

DESARROLLO DE UNA PROPUESTA PARA UN SISTEMA DE TRATAMIENTO  
DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA INVERSIONES WAMU S.A.S -  
PRONTO AVES

PAULA TATIANA FERNÁNDEZ MOLINA  
LINA MARIA HERRERA ESCOBAR

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

DESARROLLO DE UNA PROPUESTA PARA UN SISTEMA DE TRATAMIENTO  
DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA INVERSIONES WAMU S.A.S -  
PRONTO AVES

PAULA TATIANA FERNÁNDEZ MOLINA  
LINA MARIA HERRERA ESCOBAR

Proyecto integral de grado para optar el título de  
INGENIERO QUÍMICO

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

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

---

Ing. Elizabeth Torres Gámez  
Presidente del jurado

---

Ing. Sandra Liliana Mesa Espitia.  
Jurado 1

---

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina.  
Jurado 2

Bogotá, D.C. Agosto 2018

## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

**Dr. JAIME POSADA DÍAZ**

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos.

**Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA**

Vicerrectora Académica y de Posgrados

**Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS**

Decano Facultad de Ingeniería

**Ing. JULIO CÉSAR FUENTES ARISMENDI**

Director Programa Ingeniería Química

**Ing. LEONARDO DE JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ**

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

En la vida de todo ser humano, a través del tiempo se presentan las oportunidades para evolucionar como persona y como profesional, en mi caso como profesional doy gracias a la Universidad de América por haberme acogido en su alma mater como estudiante a partir de enero del 2013, fecha en la que ingrese al primer periodo académico con el deseo de convertirme en profesional en la rama que había escogido “ingeniería química” a partir de ese momento empezó una comunión con el sector docente, administrativo y estudiantil, y hoy que han transcurrido 11 semestres y estoy a un paso de convertirme en la profesional que soñé al ingresar, doy gracias a estos tres estamentos que hicieron posible mi desarrollo como profesional.

A las personas que fueron mi apoyo en lo económico, emocional y espiritual (mis padres y mi hermano) que valoraron cada esfuerzo que realice para cumplir con toda la parte académica dejando de lado parte de la vida social para entregarme 100% a mis actividades

Paula Tatiana Fernández Molina

A mi familia quienes me han guiado y han sido mi apoyo constante a lo largo de mi formación como profesional. A mis padres mi orgullo quienes son lo más importante en mi vida y se han esforzado a diario para brindarme lo mejor, gracias a ellos soy la persona que soy hoy en día. A mis hermanas por su compañía, por su amor, por su apoyo y por ser mi ejemplo a seguir. A mi amiga por su dedicación y compañía a lo largo de esta etapa.

Lina María Herrera Escobar

## **AGRADECIMIENTOS**

A la empresa INVERSIONES WAMU SAS – Pronto Aves, por permitir el desarrollo de este proyecto.

A la Universidad de América por permitir el desarrollo experimental en sus instalaciones junto con el préstamo de materiales, equipos y reactivos necesarios para la ejecución.

A la ingeniera Elizabeth Torres Gámez por ser una guía constante en la elaboración del documento, por su dedicación, por su colaboración y buena actitud para la revisión del presente trabajo de grado.

A la ingeniera Diana Cuesta por su colaboración para el desarrollo de la parte experimental del trabajo de grado.

A Mónica Sanabria quien agilizo los requerimientos que se presentaron durante el desarrollo del trabajo y autorizaba el uso de las instalaciones.

A la ingeniería Claudia Sanabria funcionaria de INVERSIONES WAMU SAS – Pronto Aves por su colaboración suministrando información y ayuda en varias situaciones.

Al jefe de planta Juan Marín de la empresa INVERSIONES WAMU SAS – Pronto Aves por su constante colaboración en la toma de muestras e información suministrada del proceso

## CONTENIDO

	<b>pág.</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	25
<b>OBJETIVOS</b>	26
<b>1. MARCO TEÓRICO</b>	27
1.1 <b>GENERALIDADES DE AVÍCOLA INVERSIONES WAWU SAS - PRONTO AVES</b>	27
1.2 <b>AGUA RESIDUAL DE LA INDUSTRIA AVÍCOLA</b>	28
1.3 <b>TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES</b>	29
1.3.1 Tratamiento primario	29
1.3.2 Tratamientos secundarios	32
1.3.3 Tratamiento terciario	33
1.4 <b>DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO Y BIOQUÍMICA DE OXÍGENO</b>	34
1.5 <b>TRATAMIENTO QUÍMICO</b>	35
1.5.1 Floculación	37
1.5.2 Prueba de Jarras	40
1.6 <b>MARCO LEGAL</b>	41
<b>2. DIAGNÓSTICO AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA AVÍCOLA</b>	43
2.1 <b>PROCESO DE COMERCIALIZADORA AVÍCOLA</b>	43
2.1.1 Distribución de la Planta	45
2.1.2 Balance hídrico	49
2.1.3 Caudal máximo de agua residual industrial generada	53
2.1.4 Pre-Tratamiento de agua residual industrial generada	55
2.2 <b>CARACTERIZACIÓN AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL</b>	58
2.2.1 Sistema de muestreo	58
2.2.2 Puntos de muestreo	59
2.2.3 Resultados de los parámetros evaluados	61
<b>3. EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES</b>	63
3.1 <b>PRE – TRATAMIENTO</b>	64
3.2 <b>TRATAMIENTO PRIMARIO</b>	66
3.2.1 Oxidación	67
3.2.2 Coagulación – Floculación	69
3.2.3 Decantación	71

<b>3.3</b>	<b>EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL TRATAMIENTO PRIMARIO</b>	<b>73</b>
3.3.1	Equipos	73
3.3.2	Reactivos	75
3.3.3	Dosificación de agentes químicos	78
3.3.4	Metodología experimental	80
3.3.5	Filtración	84
<b>3.4</b>	<b>ANÁLISIS DEL TRATAMIENTO PRIMARIO</b>	<b>85</b>
<b>4.</b>	<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>	<b>87</b>
4.1	<b>REJILLAS DE RETENCIÓN</b>	<b>88</b>
4.2	<b>TRAMPAS DE GRASAS</b>	<b>89</b>
4.2.1	Rutina de mantenimiento de las trampas de grasas	90
4.3	<b>TANQUE DE ALMACENAMIENTO</b>	<b>91</b>
4.4	<b>TANQUE DE HOMOGENIZACIÓN</b>	<b>91</b>
4.5	<b>TANQUE CLARIFICADOR</b>	<b>95</b>
<b>5.</b>	<b>ESTIMACIÓN DE COSTOS</b>	<b>99</b>
5.1	<b>TRATAMIENTO FÍSICOQUÍMICO SEGÚN ALTERNATIVA</b>	<b>99</b>
5.2	<b>TANQUE DE ALMACENAMIENTO</b>	<b>100</b>
5.3	<b>TANQUE HOMOGENIZADOR Y CLARIFICADOR</b>	<b>100</b>
5.4	<b>ANÁLISIS FINANCIERO</b>	<b>100</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>102</b>
<b>7.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>103</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>104</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>106</b>

## LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Límites máximos permisibles Resolución 0631 de 17 Marzo de 2015	41
Tabla 2. Balance hídrico para el año 2017.	51
Tabla 3. Agua residual industrial VS tiempo	52
Tabla 4. Agua residual generada en las camionetas.	55
Tabla 5. Parámetros in situ del agua residual industrial	59
Tabla 6. Resultados de los parámetros evaluados.	62
Tabla 7. Comparación resultados VS normatividad	63
Tabla 8. Ventajas y desventajas de la etapa de homogenización.	66
Tabla 9. Ventajas y desventajas de la etapa de oxidación.	69
Tabla 10. Ventajas y desventajas de los desinfectantes.	71
Tabla 11. Ventajas y desventajas de la etapa de coagulación - oxidación	72
Tabla 12. Ventajas y desventajas de la etapa de decantación.	74
Tabla 13. Concentración de Reactivos usados en el Test de Jarras	82
Tabla 14. Dosificación de reactivos para el tratamiento primario	86
Tabla 15. Valores de turbidez	88
Tabla 16. Resultado tratamiento y cumplimiento normatividad.	89
Tabla 17. Costos de reactivos a utilizar en el tratamiento químico.	103

## LISTA DE GRÁFICAS

	<b>pág.</b>
Gráfica 1. Consumo de agua por bimestre para el año 2017	49
Gráfica 2. Agua residual industrial VS tiempo	52
Gráfica 3. Comportamiento del Caudal para Bodega 1.	54
Gráfica 4. Comportamiento del Caudal para Bodega 2	54

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Ubicación en el mapa.	26
Figura 2. Esquema general de tratamientos.	28
Figura 3. Diagrama de Flujo del Proceso de comercialización avícola	44
Figura 4. Distribución de Bodegas Piso 1	45
Figura 5. Distribución de Piso 2	46
Figura 6. Distribución de Piso 3	46
Figura 7. Distribución de Piso 4.	47
Figura 8. Ubicación del espacio destinado para el Sistema de Tratamiento.	48
Figura 9. Balance hídrico general de la empresa	53
Figura 10. Puntos de muestreo Bodega No 1	60
Figura 11. Puntos de muestreo Bodega No 2	61
Figura 12. Diagrama de bloques para la propuesta de pre - tratamiento.	65
Figura 13. Diagrama de bloques para la propuesta de tratamiento.	75
Figura 14. Procedimiento experimental del Test de Jarras.	84
Figura 15. Proceso del sistema de tratamiento de aguas residuales.	90
Figura 16. Diagrama de flujo del sistema de tratamiento	90
Figura 17. Rutina de mantenimiento para la remoción de material flotante.	93
Figura 18. Tanque de homogenización	98
Figura 19. Sección cónica del tanque	98
Figura 20. Tanque clarificador.	101

## LISTA DE CUADROS

	<b>pág.</b>
Cuadro 1. Resumen tratamientos primarios.	31
Cuadro 2. Equipos para experimentación.	76
Cuadro 3. Reactivos Test de Jarras	78
Cuadro 4. Experimentación Test de Jarras con Oxidación Coagulación-Floculación	85

## LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Cálculo de caudal doméstico	49
Ecuación 2. Cálculo de agua residual industrial.	50
Ecuación 3. Cálculo de caudal promedio de agua.	52
Ecuación 4. Cálculo de Caudal.	54
Ecuación 5. Cálculo de Agua residual industrial total generada.	55
Ecuación 6. Cálculo de volumen de alícuota	59
Ecuación 7. Dosificación de volumen.	82
Ecuación 8. Volumen del tanque homogenizador.	95
Ecuación 9. Volumen del cilindro.	96
Ecuación 10. Diámetro del tanque homogenizador.	96
Ecuación 11. Altura del tanque homogenizador	96
Ecuación 12. Potencia requerida	97
Ecuación 13. Longitud de la paleta del impulsor.	97
Ecuación 14. Diámetro del disco central	97
Ecuación 15. Dimensionamiento de la sección cónica.	99
Ecuación 16. Volumen (V) del cono	99
Ecuación 17. Volumen (V) total del cilindro.	99
Ecuación 18. Altura (H) del cilindro.	100
Ecuación 19. Altura total del tanque clarificador.	100
Ecuación 20. Volumen de la salida lateral	100
Ecuación 21. Altura de salida lateral.	100
Ecuación 22. Área del tanque homogenizador	104
Ecuación 23. Área de la sección cónica del clarificador.	104

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
Anexo A. Registro de consumo de agua – Marzo 2018	111
Anexo B. Control de flujo – Bodega 1 – Bodega 2	112
Anexo C. Reporte de resultados trampa de grasa 1	114
Anexo D. Reporte de resultados trampa de grasa 2	115
Anexo E. Experimentación Test de Jarras	116
Anexo F. Resultados de experimentación	118
Anexo G. Cotizaciones de productos quimicos y equipos	119

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

	<b>pág.</b>
Fotografía 1. Rejilla de retención de sólidos Bodega No. 1	56
Fotografía 2. Trampa de grasa Bodega No.1	57
Fotografía 3. Rejilla de retención de sólidos Bodega No. 2	57
Fotografía 4. Trampa de grasa Bodega No.2	58
Fotografía 5. Experimentación coagulante- floculante, agente oxidante	86
Fotografía 6. Alternativa seleccionada	87
Fotografía 7. Resultado filtración de las mejores alternativas.	87
Fotografía 8. Proceso de filtración a la mejor alternativa química.	88

## ABREVIATURAS

**DBO:** Demanda Bioquímica de Oxígeno

**DQO:** Demanda Química de Oxígeno

**V:** Volumen

**AR:** Agua residual

**g:** Gramo

**h:** Hora

**h:** Altura

**L:** Litro

**m:** Metro

**m<sup>2</sup>:** Metro cuadrado

**m<sup>3</sup>:** Metro Cubico

**mg:** Miligramo

**min:** Minuto

**ml:** Mililitro

**mm:** Milímetro

**No:** Numero

**NTU:** Unidades Nephelometricas de Turbiedad

**PAC:** Policloruro de aluminio

**pH:** Potencial de Hidrógeno

**ppm:** Partes por millón

**rpm:** Revoluciones por Minuto

**s:** Segundo

**SDT:** Sólidos Disueltos Totales

**SST:** Sólidos Suspendidos Totales

**T:** Temperatura

**VS:** Contra

## GLOSARIO

**AGUA RESIDUAL:** cualquier agua de desecho, afectada por la actividad humana.

**CAUDAL MÁXIMO:** es el flujo de agua máximo durante ciertos instantes de tiempo.

**CAUDAL MINIMO:** es el flujo de agua mínimo durante ciertos instantes de tiempo

**COAGULACIÓN:** se refiere al proceso de desestabilizar partículas disueltas en una solución, de tal forma que estas tienden a agruparse para hacerse más visibles<sup>1</sup>.

**DESPRESE:** operación en la cual se efectúa el fraccionamiento mecánico del cuerpo de un animal después de sacrificado, degollado, deshuellado, eviscerado quedando sólo la estructura ósea y la carne adherida a las misma sin extremidades<sup>2</sup>.

**EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO:** es el porcentaje de concentración que se remueve de un efluente en el tratamiento de aguas residuales para un determinado parámetro evaluado

**EFLUENTE:** líquido que sale de un proceso de tratamiento

**FLOC:** coagulo, floculo o masa floculada que es formada por la acumulación de partículas suspendidas. Puede ocurrir de forma natural, pero es usualmente inducido por la acción de un floculante.

**FLOCULANTE:** sustancia química que aglutina sólidos en suspensión provocando su precipitación<sup>3</sup>.

**pH:** expresa condiciones básicas, acidas y neutras de una solución. Es medido en escala de 0 a 14, donde 7 expresa que la sustancia es neutra. Los valores por encima de 7 indican que la sustancia es básica y los valores por debajo de 7 indican que la sustancia es acida.

**SEDIMENTACIÓN:** proceso de tratamiento de aguas residuales mediante la precipitación de a materia suspendida presente en ellas.

---

<sup>1</sup> Aguilar, M.I, Sáez, J. Llórens, M. Soler. Coagulación y floculación. Tratamiento físico- químico de aguas residuales coagulación- floculación. [ Libro en línea] [Fecha de consulta: 18 de enero de 2018]. Disponible en: [https://books.google.com.co/books?id=8vIQBXPvhAUC&printsec=frontcover&dq=coagulacion+agua&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwi27L7n5vDXAhVGUd8KHTi\\_BaUQ6AEIJjAA#v=onepage&q=coagulacion%20agua&f=false](https://books.google.com.co/books?id=8vIQBXPvhAUC&printsec=frontcover&dq=coagulacion+agua&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwi27L7n5vDXAhVGUd8KHTi_BaUQ6AEIJjAA#v=onepage&q=coagulacion%20agua&f=false)

<sup>2</sup> Ministerio de la protección social. Decreto 1500 de 2007. [En línea] [Fecha de consulta: 18 de diciembre de 2017] disponible en: [http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2007/dec\\_1500\\_2007.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2007/dec_1500_2007.pdf)

<sup>3</sup> BORRAX, X, Coagulación, floculación, desinfección. [En línea] [Fecha de consulta: 27 de noviembre de 2017]. Disponible en: <http://www.interempresas.net/Agua/Articulos/45745-Sustancias-para-el-tratamiento-de-aguas-para-el-consumo-humano.html>

**SÓLIDOS SUSPENDIDOS:** medida de los sólidos sedimentables (no disueltos) que pueden ser retenidos en un filtro. Son indeseables en las aguas de proceso porque pueden causar depósitos en las conducciones y/o equipos. Se separan por filtración y decantación<sup>4</sup>.

**TRAMPA DE GRASA:** tanque de flotación donde la grasa sale a la superficie y es retenida mientras que el agua aclarada sale por la descarga inferior.

**TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO:** conjunto de operaciones y procesos que se realizan para descomponer la estabilidad de las partículas coloidales, modificando las características físicas, químicas y biológicas del agua a tratar, para acondicionarla al reúso<sup>5</sup>.

**TURBIEDAD:** es la consecuencia y propiedad óptica de los fluidos, en el caso de los líquidos como el agua, puede ser causada por la presencia de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos tanto orgánicos como inorgánicos, en tamaños desde el coloidal hasta macroscópicas<sup>6</sup>.

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

**MUESTRA COMPUESTA:** es una mezcla de varias muestras puntuales o simples tomadas en un mismo punto del efluente de agua durante diferentes intervalos de tiempo<sup>7</sup>.

**MUESTREO COMPUESTO:** consiste en extraer porciones representativas de una masa de agua durante diferentes intervalos de tiempo con el propósito de examinar varias características<sup>8</sup>.

---

<sup>4</sup> RIGOLA, Miguel. Tratamiento de aguas industriales. [ Libro en línea] [Fecha de consulta: 19 de enero de 2018]. Disponible en: <https://books.google.com.co/books?id=fQcXUq9WFC8C&printsec=frontcover&dq=tratamiento+de+aguas+industriales+rigola&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwicm9bqrO7cAhVEWlkKHTALC2sQ6AEIJzA#v=onepage&q=tratamiento%20de%20aguas%20industriales%20rigola&f=false>

<sup>5</sup> Aguas residuales.info. Tratamiento físico - químico de aguas residuales. [En línea] [Fecha de consulta: 19 de noviembre de 2017]. Disponible en: [En línea] [Fecha de consulta: 27 de noviembre de 2017]. Disponible en: <http://www.interempresas.net/Agua/Articulos/45745-Sustancias-para-el-tratamiento-de-aguas-para-el-consumo-humano.html>

<sup>6</sup> Nihon Kasettsu. La turbidez en las aguas residuales. . [En línea] [Fecha de consulta: 4 de enero de 2018]. Disponible en: <http://nihonkasettsu.com/es/la-turbidez-en-las-aguas-residuales/>

<sup>7</sup> Agua.org. Muestra Compuesta. [En línea] [Fecha de consulta: 17 de diciembre de 2017] disponible en: <https://agua.org.mx/glosario/muestra-compuesta/>

<sup>8</sup> RAMIREZ, F. El muestreo del agua. toma y conservación de muestras. [En línea] [Fecha de consulta: 12 de agosto de 2018] disponible en: <http://www.elaguapotable.com/EI%20muestreo%20de%20los%20distintos%20tipos%20de%20agua.pdf>.

**VERTIMIENTO:** es cualquier descarga final al recurso hídrico que esté contenido en un líquido residual de cualquier origen, ya sea agrícola, minero, industrial, de servicios o aguas residuales<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> Ministerio de medio ambiente. Decreto 901 de 1997. [En línea] [Fecha de consulta: 20 de diciembre de 2017] disponible en: [http://www.corpamag.gov.co/archivos/normatividad/Decreto0901\\_19970401.htm](http://www.corpamag.gov.co/archivos/normatividad/Decreto0901_19970401.htm)

## RESUMEN

En la actualidad la empresa avícola INVERSIONES WAMU LTDA con su marca Pronto Aves se encarga de la comercialización de pollo crudo en la ciudad de Bogotá. Durante sus procesos de clasificación, congelación, troceado y transporte de los pollos se producen diferentes tipos de residuos entre ellos materia orgánica, grasas y en mayor proporción agua sangre, estos residuos necesitan de un tratamiento que permita cumplir con la normatividad en los niveles establecidos.

