datos suministrados en la presente ficha técnica fueron obtenidos de las fichas técnicas y hojas de seguridad suministradas por el proveedor; los cuales no se hacen responsables por el uso inadecuado de insumo químico enunciado”



POLIMERO ANIÓNICO

LIPESA 1538

Ideal para la deshidratación mecánica de lodos inorgánicos o minerales.

Aplicable a una gran variedad de aguas y efluentes industriales.

Trabaja en un rango amplio de pH: 1.0 – 12.0

Fácilmente emulsionable en agua.

Excelente relación costo-rendimiento: Trabaja a dosis muy bajas

Usos principales

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

Descripción General

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

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

Dosis

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

Deshidratación mecánica:	10 - 150 g/m ³
Espesamiento y clarificación:	0.05 – 30 g/m ³

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

Modo de empleo y alimentación

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

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

Agregarlo lentamente al agua mientras se agita. Esto evita la formación de grumos o apelmazamiento.

Agitar suavemente durante 10 – 15 minutos

Dejar en reposo durante 5 -10 minutos.

Y finalmente, agitar por 15 – 20 minutos

Despacho y almacenamiento

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

Manejo y Seguridad

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

RM – 08/07

Rev. 0



LIPESA 1587A

POLIMERO CATIONICO

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

Usos principales

LIPESA 1587A ha sido especialmente formulado para ser utilizado en la deshidratación mecánica de lodos, provenientes de procesos de clarificación de agua potable e industrial y en el espesamiento de efluentes industriales, especialmente los minerales, LIPESA 1587A tiene también aplicación es espesamiento de lodos en procesos como el papelerero, azucarero, lodos de perforación, etc.

Descripción General

LIPESA 1587A es un polímero de "muy alto peso molecular", fuertemente catiónico, con las siguientes características:

Forma:	Sólido
Color:	Blanco
Olor:	Inodoro
Densidad:	680 Kg/m³ aprox.
Solubilidad:	5.0 g/l máx. en agua.
Viscosidad:	900 cPs aprox. a 5.0g/l
	380 cPs aprox. a 2.5 g/l
	150 cPs aprox. a 1.0g/l

Dosis

Las dosis de LIPESA 1587A varía de acuerdo al tipo de proceso y efluente tratado. Las dosis típicas son:

- Deshidratación mecánica: 10-800 g/m³
- Espesamiento y clarificación: 0.1 – 300 g/m³

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

Modo de empleo y alimentación

LIPESA 1587A se debe alimentar de manera continua al proceso, en un punto de buena agitación y mezcla, utilizando bombas de dosificación de acero dulce o cualquier otro material. Para obtener el mejor rendimiento del producto, se debe preparar en soluciones hasta un 0.5% de concentración y alimentar luego al 0.1% de concentración como máximo.

El tiempo de preparación de las soluciones de LIPESA 1587A es de aproximadamente 40 minutos. Se recomienda realizarlo de la siguiente manera:

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

ANEXO J
DIMENSIONES DE LOS EQUIPOS

DIMENSIONES DEL SEDIMENTADOR

Las dimensiones del sedimentador vienen determinadas por los supuestos del capítulo 4 y las ecuaciones presentadas a continuación.

$$v_{sed} = \frac{\pi D^2 H_{con}}{12} + \frac{\pi D^2 H_{cil}}{4}$$

$$v_{con} = v_{sed} * 0.2$$

$$v_{cil} = v_{sed} * 0.8$$

$$\frac{H_{total}}{D} = 1.5$$

Las ecuaciones presentadas se introducen en una hoja de Excel obteniendo como resultado las dimensiones del clarificador tal como se muestra en la siguiente imagen.