Como punto de partida para lograr el desarrollo de una propuesta para el sistema de tratamiento de aguas residuales se realizó un diagnóstico y posterior evaluación, por medio de los parámetros establecidos para la industria avícola que son SST, DBO, DQO, temperatura, pH, grasas y aceites, encontrando falencias en el funcionamiento del pre-tratamiento con en que cuenta actualmente la empresa e incumplimiento con la resolución 0631 del 17 de marzo de 2015.

Una vez realizada la caracterización del agua residual industrial generada en la planta, se propone una rutina de mantenimiento para las rejillas de retención de sólidos y las trampas de grasa para mejorar la eficiencia del pre-tratamiento actual, así mismo en este documento se evaluó experimentalmente a nivel laboratorio un tratamiento primario oxidación, coagulación – floculación y posteriormente una filtración simple, para la selección de los agentes químicos se tuvieron en cuenta antecedentes bibliográficos y recomendación de laboratorios, determinando los reactivos usados como Hipoclorito de Calcio, Hidroxicloruro de Aluminio, Cloruro Férrico, Sulfato de Aluminio, ASPRE-098 y Poliacrilamida, donde se escogió el Sulfato de Aluminio y ASPRE-098 como los coagulantes con resultados visualmente eficientes, así como sus respectivas dosificaciones tanto para agentes oxidante, coagulante y floculante. Después de realizar oxidación, coagulación-floculación se lleva a cabo una filtración simple mediante un embudo y papel filtro obteniendo porcentajes de remoción a partir de turbidez superiores al 90%.

Luego se evalúan los parámetros iniciales de caracterización, SST, DBO, DQO, temperatura, pH, grasas y aceites, en donde se observó un decrecimiento considerable y los valores dentro de los límites permisibles para la resolución 0631 del 17 de marzo de 2015 cumpliendo con dicho objetivo.

Finalmente, ya determinado el tratamiento primario y una vez establecidas las dosificaciones a nivel laboratorio, se realizó el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales a implementar en la empresa con su respectivo dimensionamiento de equipos y requerimientos técnicos que cumplan con el volumen promedio diario de agua residual industrial generado en la planta, además se realizó una estimación de costos que se ajustó a las necesidades de la empresa, razón por la cual se propuso acondicionar un tanque de polietileno junto con la

paleta de agitación donde se realizara oxidación, coagulación- floculación permitiendo una disminución en los costos, así mismo se tienen en cuenta costos de mantenimiento en el pre-tratamiento con el que ya cuenta la empresa y se evalúan multas y sanciones por incumplimiento de la normatividad.

**PALABRAS CLAVE:** tratamiento primario, industria avícola, parámetros fisicoquímicos, agua residual industrial.

## INTRODUCCIÓN

La empresa avícola INVERSIONES WAMU S.A.S con la marca PRONTO AVES está dedicada a la comercialización de pollo crudo en presentaciones como el producto completo con hueso, completo marinado y por partes, dentro del proceso de la empresa, el pollo luego de llegar de la planta de beneficio es pesado y clasificado por promedio de su peso a partir de 1,1 kg y hasta 1,8 kg con intervalos de 0,1 kg obteniendo 7 clasificaciones diferentes.

El Proceso de comercialización tiene cinco etapas fundamentales, que son recepción de materias primas, pesaje - clasificación, cortes o fraccionamiento (desprese), empaque y finalmente despacho, de este proceso se generan diferentes tipos de residuos entre ellos materia orgánica, grasas y como principal desecho agua residual. La cantidad de agua residual industrial generada en el proceso está entre 1.000 – 6.000 litros por día, dependiendo directamente de la producción (cantidad de aves). Por otro lado el transporte del pollo crudo a los asaderos se hace por medio de furgones que cuentan con el respectivo sistema de refrigeración, durante su recorrido se produce un proceso de descongelación natural dentro de ellos, lo que genera un residuo llamado agua-sangre que no es más que la mezcla de la sangre restante del animal y el hielo contenido en él, este residuo queda depositado en la parte inferior de las camionetas y es llevado al final del día a la empresa para ser vertidas al pre-tratamiento con el que cuenta actualmente , dicho residuo también depende de la producción y se genera entre 5 - 16 litros por día adicionales a el proceso, dicha agua residual generada tanto en la planta como en el transporte al final de la jornada presenta valores de SST, DBO, DQO, grasas y aceites que no cumplen con la normatividad de vertimientos para esta industria en la resolución 0631 del 17 de marzo del 2015 del Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.

La problemática es causada principalmente por la carga orgánica del agua residual que contiene grasas y aceites, solidos (residuos de plumas, vísceras) y sangre. Entre las consecuencias de dicha problemática se encuentra la contaminación de las fuentes hídricas de la zona de Kennedy y el incumplimiento de los parámetros establecidos en la resolución 0631 del 17 de marzo del 2015 para la industria avícola.

Para dar solución a la problemática se plantea un tratamiento primario que tenga como finalidad la reducción de los parámetros que intervienen en el agua residual de la empresa avícola INVERSIONES WAMU LTDA con su marca Pronto Aves para cumplir con la normatividad establecida ( Resolución 0631 del 2015) y disminuir contaminación en las fuentes hídricas en la zona de Kennedy.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar una propuesta para un sistema de tratamiento de aguas residuales de la empresa INVERSIONES WAMU S.A.S - Pronto Aves

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Realizar un diagnóstico para la caracterización de las aguas residuales de la industria avícola.
2. Seleccionar las opciones disponibles para el tratamiento de aguas residuales de la industria avícola.
3. Definir las especificaciones técnicas de la alternativa a implementar en la empresa.
4. Determinar los costos de la alternativa más adecuada a implementar en la empresa.

## 1. MARCO TEÓRICO

Con el objetivo de dar un panorama general al diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales en una industria avícola en este capítulo se presenta una descripción de las generalidades de la empresa, conceptos básicos de agua residual avícola y tratamientos que permiten el cumplimiento de la normatividad requeridos para el desarrollo del proyecto.

### 1.1 GENERALIDADES DE AVÍCOLA INVERSIONES WAWU SAS - PRONTO AVES

La marca Pronto Aves realiza el proceso de comercialización de pollo crudo en dos presentaciones tales como pollo crudo entero con hueso y pollo despresado por partes. Su planta se encuentra ubicada en la Carrera 68 B # 5- 53 en el barrio Nueva Marsella en la ciudad de Bogotá.

**Figura 1.** Ubicación en el mapa.



Fuente: elaboración propia.

Dentro del proceso de la empresa, el pollo luego de llegar de la planta de beneficio es pesado y clasificado por promedio de su peso a partir de 1,1 kg y hasta 1,8 kg con intervalos de 0,1 kg obteniendo 7 clasificaciones diferentes, donde el 20% se almacena para posteriormente llevar a cabo el proceso de marinado que no es más que la adición de un aditivo lo que genera un valor agregado al producto, y el 80% del pollo crudo es comercializado a los asaderos de la ciudad en dos posibles presentaciones, la primera es el pollo completo con hueso y la otra es el producto por partes obtenido a partir de la etapa de fraccionamiento.

En cada una de las etapas que involucra el proceso mencionado anteriormente de manera general se obtiene agua residual industrial que junto con la obtenida a partir

de la limpieza de bodegas, limpieza de canastillas y limpieza de furgones genera entre 1.000 L – 6.000 L de dicho residuo, que es dirigido mediante tubería al primer nivel en donde se agrupan para ser enviadas por las rejillas que permiten la retención de sólidos y posteriormente ingresar a las trampas de grasa para finalmente ser vertidas al alcantarillado.

El transporte del pollo crudo a los asaderos se hace por medio de furgones que cuentan con el adecuado sistema de refrigeración para mantener la temperatura de -4°C, durante su recorrido se produce un proceso de descongelación natural dentro de ellos, lo que genera un residuo llamado agua-sangre, este residuo queda contenido en la parte inferior de la camionetas y es adicional al proceso generando entre 5 L -16 L llevado al final del día a la empresa para pasar por el pre-tratamiento actual.

## **1.2 AGUA RESIDUAL DE LA INDUSTRIA AVÍCOLA**

En la industria avícola en sus diferentes actividades se identifican dos tipos de aguas residuales, domésticas e industriales que a continuación se analizarán.

Las aguas residuales industriales son aquellas que proceden de cualquier actividad industrial en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el recurso hídrico.<sup>10</sup> Las aguas residuales generadas en INVERSIONES WAMU SAS- PRONTO AVES provienen de selección, congelación, troceado, lavado de instalaciones, lavado de tinajas, lavado de furgones, almacenamiento y contienen altos niveles de contaminantes como sólidos suspendidos, grasas, aceites, nitrógeno y cloruros cuya presencia en el agua residual conlleva a la aparición y crecimiento de microorganismos y otras consecuencias como color, turbiedad, olor, alta carga orgánica, entre otras que pueden contaminar fuentes hídricas donde son vertidas este tipo de aguas. La composición de estas varía de acuerdo con el proceso industrial, cantidad de producción, consumo de agua por ave sacrificada, eficiencia en la recolección de sangre, subproductos y manejo de agua durante el proceso.

Las aguas residuales domésticas son aquellas procedentes de cocinas, baños y toda actividad doméstica, la empresa INVERSIONES WAMU SAS- PRONTO AVES

---

<sup>10</sup> Ambientum, El portal profesional del medio ambiente, Clasificación de aguas residuales [En línea]. ] [Fecha de consulta: 20 de diciembre de 2017]. Disponible en: [https://www.ambientum.com/revista/2002\\_22/CLSFCNG1.asp](https://www.ambientum.com/revista/2002_22/CLSFCNG1.asp)

cuenta con cocina y tres baños, uno ubicado en la parte administrativa, dos en el piso 3.

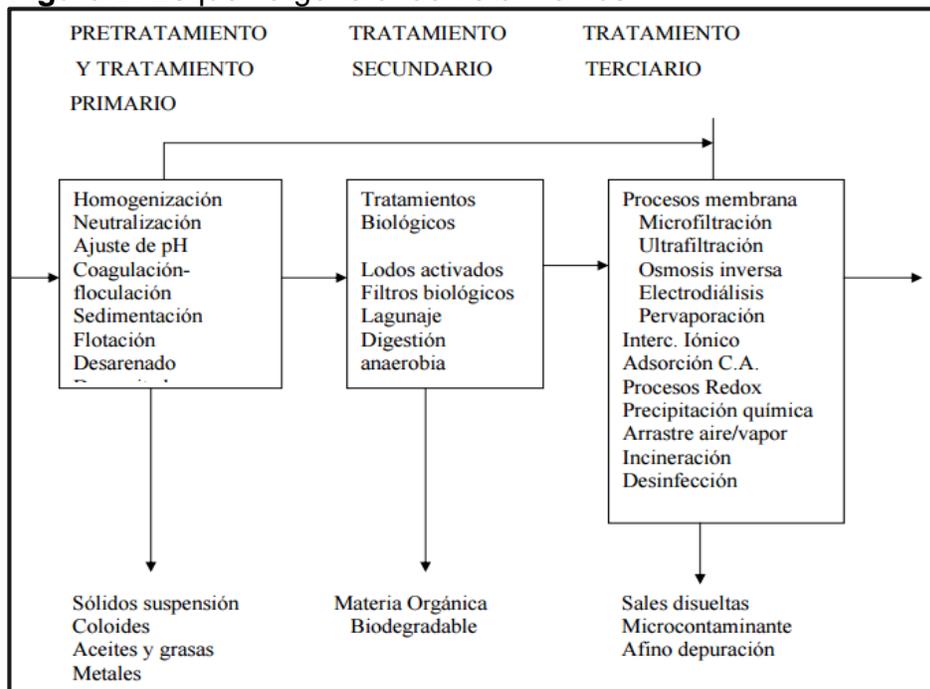
### 1.3 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

Un tratamiento de aguas residuales tiene como objetivo disminuir el nivel de contaminación, para obtener un efluente que no genere impactos ambientales negativos, cumpliendo con la normatividad ambiental para este caso con la resolución 0631 del 17 de Marzo de 2015.

En el tratamiento de las aguas residuales industriales se puede trabajar los tratamientos preliminares, primarios, secundarios y terciarios, utilizándose sólo los que sean de aplicación al proceso industrial en específico. A continuación en la figura 2 se muestra un esquema general de los tratamientos de aguas residuales.

Para la adecuada selección de procesos de tratamiento de aguas residuales se tienen en cuenta diversas referencias para determinar que procesos influyen en los diferentes tipos de industria.

**Figura 2.** Esquema general de tratamientos.



Adaptado de: Facts at Your Fingertips. Water Treatment Technologies. Scott Jenkins.

**1.3.1 Tratamiento primario.** Remueve de manera interna sólidos suspendidos y materia orgánica, en general llevado a cabo mediante la adición de productos químicos<sup>11</sup>.

➤ **Homogenización de efluentes:** con el mezclado y homogenización de los distintos efluentes generados en el proceso productivo se consigue disminuir las fluctuaciones de caudal de los diferentes vertidos, consiguiendo una única corriente de caudal y concentración más constante.

Este proceso mejora la tratabilidad del agua residual, estabiliza el pH, reduce los requerimientos de área y las cargas para un tratamiento posterior, se hace más fácil la dosificación de los reactivos y mejora la confiabilidad y rendimiento del proceso<sup>12</sup>.

➤ **Cribado:** esta etapa sirve para eliminar los sólidos de gran tamaño presentes en el agua residual. Se suelen realizar mediante rejillas, con aberturas entre 5-90mm.

➤ **Neutralización:** es la interacción de soluciones que contienen iones de hidrogeno o hidroxilo activo para formar agua y sales neutras, la neutralización se hace necesaria para prevenir la corrosión de metales, hacer más efectiva la operación de los sistemas biológicos, y para facilitar las condiciones de trabajo de las operaciones siguientes.

La neutralización puede utilizarse para los siguientes fines: ajustar el pH (5- 5,9) del efluente antes de la descarga al medio receptor, antes del tratamiento biológico (pH entre 6,5-8,5) y precipitación de metales pesados en donde intervienen diversos factores como producto de solubilidad del metal, pH óptimo de precipitación, concentración del metal y del agente precipitante. Los metales pesados se precipitan normalmente en forma de hidróxidos, utilizando cal hasta alcanzar el pH óptimo de precipitación (6-11)<sup>13</sup>.

➤ **Coagulación:** para el desarrollo de este tratamiento es necesario el uso de agentes químicos denominados coagulantes que permiten la eliminación de contaminantes formando una serie de reacciones químicas y físicas con la

---

<sup>11</sup>RIGOLA, Miguel. Tratamiento de aguas industriales. [ Libro en línea] [Fecha de consulta: 19 de enero de 2018]. Disponible en:

<https://books.google.com.co/books?id=fQcXUq9WFC8C&printsec=frontcover&dq=tratamientodde+aguas+industriales+rigola&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwicm9bqrO7cAhVEwkKHTALC2sQ6AEIJzAA#v=onepage&q=tratamiento%20de%20aguas%20industriales%20rigola&f=false>

<sup>12</sup> Aguamarket. Homogenización de aguas residuales. [ En línea] [Fecha de consulta: 19 de enero de 2018].Disponible en: <http://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=2785>

<sup>13</sup> Lapsolite. Neutralización. [ En línea] [Fecha de consulta: 19 de enero de 2018].Disponible en: <http://www.lapsolite.com.mx/productos/?pro=64&producto=Neutralizaci%C3%B3n&id=1>

superficie de partículas en el agua, su principio se basa en desestabilizar las partículas coloidales por medio de una neutralización de sus cargas eléctricas. Dentro de los principales factores que influyen la coagulación se encuentra el tipo de coagulante, la dosis, pH, turbiedad, presencia de aniones, gradiente de velocidad, tiempo<sup>14</sup>.

- **Floculación:** es el fenómeno por el cual ya las partículas desestabilizadas chocan unas con otras estableciendo puentes entre si y formando una malla tridimensional de coágulos porosos los cuales sedimentan por gravedad. La floculación se lleva a cabo a bajas velocidades y se usa un floculante que ayuda este proceso<sup>15</sup>.
- **Decantación:** se utiliza para la eliminación de materia en suspensión que lleve el agua residual, eliminación de flóculos precipitados en el proceso de coagulación, floculación o separación de contaminantes en un proceso de precipitación química.
- **Filtración:** es una operación que consiste en hacer pasar un líquido que contiene materias en suspensión a través de un medio filtrante que permite el paso del líquido, pero no el de las partículas sólidas, las cuales quedan retenidas en el medio filtrante. De este modo, las partículas que no han sedimentado en el decantador son retenidas en los filtros.
- **Separación de fases:** separación sólido-líquido: separación de sólidos en suspensión. Se suelen emplear la sedimentación, la flotación (para sólidos de baja densidad) y la filtración.  
Separación líquido-líquido: la separación de aceites y grasas es la aplicación más frecuente.
- **Oxidación:** sirven para eliminar o transformar materia orgánica y materia inorgánica oxidable. Los procesos de oxidación clásicos usan como oxidante ozono, peróxido de hidrógeno, permanganato de potasio, hipoclorito de sodio, cloro y oxígeno.

---

<sup>14</sup> ALARCON, Eliana y NEITA, Laura. Propuesta para la reutilización del agua residual tratada en una empresa de cereales en la ciudad de Bogotá. Tesis de grado. Universidad de América. Bogotá D.C.2017.1. 23 p.

<sup>15</sup> BORRAX, X, Coagulación, floculación, desinfección. [En línea] [Fecha de consulta: 27 de noviembre de 2017]. Disponible en: <http://www.interempresas.net/Agua/Articulos/45745-Sustancias-para-el-tratamiento-de-aguas-para-el-consumo-humano.html>

A continuación en el cuadro 1 se muestra un resumen de los tratamientos primarios.

**Cuadro 1.** Resumen tratamientos primarios.

Cribado	Elimina materias flotantes > 5 mm	
Homogeneización de efluentes	Neutraliza unos con otros. Caudales y concentraciones más homogéneas.	
Neutralización	Precipitar metales pesados. PH apto para tratamientos biológicos.	
Coagulación-Floculación	Elimina coloides y aglomera partículas.	
Separación de fases	Sólido-líquido: Sedimentación Flotación Filtración	Proceso de clarificación.
	Líquido-líquido: flotación	Separación de grasas y aceites.

Fuente: analiza Calidad, Centro Europeo de Empresas e Innovación. Tratamiento de aguas residuales industriales.

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

Dichos procesos biológicos pueden ser de dos tipos: aerobios y anaerobios; en general, para aguas con alta carga orgánica (industrias agroalimentarias, residuos ganaderos, etc.) se emplean sistemas anaerobios y para aguas no muy cargadas, sistemas aerobios. En la práctica pueden ser empleadas ambas técnicas de forma complementaria<sup>16</sup>.

A continuación, se explica las generalidades de los procesos biológicos.

- **Tratamientos aerobios:** los lodos activados son los más empleados junto con tratamientos de bajo costo como filtros, biodiscos, biocilindros, lechos de turba,

<sup>16</sup> Analiza Calidad, Centro Europeo de Empresas e Innovación. Tratamiento de aguas residuales industriales [en línea]. [Fecha de consulta: 27 de noviembre de 2017]. Disponible en página web <<http://www.analizacalidad.com/es/contenido/?idsec=452>>.

filtros verdes y lagunaje. En todos estos procesos la materia orgánica se descompone por acción de los microorganismos y el oxígeno presente en el aire convirtiéndose en dióxido de carbono y en especies minerales oxidadas<sup>17</sup>.