The image shows an Excel spreadsheet with the following data:

	A	B
1		
2	volumen sedimentador (m3)	6.7
3	Hcono (m)	1.284
4	Hcilindro (m)	1.712
5	Diametro (m)	1.997
6	Htotal (m)	2.995
7	volumen cono (m ³)	1.340
8	Volumen cilindro (m3)	5.360
9	volcono+volcilindro	6.7
10	relacion H/D	1.5
11	funcion objetivo	-9.53E-09
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		

The Solver Results dialog box is open, showing the following options:

- Conservar solución de Solver
- Restaurar valores originales
- Volver al cuadro de diálogo de parámetros de Solver
- Informes de esquema

The dialog box also includes buttons for "Aceptar", "Cancelar", and "Guardar escenario...". A message at the bottom states: "Solver encontró una solución. Se cumplen todas las restricciones y condiciones óptimas. Al usar el motor GRG, Solver ha encontrado al menos una solución óptima local. Al usar Simplex LP, significa que Solver ha encontrado una solución óptima global."

ANEXO K
COTIZACIONES DE REACTIVOS Y EQUIPOS

COTIZACIÓN REACTIVOS



Tocancipa., 18 Noviembre de 2016

Señora
María Camila De La Torre Díaz
Bogotá

Ref.: COTIZACION PRODUCTOS LIPESA

Cordial Saludo.

Lipesa Colombia S.A en sus 30 años de operación ha enfocado su esfuerzo continuo hacia el desarrollo de los tratamientos y programas químicos preventivos. La satisfacción del cliente mediante la identificación y solución de las necesidades propias de cada industria.

Por esta razón, agradecemos la invitación que nos hacen para cotizar a usted nuestros productos

1. LISTA DE PRECIOS Y PRESENTACIONES

PRODUCTO	FUNCION	PRESENTACION	\$/Kg
L-AC005	Coagulante liquido	Caneca x 70 kg	\$3,650
L-1538	Polímero Anionico	Sacos x25Kg	\$17,500

Carretera central Bogotá- Tunja Frente a Bavaria, TOCANCIPA-COLOMBIA
Tel:8786600 Fax 8786600 EXT 119 Celular:321343 7535
Web site: www.lipesa.com
NIT 830035263-2



2. CONDICIONES COMERCIALES

- Los precios tienen vigencia 60 días apartir de la fecha.
- A los precios deberá sumarse el IVA a la fecha de facturación.
- Los productos serán entregados CINCO (5) días hábiles antes de recibir su compra o pedido.
- El sitio de entrega de los productos sera en sus instalaciones.
- Las cantidades a solicitar deben ser en las presentaciones equivalentes de Lipesa.
- Los productos son despachados con su respectivo certificado de calidad.

Esperamos que el contenido de este documento satisfaga sus necesidades, no dude en contactarse ante cualquier duda o inquietud.

acta de verificación	MARCAR CON (X)	
	CUMPLE	NO CUMPLE
Nombre del cliente	X	
Fecha de la propuesta	X	X
Diagrama de flujo (si aplica)		X
Caracterización de los equipos del proceso		X
Caracterización de variables Físico-Químicas		X
Evaluación de laboratorio (si aplica)		X
Evaluación en planta (si aplica)		X
Producto y dosis sugerida	X	
Servicio técnico y equipos ofertados		X
Precios del producto	X	
Sitio de entrega	X	
Vigencia de la propuesta	X	

Carretera central Bogotá- Tunja Frente a Bavaria, TOCANCIPA-COLOMBIA
 Tel:8786600 Fax 8786600 EXT 119 Celular:321343 7535
 Web site: www.lipesa.com
 Nit 830035263-2

COTIZACIÓN EQUIPOS



GESTIÓN INTEGRAL EN MANTENIMIENTO LTDA.

Bogotá, Noviembre 24 de 2016

Ref.: Cotización 280-2016

Señores:
CAMILA DE LA TORRE DIAZ
 La ciudad.