- **Tratamientos anaerobios:** la descomposición de la materia orgánica por las bacterias se realiza en ausencia de aire, utilizándose reactores cerrados; en un proceso anaerobio, la mayoría de las sustancias orgánicas se convierte en dióxido de carbono y metano. Los productos finales de la digestión anaerobia son el biogás y los lodos de digestión<sup>18</sup>.
- **Tratamientos mixtos:** en algunos casos se usan tratamientos aerobios y anaerobios, bien de forma consecutiva, alternante o produciéndose ambos a la vez.
- **Tratamientos facultativos:** son los procesos de tratamiento biológico en los que los organismos responsables de ellos son indiferentes a la presencia de oxígeno disuelto. Estos organismos se conocen como facultativos.

**1.3.3 Tratamiento terciario.** El objetivo principal de los tratamientos terciarios es la eliminación de contaminantes que perduran después de aplicar los tratamientos primario y secundario; son tratamientos específicos y costosos, que se usan cuando se requiere un efluente final de mayor calidad que la obtenida con los tratamientos convencionales. Las principales técnicas son:

- **Arrastre con vapor de agua o aire:** denominados como procesos de “stripping”, para la eliminación de compuestos orgánicos volátiles (COV), como disolventes clorados (tricloroetileno, clorobenceno, dicloroetileno, etc.) o contaminantes gaseosos (amoníaco, etc.).
- **Fotocatálisis:** en este proceso se realiza una reacción oxidativa, en donde los contaminantes son destruidos mediante el empleo de radiación solar ultravioleta y catalizadores con el fin de formar radicales hidroxilos, los cuales tendrán un efecto oxidante sobre los contaminantes químicos. En este proceso se utiliza como catalizador TiO<sub>2</sub> y la radiación ultravioleta como única fuente de energía<sup>19</sup>.

---

<sup>17</sup> Nijhuis. Remoción de material disuelto en el agua residual. [En línea] [Fecha de consulta: 27 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://www.nijhuisindustries.com/es/solutions/tratamiento-biologico-aerobico/>

<sup>18</sup> PEREZ, Andrea. Tratamiento anaerobio de las aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca. optimización de variables ambientales y operacionales [Fecha de consulta: 27 de enero de 2018]. Disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/tratamiento545.pdf>

<sup>19</sup> GARCÉS GIRALDO, Luis Fernando. La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales Revista Lasallista de Investigación, vol. 1, núm. 1, junio, 2004, pp. 83-92 Corporación Universitaria Lasallista Antioquia, Colombia.

- **Osmosis inversa:** en estos procesos el agua residual pasa a través de una membrana porosa, mediante la adición de una fuerza impulsora, consiguiendo una separación en función del tamaño de las moléculas presentes en el efluente y del tamaño de poro de la membrana.
- **Intercambio iónico:** tiene como finalidad eliminar exceso de iones inorgánicos tanto positivos como negativos por medio del intercambio con iones en una resina.
- **Oxidación Avanzada:** son procesos fisicoquímicos capaces de producir cambios profundos en la estructura química de los contaminantes. Dichos procesos se definieron como los procesos que involucran la generación y uso de especies transitorias poderosas, fundamentalmente el radical hidroxilo. Este radical puede ser generado por medios fotoquímicos (incluida la luz solar) o por otras formas de energía, y posee alta efectividad para la oxidación de materia orgánica. Algunos procesos de oxidación avanzada, como la fotocátalisis heterogénea, la radiólisis, recurren además a reductores químicos que permiten realizar transformaciones en contaminantes tóxicos poco susceptibles a la oxidación, como iones metálicos o compuestos halogenados<sup>20</sup>.

#### 1.4 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO Y BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

- **Demanda química de oxígeno (DQO):** es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar toda la materia orgánica y oxidable presente en un agua residual<sup>21</sup>. Es una medida representativa de la contaminación orgánica de un efluente siendo un parámetro a controlar dentro de las distintas normativas de vertidos y que permite dar una idea real del grado de toxicidad del vertido. Existen distintas formas de disminuir la DQO como los tratamientos físico-químicos, la electrocoagulación y el ozono. Es necesario, por tanto, controlar este parámetro para asegurar una buena calidad de vertido y a la vez cumplir con las normativas legales sin crear alteraciones medioambientales poniendo en peligro el ecosistema.
- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** se usa para medir la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable existente en un agua residual<sup>22</sup>.

---

<sup>20</sup> TERAN, Mery. Estudio de la aplicación de procesos de oxidación avanzada a aguas contaminantes. [en línea]. ] [Fecha de consulta: 12 de agosto de 2018]. Disponible en: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/88273/01\\_TFG.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/88273/01_TFG.pdf)

<sup>21</sup> Hidritec, Tecnología y Gestión de Recursos Hídricos, S.L. Tratamiento de aguas residuales y disminución de DQO [en línea]. [Fecha de consulta: 21 de enero de 2018]. Disponible en página web <<http://www.hidritec.com/hidritec/tratamiento-de-aguas-residuales-y-disminucion-de-dqo>>

<sup>22</sup> Diccionarios Oxford-complutense Ciencias de la Tierra. 2000. Editorial complutense. Página 219. DQO Y DBO [Libro en línea] [Fecha de consulta: 18 de diciembre de 2017] disponible en:

Para reducir la DBO de un vertido lo más adecuado son los procesos biológicos dentro de los cuales encontramos distintas alternativas. Suele ser necesario unos tipos de tratamientos físico-químicos para poder disminuir el contenido de materia orgánica no biodegradable que requieren los microorganismos para oxidar (estabilizar) la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias<sup>23</sup>.

- **RELACIONES ENTRE DBO Y DQO:** a partir de los parámetros DBO y DQO existe una relación que permite analizar el tipo de tratamiento que se puede llevar a cabo en el agua residual de la industria a tratar, si dicha relación es menor a 0,2 entonces los vertimientos se consideran de naturaleza inorgánica, poco biodegradables y son convenientes procesos fisicoquímicos, si esta relación tiene un valor entre 0,2 y 0,4 los vertidos se consideran biodegradables y si es mayor a 0,4 los vertidos pueden considerarse orgánicos y muy biodegradables, resultando adecuados tratamientos biológicos<sup>24</sup>.

## 1.5 TRATAMIENTO QUÍMICO

Los tratamientos químicos para aguas residuales utilizados en la industria tienen como función principal remover la mayor cantidad de sólidos presentes, turbiedad y color. La selección del tratamiento químico depende de las características que deba tener el efluente<sup>25</sup>.

### Coagulación.

Desestabilización eléctrica de algunas partículas media te la adición de sustancia químicas que son los coagulantes. Esta operación se efectúa en unidades y tanques de mezcla rápida, en los cuales el agua se somete a agitación muy intensa para formar una solución homogénea de los coagulantes con el agua en el menor tiempo posible<sup>26</sup>.

Este proceso se usa para:

- Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no se puede sedimentar rápidamente.

---

<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Bioqu%C3%ADmica+de+Ox%C3%A9geno..pdf/ca6e1594-4217-4aa3-9627-d60e5c077dfa>

<sup>23</sup> Ideam. Demanda Bioquímica de oxígeno. [En línea] [Fecha de consulta: 18 de diciembre de 2017] disponible en: <http://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?id=2785>

<sup>24</sup> Vásquez Lic, aguas residuales relación DQO Y DBO [en línea]. Asturias-España. 2011. Disponible en página web

< [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/vazquez\\_r\\_d/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/vazquez_r_d/capitulo2.pdf)>

<sup>25</sup> MARTÍNEZ, Mónica y FONSECA, Natalia. Propuesta de mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de la Empresa Avícola Miluc S.A.S. Tesis de grado. Universidad de América. Bogotá D.C.2013. 31 p.

<sup>26</sup> Ibíd. MARTÍNEZ, Mónica y FONSECA, Natalia.35p

- Remoción de color verdadero y aparente.
- Eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.
- Destrucción de algas y plancton en general.
- Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor, en algunos casos de precipitados químicos suspendidos en otros.

Para la evaluación de este proceso de coagulación es necesario tener en cuenta las características físicas y químicas del efluente, la dosis del coagulante, la concentración del coagulante, el punto de aplicación del coagulante, la intensidad y el tiempo de mezcla y el tipo de dispositivo de mezclan y no se recomienda usar otro proceso de remoción de partículas debido a sus elevados costos y difíciles de realizar.

**Teoría de la Coagulación:** las partículas que forman la turbiedad y el color de las aguas naturales, poseen cargas eléctricas que normalmente son negativas, pero como también existen cargas eléctricas positivas, se puede afirmar que el agua y las soluciones son eléctricamente neutras. Las cargas eléctricas de las partículas generan fuerzas de repulsión entre ellas, por lo cual se mantienen suspendidas y separadas en el agua. Es por esto que dichas partículas no se sedimentan<sup>27</sup>.

**Factores que influyen en la coagulación:** los factores que influyen en la coagulación se mencionan y se explican a continuación<sup>28</sup>.

- **Valencia:** la eficiencia del coagulante aumenta a medida que la valencia del ion es mayor.
- **Tamaño de las partículas:** el diámetro debe ser inferior a una. Las partículas con diámetro entre una y cinco micras, sirven como núcleos de floc, en cambio de diámetro superior a cinco micras, son demasiado grandes para ser incorporadas en el floc.
- **Temperatura:** la temperatura cambia el tiempo de formación del floc, si el agua disminuye su temperatura el tiempo de formación aumenta.

---

<sup>27</sup> ARBOLEDA, J. Teoría y práctica de la purificación del agua. [En línea] [Fecha de consulta: 08 de agosto de 2018]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/101393267/Teoria-Coagulacion-Agua>.

<sup>28</sup> CARDENAS, Yolanda. Tratamiento de Agua coagulación y floculación. . [En línea] [Fecha de consulta: 08 de agosto de 2018]. Disponible en: [http://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154](http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154)

- **Concentración de iones H+ o pH:** para cada coagulante hay por lo menos una zona de pH óptima, en la cual una buena floculación ocurre en el tiempo más corto y con la misma dosis de coagulante.
- **Alcalinidad:** la alcalinidad guarda una relación con el pH y por lo tanto el contenido de alcalinidad del agua es uno de los factores por considerar en la coagulación, ya que el pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución.

**Clases de Coagulantes.** Los coagulantes que se utilizan en la práctica para agua potable son los siguientes<sup>29</sup>.

- **Sales de Aluminio:** forman un floc ligeramente pesado. Las más conocidas son: Sulfato de Aluminio,  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ , el Sulfato de Aluminio Amoniacal y Aluminato Sódico. El Sulfato de Aluminio es el usado con mayor frecuencia dado su bajo costo y manejo relativamente sencillo.
- **Sales de Hierro:** se utiliza el Cloruro Férrico,  $FeCl_3$ , y los Sulfatos de Hierro Férrico y Ferroso,  $Fe_2(SO_4)_3$  y  $FeSO_4$ . Forman un floc más pesado y de mayor velocidad de asentamiento que las sales de aluminio.
- **Polímeros o polielectrolitos:** son compuestos complejos de alto peso molecular que se utilizan no propiamente como coagulantes sino como ayudantes de coagulación. La dosificación de estas sustancias se lleva a cabo en concentraciones muy bajas, lo cual es una gran ventaja y compensa el costo del polímero. Se usan ampliamente para el tratamiento de aguas potables debido a que produce un lodo producido con un tratamiento simple.

**1.5.1 Floculación.** Consiste en la aglomeración, mediante la agitación moderada del agua, de las partículas que se desestabilizaron durante la coagulación, formando otras de mayor tamaño y peso específico –flóculos. Los objetivos básicos de la floculación son reunir microflóculos para formar partículas con peso específico superior al del agua y compactar el floculo disminuyendo su grado de hidratación para producir baja concentración volumétrica, lo cual produce una alta eficiencia en los procesos posteriores como sedimentación y filtración<sup>30</sup>.

---

<sup>29</sup> Nihon Kasetsu. Tipos de coagulante y floculantes. [En línea] [Fecha de consulta: 08 de agosto de 2018]. Disponible en: <http://nihonkasetsu.com/es/tipos-de-coagulantes-y-floculantes/>

<sup>30</sup>.BORRAX, X, op cit [En línea]

**Tipos de floculantes.** A continuación se presentan de acuerdo a su naturaleza los floculantes<sup>31</sup>.

- **Minerales:** la Sílice activada es considerado como el mejor floculante capaz de asociarse a las sales de aluminio y es utilizada en el tratamiento de agua potable. Las ventajas de los floculantes de origen mineral son el aumento de velocidad de coagulación, empleo de dosis más reducidas de coagulante, márgenes amplios de pH para una coagulación óptima, formación de flóculos densos, eliminación del color y en cuanto a las desventajas; la preparación requiere un minucioso control para evitar que gelifique, la sobredosis puede inhibir la floculación, puede ser ineficaz para ciertos tipos de aguas y finalmente, generación de grandes volúmenes de fangos generados.
- **Orgánicos:** son macromoléculas de cadena larga y alto peso molecular, de origen natural o sintético. Los floculantes orgánicos de origen natural se obtienen a partir de productos naturales como alginatos (extractos de algas), almidones (extractos de granos vegetales) y derivados de la celulosa. Su eficacia es relativamente pequeña.
- **Sintéticos:** son macromoléculas de cadena larga, solubles en agua, conseguidas por asociación de monómeros simples sintéticos, alguno de los cuales poseen cargas eléctricas o grupos ionizables por lo que se le denominan polielectrolitos.

En la actualidad se usan una gran variedad de polielectrolitos sintéticos y se clasifican en:

- **Catiónicos:** Cargados positivamente.
- **Aniónicos:** Cargados negativamente.
- **No iónicos:** No son polielectrolitos en sentido estricto, aunque exhiben en disolución muchas de las propiedades floculantes de los anteriores.

La floculación cuenta con una serie de factores que determinan su eficiencia en el proceso de separación de la fase sólido/líquido. Dichos factores son mencionados a continuación<sup>32</sup>.

- **Dosis óptima de polímero:** para una cierta concentración de sólidos, todo polímero añadido es adsorbido sobre los mismos. El punto a partir del cual el polímero no es totalmente adsorbido corresponde a la dosis óptima, que será la cantidad máxima de polímero que puede ser

---

<sup>31</sup> ESCALANTE, Javier. Tipos de Floculantes. .[En línea] [Fecha de consulta: 08 de agosto de 2018]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/357911651/Tipos-de-Floculantes>

<sup>32</sup>. MARTÍNEZ, Mónica y FONSECA, Natalia. Op cit 46 p

adsorbido sobre el sólido para producir un sistema floculado, a condición de que ningún enlace de superficie sea roto después de la formación de los flóculos. A medida que se desarrolla la floculación la formación de flóculos, disminuye la superficie disponible, y el número de colisiones entre las partículas se hace inferior, de modo que una cierta cantidad de finos se escapa al fenómeno de floculación para dar lugar a una ligera niebla en suspensión en el líquido sobrenadante.

- **Agitación:** como se mencionó anteriormente para que sea eficiente el proceso de coagulación requiere de ciertos factores uno de estos es la adecuada agitación que se realiza en el momento de la dosificación del polímero y en el proceso de formación y engorde del floculó. La dispersión del polímero en el seno del agua exige una rápida agitación para favorecer una floculación homogénea en todos los puntos y crear un tamaño de floculó igualmente homogéneo. La agitación rápida favorece además, un mayor número de colisiones entre las partículas y las cadenas de polímeros asegurando la entre las partículas y las cadenas de polímeros asegurando la floculación total de los coágulos<sup>33</sup>.

Una vez iniciada la floculación es conveniente reducir la velocidad de agitación usada en la coagulación, esto se realiza para evitar una rotura mecánica de los flóculos.

La agitación constante permite que las partículas se acercan y forman puentes de enlace que generan a los flocs.

- **Peso molecular del polímero:** los polielectrolitos usados actualmente en la floculación cuentan con una propiedad característica que es el peso molecular, a partir de esta se puede determinar la eficiencia. Cuando se utiliza un polímero de bajo peso molecular existe una tendencia por parte de cada molécula a ser adsorbida por una única partícula. Con un polímero del mismo tipo pero de mayor peso molecular se produce un aumento en la relación óptima polímero/sólidos es decir, mayor número de moléculas pueden ser adsorbidas y utilizadas por las partículas<sup>34</sup>.

Con un aumento del peso molecular se optimiza la dosis de polímero y se incrementa la velocidad de decantación. Se incrementa la velocidad de decantación.

- **Concentración de sólidos:** la estabilidad de los flóculos crece con la densidad de los sólidos, debido al aumento de la probabilidad de unión de los fragmentos de los flóculos rotos. No obstante, para suspensiones muy concentradas, la velocidad de sedimentación es muy pequeña por la corriente ascendente del fluido desalojado, generándose un equilibrio entre ambos fenómenos.

---

<sup>33</sup>MARTÍNEZ, Mónica y FONSECA, Natalia. Op cit. 47 p

- **Superficie de los sólidos:** la dosis óptima de floculante es proporcional a la superficie específica del sólido; es decir, al aumentar de tamaño o superficie de la partícula se reduce la dosis de floculante.
- **Efecto de la temperatura:** a medida que se presenta un incremento en la temperatura la eficiencia de la floculación disminuye. Cuando hay un incremento en la temperatura del floculante la velocidad de difusión y la colisión de partículas aumenta, a diferencia de la adsorción que es menor por tratarse de una reacción exotérmica.
- **Efecto del pH:** el pH afecta a la cantidad y tipo de cargas presentes en la superficie de los sólidos, así como la cantidad de carga libre que configura el polímero en disolución.  
La efectividad de los polímeros varía en función del rango del pH así:  
Aniónicos, son más efectivos a pH entre 7 y 10.  
No iónicos son capaces de adsorber las partículas positivas y negativas, siendo, en general, muy eficaces a pH 6, si bien algunos también operan entre 6 y 10.  
Catiónicos suele actuar entre pH 4 y 8.

**1.5.2 Prueba de Jarras.** La dosificación apropiada de reactivos para la coagulación- floculación debe ser seleccionada mediante la simulación en un laboratorio a escala.

La Prueba de Jarras es la que mejor simula la operación que se pretende llevar a cabo en la planta, de manera que permite evaluar a escala y de una manera rápida la acción de clarificación y formación de floc realizando una variación de diferentes parámetros como velocidad, tiempo de agitación, dosificaciones con un compuesto o la combinación de varios compuestos<sup>35</sup>.

A continuación, se enuncian los usos de la simulación mediante la prueba de jarras.

- Evalúa y determina las variables químicas del proceso de coagulación- floculación, esto es medir el desempeño de uno o varios productos químicos y encontrar la dosificación adecuada, tanto en términos de calidad final del agua obtenida, como en términos económicos.
- Permite encontrar el punto o etapa de dosificación para el producto que se ensaya.
- Evalúa y compara el desempeño de una combinación de productos en cuanto a forma y secuencia de dosificación.
- Toma de decisiones de acuerdo a variaciones en la calidad del agua a tratar

---

<sup>35</sup> RESTREPO, María. Equipo de Jarras. [En línea] [Fecha de consulta: 08 de agosto de 2018]. Disponible en <https://es.scribd.com/doc/39353489/Manual-Jarras-y-Pruebas>

**Equipo.** Para la prueba de jarras se utiliza un dispositivo q permite trabajar simultáneamente cuatro jarras y que consiste en cuatro paletas interconectadas a un regulador de velocidad. Comercialmente se encuentran equipos capaces de operar entre 0 y 400 rpm. El agitador mecánico se encuentra instalado sobre un iluminador que sirve como soporte<sup>36</sup>.

Las jarras o vasos a usar son de 1 litro preferiblemente y en vidrio, no se recomienda vasos de capacidad inferior a la mencionada debido a la dificultad de adición en las dosificaciones de coagulante y floculante.

Debido al material de los vasos se recomienda evitar el uso de detergentes, porque cuentan con compuestos anionicos que no absorbidos por las paredes y de no ser removidos pueden afectar la muestra de manera significativa.

## 1.6 MARCO LEGAL

El *MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE* enuncia la resolución 0631 del 17 de Marzo de 2015 “*Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones*”.

La empresa INVERSIONES WAMU S.A.S con su marca registrada Pronto Aves tiene como actividad económica principal la comercialización al por mayor de carne y de acuerdo a la resolución debe cumplir con los siguientes parámetros que se muestran en la tabla 1.