Respetado Ingeniero:

De acuerdo a su solicitud y según lo acordado presento oferta de nuestros productos:

PRODUCTO	CANT.	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
<p>BOMBA TEKNA EVO AKS</p> <p>Bomba dosificadora para productos químicos, marca SEKO, de fabricación europea, serie TEKNA EVO, análoga con perilla de regulación manual de la frecuencia de dosificación (0 a 20% ó 0 a 100%, seleccionable mediante tecla), tipo diafragma, cuerpo en polipropileno, cabezal y válvulas en PVDF, diafragma en PTFE, esferas cheque cerámicas, asientos en EPDM ó FPM, con válvula de cebado manual. Grado de protección IP65</p> <p>Alimentación eléctrica: 100 a 240 VAC @ 60Hz monofásica. Accesorios incluidos para su instalación: soporte para fijación a pared, filtro de pie, válvula de inyección, manguera de aspiración en PVC y manguera de descarga en polietileno.</p> <p>► Modelo AKS 803 NHP. Caudal máximo: 54 l/min; presión de descarga 1 bar (14 PSI) Caudal máximo: : 20 l/min presión de descarga 5 bar (72 PSI) Consumo: 22,2 W. Frecuencia máxima: 300 impulsos/minuto.</p>	 2	\$ 1.550.000	\$ 3.100.000
<p>TANQUE DE PREPARACIÓN DE ADITIVOS</p> <p>Volumen: 2000litros Material: PRFV</p>	2	\$ 650.000	\$ 1.300.000
<p>AGITADOR MECANICO VERTICAL</p> <p>Tipo de montaje: Vertical Central</p>			

Cll 90 Nro 12- 28 Chicó, Teléfono: 6381061- Bodega 5634568 Móvil: 3103334632-3203047406

E-mail: gerencia@gimltda.com, ingenieria@gimltda.com, ventas@gimltda.com

WEBSITE: [http:// www.gimltda.com](http://www.gimltda.com)



GESTIÓN INTEGRAL EN MANTENIMIENTO LTDA.

<p>Para tanques de 20 – 300 m3. Motores de 0,18 kW a 1,5 kW. Velocidad: 20 a1500 rpm. Hélice marina tripala de diámetros entre 128 y 200 mm. Diámetro de eje 20 mm, longitud máxima 15000 mm. Eje y hélice en AISI 316, o revestido de polietileno. Brida con 2 opciones de montaje, círculo de taladros Ø 110 y 130 mm. (soporte y anclaje independiente, se cotizará como un adicional de ser requerido)</p>	<p>3</p> 	<p>\$ 1.500.000</p>	<p>\$ 4.500.000</p>
<p>SEDIMENTADOR CÓNICO (SEGUN ESEPCIFICACIONES) Volumen total 8.4 m³ Altura 3.2 m Diámetro 2.1 m Sección cónica 1.7 m³ Sección cilíndrica 6.7 m³ MATERIAL: PRFV Base: 4 patas de acero redondas, accesorios de entrada, descarga de lodos y salida. No incluye accesorios internos</p>	<p>1</p>	<p>\$ 8.500.000</p>	<p>\$ 8.500.000</p>
<p>Recolector de lodos 20 litros</p>	<p>1</p>	<p>\$ 30.000</p>	<p>\$ 30.000</p>
<p>SUBTOTAL</p>			<p>\$17.430.000</p>
<p>IVA</p>			<p>\$ 2.788.800</p>
<p>TOTAL</p>			<p>\$20.218.800</p>

OBSERVACIONES:

Las descargas de las bombas están basadas para agua a 20°C. Para fluidos de diferente densidad y/o viscosidad la descarga variará por lo que se debe realizar los aforos correspondientes.

CONDICIONES COMERCIALES

TIEMPO DE ENTREGA: 4 a 5 semanas.

LUGAR DE ENTREGA: BOGOTA, Oficinas de GIM LTDA. Transferencia Bancolombia o giro pagatodo, efecty o SIN, a nivel nacional.

Cll 90 Nro 12- 28 Chicó, Teléfono: 6381061- Bodega 5634568 Móvil: 3103334632-3203047406

E-mail: gerencia@gimltda.com, ingenieria@gimltda.com, ventas@gimltda.com

WEBSITE: [http:// www.gimltda.com](http://www.gimltda.com)



GESTIÓN INTEGRAL EN MANTENIMIENTO LTDA.

Consignación nacional favor adicional el valor de la comisión bancaria \$11.000.