---

<sup>36</sup> Ibid. RESTREPO, María. [En línea]

**Tabla 1.** Límites máximos permisibles Resolución 0631 de 17 Marzo de 2015

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Ganadería de aves de corral Beneficio</b>
pH	unidades de pH	6,00 a 9,00
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L O <sub>2</sub>	975
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO)	mg/L O <sub>2</sub>	450
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	150
Grasas y aceites	mg/L	60
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte
<b>Compuestos de Fosforo</b>	mg/L	
Ortofosfatos (P – PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	Análisis y Reporte
Fosforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte
<b>Compuestos de Nitrógeno</b>	mg/L	
Nitratos (N – NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Análisis y Reporte
Nitritos (N – NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Análisis y Reporte
Nitrógeno amoniacal (N- NH <sub>2</sub> )	mg/L	Análisis y Reporte
Nitrógeno total (N)	mg/L	Análisis y Reporte
<b>Iones</b>	mg/L	
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	250
<b>Otros parámetros para análisis y reporte</b>		
Acidez total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte
Alcalinidad total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte
Dureza cálcica	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte
Dureza total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte
Color real	m <sup>-1</sup>	Análisis y Reporte

Fuente: resolución No. 0631 del 17 de marzo 2015

## 2. DIAGNÓSTICO AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA AVÍCOLA

Se caracteriza el agua residual proveniente del proceso y que son vertidas al alcantarillado con el fin de establecer los parámetros contaminantes sobre estas, y así tomar acciones correctivas para mejorar su composición química y cumplir con la normatividad establecida.

### 2.1 PROCESO DE COMERCIALIZADORA AVÍCOLA

Para el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales de la empresa INVERSIONES WAMU LTDA - PRONTO AVES es necesario determinar las características de las etapas y los residuos que se generan durante el proceso de la comercializadora. El proceso de comercialización consta de las siguientes etapas:

**Recepción de materias primas:** los pollos crudos frescos son recibidos directamente en la plantas de beneficio Pollo Fiesta S.A y Pollo Olímpico S.A ubicados en la ciudad de Bogotá, una vez se reciben y cumplan con ciertas condiciones establecidas como temperatura, pH, y una serie de criterios de aceptación como el olor, el color, que no presente descomposición, ni presencia de hongos que afecten a la calidad del producto, que el peso de cada pollo este entre 1,1 – 1,8 kg y que el pedido corresponda al realizado, son trasladados en los furgones de la empresa INVERSIONES WAMU LTDA a la planta. El agua residual generada de esta etapa se va a adicionar al que queda contenido en el interior de los furgones al final de la jornada a causa de la descongelación natural del pollo mientras es transportado.

**Pesaje y selección de canales:** una vez descargadas las canastillas que contienen el producto en la Bodega No.2 de la planta se procede a realizar la selección por pesos que se encuentran entre 1,1 – 1,7 kg con intervalos de 0,1 kg obteniendo siete clasificaciones, dicha selección se realiza para cumplir con los requerimientos de los asaderos a quienes se comercializa. El agua generada en esta etapa se obtiene de la descongelación del pollo contenido en las canastillas y el agua potable usada para el lavado del pollo crudo que es dirigido directamente a las rejillas de retención de sólidos que hacen parte del pre-tratamiento actual con el que cuenta la empresa, así como se obtienen residuos sólidos (vísceras, plumas).

**Cortes o fraccionamiento (desprese):** según requerimiento de los clientes se realizan cortes al pollo crudo completo que ingresa a la planta, esta etapa se lleva a cabo en el Piso No. 3 debido a la ubicación de los equipos para despresar, y es transportado por un ascensor desde el Piso No.1, actualmente la empresa cuenta con dos máquinas despresadoras y una maquina marinadora. El agua residual generada en esta etapa presenta mayor contaminación con respecto a las otras

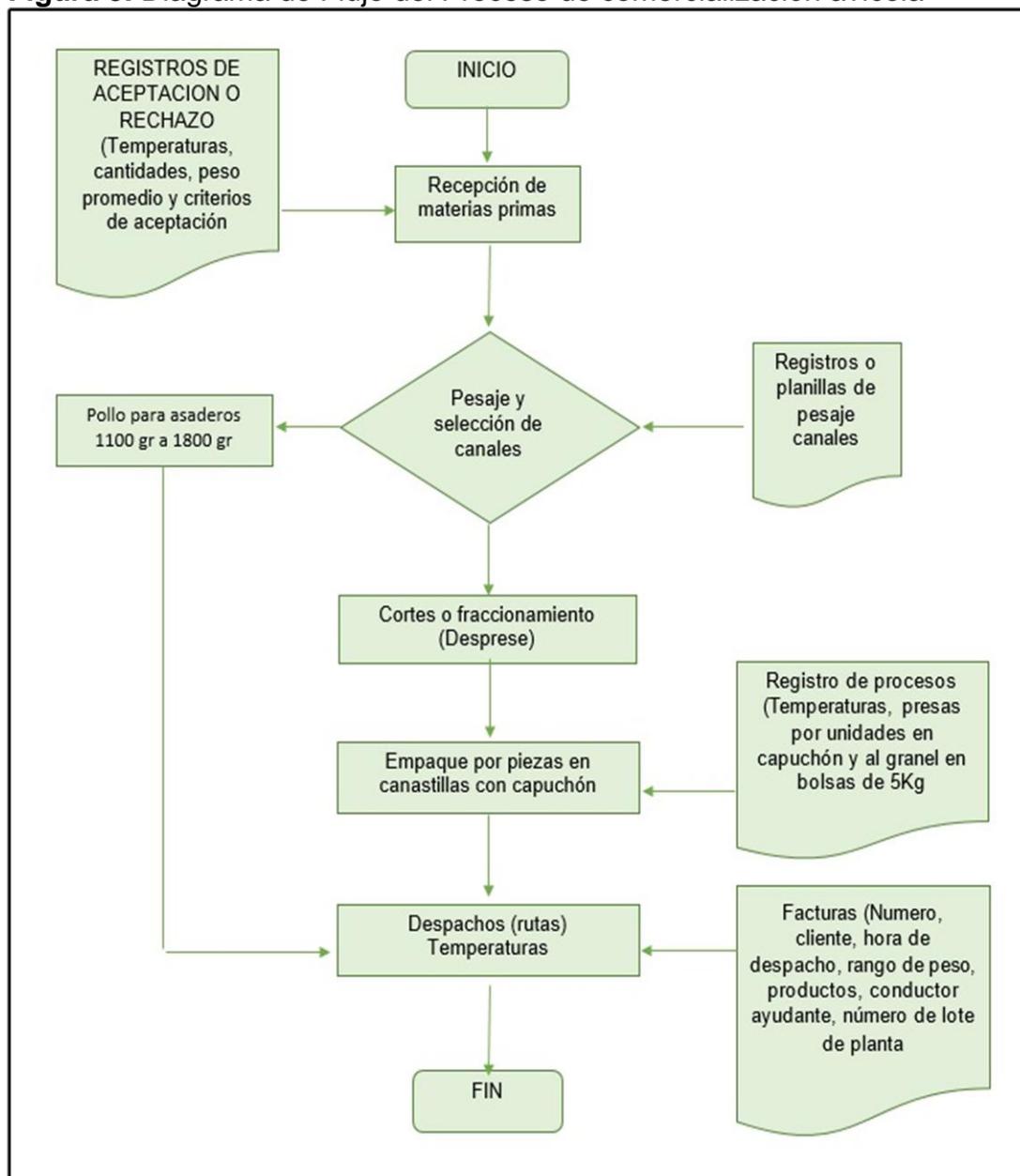
etapas del proceso debido a que los residuos tienen mayor concentración de sangre y sólidos sobrantes por los cortes realizados.

**Empaque:** el proceso de empaque se realiza manual en canastillas con capuchón requerido por higiene y debidamente marcadas por presas (pechuga, alas, muslos, piernas y vísceras (mollejas, hígado, corazón). De este proceso se genera agua residual industrial contenida en el pollo después del lavado y descongelación natural del mismo.

**Despachos:** posteriormente se organizan los pedidos estratégicamente de acuerdo a orden de entrega y zona de distribución con datos registrados como número de cliente, hora de despacho, rango de peso, productos, conductor y ayudante. Una vez cargadas las canastillas en el furgón el hielo que había sido transportado desde la planta de beneficio cubre a las canastillas lo que prolonga el tiempo de congelación del pollo mientras es transportado. De este proceso se genera agua residual industrial contenida en el pollo después del lavado y descongelación natural del mismo.

Lo mencionado anteriormente se resume en la figura 3, donde se describe por medio de un diagrama del proceso de comercialización de la empresa avícola INVERSIONES WAMU LTDA con la marca Pronto Aves.

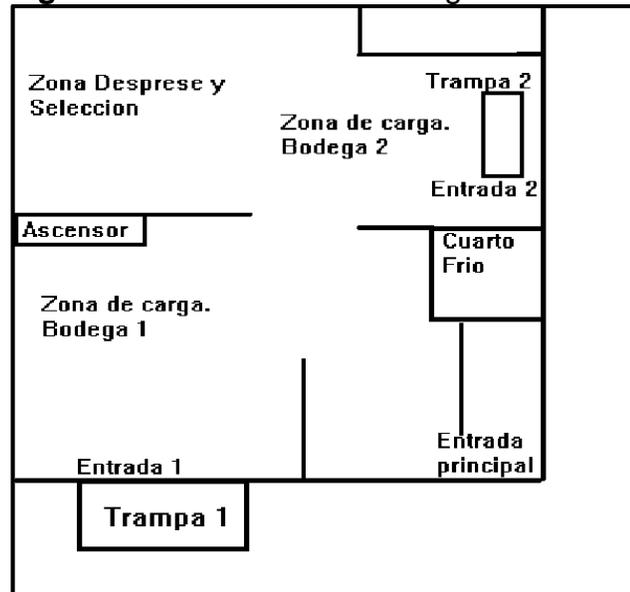
**Figura 3.** Diagrama de Flujo del Proceso de comercialización avícola



Fuente: elaboración propia.