FORMA DE PAGO:

Contado anticipado 50% Y 50% restante para proceder al despacho de la mercancía, consignación bancaria o transferencia electrónica

Cuenta corriente Bancolombia Nro. 108 342 768-95.

ENVIOS:

Para envíos fuera de Bogotá el valor del envío será asumido por cuenta del comprador, este valor se puede cancelar contraentrega. Envío por ENVIA o Servientrega

VALIDEZ DE LA OFERTA:

Treinta (30) DIAS CALENDARIO

GARANTIA:

(1) Un año.

En espera de iniciar una próspera relación comercial,

Cordialmente,

Ing. Johanna Rojas Sánchez
Gerente y representante legal

Cll 90 Nro 12- 28 Chicó, Teléfono: 6381061- Bodega 5634568 Móvil: 3103334632-3203047406

E-mail: gerencia@gimltda.com, ingenieria@gimltda.com, ventas@gimltda.com

WEBSITE: [http:// www.gimltda.com](http://www.gimltda.com)

ANEXO L
CÁLCULO DE MULTA

La multa es una sanción económica impuesta a quien infringe ante una obligación legal. Las sanciones ambientales se modelan por medio de una ecuación matemática presentada en el Artículo 4 de la resolución 2086 de 2010.

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

Donde:

B: Beneficio ilícito

α : Facto de temporalidad

i: Grado de afectación ambiental y/o Evaluación de riesgo

A: Circunstancias agravantes y atenuantes

Ca: Costos asociados

Cs: Capacidad socioeconómica del infractor

El beneficio ilícito (B): viene determinado por los términos (Y) y (P), donde (Y) representa la sumatoria de costos directos (Y_1), costos evitados (Y_2) y ahorro retrasado (Y_3), y (P) representa la capacidad de detección de la conducta de infractor por la autoría ambiental.

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

Para el tratamiento de aguas solo se tiene en cuenta los costos evitados es decir (Y_2), variable determinada por los costos anuales de operación (C_E) y la tarifa única de sobre la renta gravable (T), que según la ley 633 de 2000 corresponde al 33%. Obteniendo de esta manera un costo evitado de \$177,003,494.

$$y_2 = C_E * (1 - 0.33)$$

$$y_2 = \$ 73,298,880 * (1 - 0.33) = \$49,110,250$$

La capacidad de detección de la conducta del infractor por la autoría ambiental de la inversión (p) viene determinada por 3 niveles, bajo ($P=0.4$), medio ($P=0.45$) y alto ($P=0.5$). Albateq tiene una capacidad de detección alta (0.5) debido a que se encuentra en un sector que dispone de diversos cuerpos de agua los cuales son protegidos por las entidades reguladoras.

El beneficio ilícito para Albateq es:

$$B = \frac{\$49,110,250 * (1 - 0.5)}{0.5} = \$49,110,250$$

El grado de afectación ambiental (i): Es la medida que cualifica el impacto a partir del nivel de incidencia de alteración producida, se calcula estimando la importancia de la afectación (I) teniendo en cuenta los atributos y calificación dada en el siguiente cuadro.

Atributos y calificación

Atributo	Definición	Calificación
Intensidad (IN)	Define el grado de incidencia de la acción sobre el bien de protección.	8
Extensión (EX)	Se refiere al área de influencia del impacto en relación con el entorno	4
Persistencia (PE)	Se refiere al tiempo que permanece el efecto desde su aparición y hasta que el bien de protección retorne a las condiciones previas a la acción.	4
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.	3
Recuperabilidad (MC)	Capacidad de recuperación del bien de protección por medio de la implementación de medidas de gestión ambiental	3

Fuente. ZARATE YEPES, Carlos Alberto, et al. Metodología para el cálculo de multas por infracción a la normativa ambiental: Manual conceptual y procedimental.

La importancia de la afectación se determina con la siguiente ecuación, obteniendo un valor de 42 lo que indica que la importancia es severa.

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

$$I = (3 * 8) + (2 * 4) + 4 + 3 + 3$$

$$I = 42$$

Una vez determinada la importancia de la afectación, se procede a su conversión en unidades monetarias, mediante la siguiente ecuación.

$$i = 22.06 * SMMLV * I$$

$$i = 22.06 * \$689,454 * 42$$

$$i = \$654,429,737$$

El factor de temporalidad (α): es aquel que considera el tiempo de duración de la fracción ambiental identificando si es instantánea o continua en el tiempo. No se puede determinar el inicio y la finalización de la infracción de la empresa por tanto se asume como instantánea. La ecuación que permite el cálculo del factor (α) viene en función de los días de infracción es decir: Dando como resultado 1.

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

$$\alpha = \frac{3}{364} * 1 + (1 - \frac{3}{364}) = 1$$

Circunstancias agravantes y atenuantes (A): estas son las que están asociadas al comportamiento de quien comete la infracción y al grado de afectación al medio ambiente. Según el manual Metodología para el cálculo de multas por infracción a la normativa ambiental expone las tablas presentadas en el Artículo 9 de la Resolución 2086 de 2010 la calificación se hizo de la siguiente manera, obteniendo un factor A igual a 0.

CIRCUNSTANCIAS AGRAVANTES	CALIFICACIÓN
Reincidencia. En todos los casos la autoridad deberá consultar el RUIA y cualquier otro medio que provea información sobre el comportamiento pasado del infractor.	0.2
El incumplimiento total o parcial de las medidas preventivas	0.2
TOTAL	0.4
CIRCUNSTANCIAS ATENUANTES	CALIFICACIÓN
Resarcir o mitigar por iniciativa propia el daño, compensar o corregir el perjuicio causado antes de iniciarse el procedimiento sancionatorio ambiental, siempre que con dichas acciones no se genere un daño mayor.	-0.4
TOTAL	-0.4
A	0

Fuente. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2086 Bogotá, 2010 Artículo 9

Costos asociados (Ca): Son aquellos pagos cuya responsabilidad tiene el infractor ante la autoridad ambiental durante el proceso sancionatorio, es decir las inspecciones para la verificación del estado de los vertimientos requieren caracterizaciones las cuales son realizadas por los distintos laboratorios aprobados por el IDEAM, estos costos son los que la empresa debe pagar en el caso de Albateq dispone en promedio de \$1,700,000.

Capacidad socioeconómica del infractor (Cs): corresponde a las condiciones de una persona natural o jurídica que permiten establecer la capacidad de asumir una sanción pecuniaria, Albateq es una empresa grande por tanto tiene una Cs igual a 1.

Determinados todos los criterios es posible calcular el valor de la multa que la empresa debería pagar por el incumplimiento con la ley establecida.

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

$$\mathbf{Multa} = \$ 49,110,250 + [(1 * \$654,429,737) * (1 + 0) + \$1,700,000] * 1$$

$$\mathbf{Multa} = 750,239,987$$

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES

Yo **María Camila De La Torre Díaz** en calidad de titular de la obra **Evaluación de la implementación de un sistema de clarificación de aguas residuales previo al tratamiento secundario en la PTAR de Albateq S.A.**, elaborada en el año **2016**, autorizo al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que me(nos) corresponde(n) y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autor manifestó conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autor establezco las siguientes condiciones de uso de mi obra de acuerdo con la **licencia Creative Commons** que se señala a continuación:

	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

	Atribución- no comercial- sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.	<input type="checkbox"/>
	Atribución – no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.	<input checked="" type="checkbox"/>
	Atribución – no comercial – compartir igual: permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.	<input type="checkbox"/>

Licencias completas: http://co.creativecommons.org/?page_id=13

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a su autor.

De igual forma como autor autorizo la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:

AUTORIZO	SI	NO
La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso	x	
La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación		x

Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicaré, en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso.	SI	NO
		x

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá, a los 8 días del mes de Marzo del año 2017.

EL AUTOR:

Autor 1

Nombres	Apellidos
María Camila	De La Torre Díaz
Documento de identificación No	Firma
1.010.220.190	<i>Camila De La Torre Diaz</i>