**2.1.1 Distribución de la Planta.** La planta es una estructura de cuatro pisos distribuida para el desarrollo de las etapas del proceso y el área administrativa, el piso No.1 se encuentra dividido por dos bodegas denominadas Bodega No 1 y Bodega No. 2 que se muestran en la figura 4 y en donde se realiza el 70% del proceso de comercialización avícola.

**Figura 4. Distribución de Bodegas Piso 1**



Fuente: elaboración propia.

Como se mencionó anteriormente, en el primer piso de la empresa se encuentran las bodegas de comercialización en estas se realizan los procesos de selección y pesaje en la jornada de la mañana, el producto cuando llega de la planta de beneficio es descargado en la Bodega No. 2 para ser separado de acuerdo a su peso y posteriormente comercializarlo a asaderos y restaurantes de la ciudad, en la Bodega 1 y Bodega 2 se realiza el ingreso de las camionetas para el cargue de canastillas con el producto final y ser llevadas a su destino,

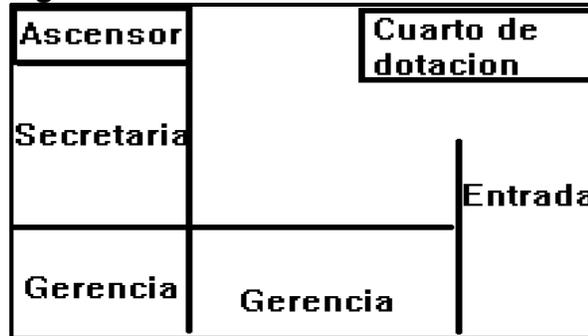
Durante estas horas de entrega de pedidos se produce el proceso de descongelación natural del producto generando residuos de agua - sangre al interior de las camionetas, al final de la jornada las camionetas regresan a la planta y se realiza la limpieza en la Bodega No. 1.

Una vez ingresan las camionetas al final de la jornada a la empresa, se realiza limpieza de estas y se procede a unificar el agua contenida al interior de los furgones y el agua residual generada en la planta por limpieza de las bodegas, incorporando así el agua residual generada adicional al proceso al pre- tratamiento actual con el que cuenta la empresa.

En el piso 2 se encuentra el área administrativa como se muestra en la figura 5 en donde se realiza la facturación, toma y despacho de pedidos, labores administrativas y financieras, entre otras.

Este espacio está distribuido entre oficinas, recepción y baños y se generan aguas residuales domésticas, por lo tanto, no intervienen en el tratamiento que se realiza a las aguas industriales de la empresa.

**Figura 5.** Distribución de Piso 2

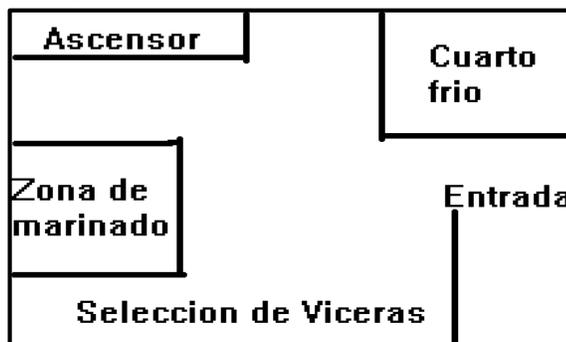


Fuente: elaboración propia

En el piso número 3 de la empresa se encuentra el área de cortes y empaque de vísceras como se muestra en la figura 6, dicho proceso genera residuos de agua-sangre con niveles elevados de contaminación por la alta concentración de sangre y sólidos sobrantes por los cortes realizados, dichos residuos son dirigidos al primer piso de la empresa por medio de tubería donde se encuentra ubicado el pre-tratamiento actual de la empresa.

Adicionalmente, se realiza el proceso de marinado que consiste en la inyección de una mezcla de salmuera que no genera residuos hídricos ya que este producto queda en estado de total congelación para posterior comercialización.

**Figura 6.** Distribución de Piso 3

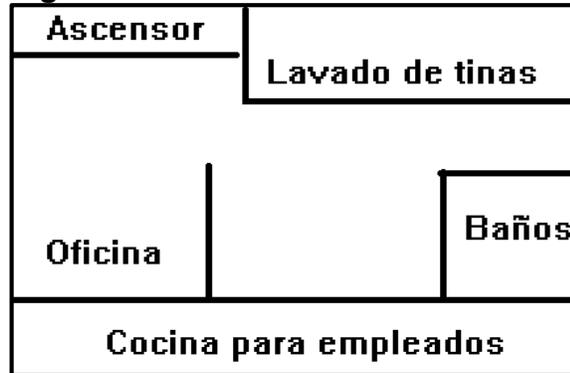


Fuente: elaboración propia.

En el piso 4 se encuentra un espacio destinado al lavado de canastillas que son desplazadas por medio de un ascensor a lo largo de la empresa, la limpieza de las canastillas genera agua- sangre residual industrial y sólidos (residuos vísceras y plumas) que son enviados a las rejillas de retención de sólidos de la Bodega No.2

del pre- tratamiento actual de la empresa, la distribución del piso 4 se muestra en la figura 7.

**Figura 7.** Distribución de Piso 4.



Fuente: elaboración propia.

El agua residual industrial generada en cada una de los pisos mencionados anteriormente, proviene de cada una de las etapas del proceso de comercialización, limpieza de bodegas, limpieza de canastillas limpieza de furgones y el residuo contenido al interior de las camionetas.

Este residuo es dirigido mediante tubería al primer nivel en donde se agrupan para ser enviadas por las rejillas que permiten la retención de sólidos y posteriormente ingresar a las trampas de grasa para finalmente ser vertidas al alcantarillado.

De acuerdo a las necesidades de la empresa se cuenta con un espacio destinado a la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales que se encuentra ubicado en el Piso 1 y se muestra en la figura 8, las dimensiones de dicho espacio son ancho 2,5 m, alto 2,7 m y longitud 8 m.

**Figura 8.** Ubicación del espacio destinado para el Sistema de Tratamiento.



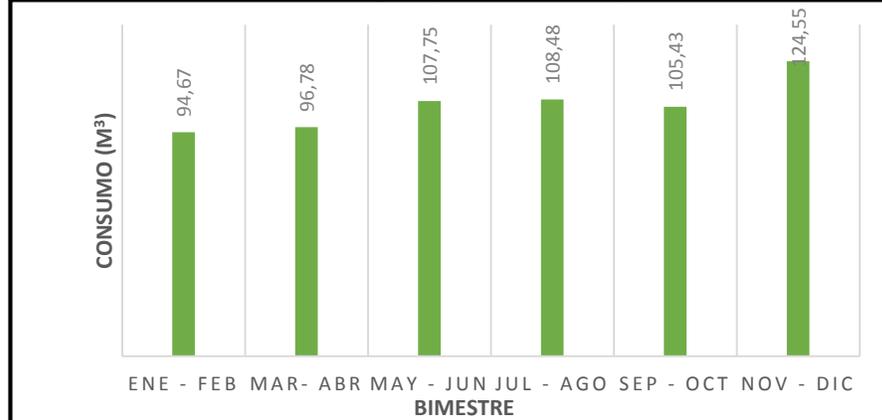
Fuente: elaboración propia

**2.1.2 Balance hídrico.** A partir de las etapas descritas en la sección 2.1 de comercialización de la industria avícola se puede apreciar que en cada una de los procesos de recepción de materia prima, pesaje, cortes o fraccionamiento, empaque, despachos, así como en la limpieza de bodegas, canastillas, furgones se produce la mayor cantidad de agua residual industrial generando entre 1.000 L a 6.000 L diarios dependiendo directamente de la producción. Es importante mencionar que el agua estudiada en este proyecto es la generada de los procesos anteriormente mencionados, así como el agua adicional al proceso que queda contenida al interior de las camionetas debido a la descongelación del hielo suministrado por las plantas de beneficio al inicio de la jornada.

El agua residual generada de uso doméstico proveniente de baños y cocina no será tratada ya que su disposición va directamente al alcantarillado.

La comercialización de pollo depende directamente de la demanda por parte de los consumidores para este caso los asaderos y restaurantes en la ciudad de Bogotá, para estimar el consumo total de agua potable usada por la empresa INVERSIONES WAMU LTDA con su marca Pronto Aves fue necesario obtener datos históricos suministrados por la empresa para el año 2017 en donde su comportamiento se muestra en la gráfica 1, y con respecto a información obtenida de número de trabajadores y días laborados se obtiene el agua residual doméstica generada, obteniendo así datos aproximados de agua residual industrial generada.

**Gráfica 1. Consumo de agua por bimestre para el año 2017**



Fuente: elaboración propia

A partir de la gráfica 1, se evidenció los periodos para el año 2017 en donde la comercialización de pollo aumenta y disminuye, esto se debe a lo mencionado anteriormente en donde el consumo de agua depende directamente de la producción, se observa que el bimestre en donde hay un mayor consumo de agua potable es el periodo de noviembre y diciembre debido a la temporada alta, alcanzando un valor de 125 m<sup>3</sup>.

### **Agua residual doméstica.**

El consumo total de agua potable por bimestres para el periodo 2017 involucra el agua de uso doméstico y el agua usada en el proceso de comercialización, por lo que es necesario diferenciar el agua doméstica usada en baños y cafetería calculada con la Ecuación 1, obtenida de la resolución 1391 de 2003 que especifica todo lo relacionado con solicitud de tramites ambientales en especial de aguas residuales industriales.

### **Ecuación 1. Cálculo de caudal doméstico**

$$Q_d = 0,17 \times \frac{\text{Total de trabajadores}}{\text{días laborados al mes}}$$

Donde:

(Qd) = Caudal de agua doméstica.

La resolución 1391 de 2003 relaciona el número de trabajadores y horas trabajadas y en donde el valor de 0,17 es un factor de retorno que implica que el agua potable que se utiliza para actividades domésticas no es el mismo que retorna al

alcantarillado, dichas perdidas se relacionan con el factor y depende de la zona donde se ubique la empresa.

En el año 2017 la empresa contaba con 24 trabajadores y los días laborados en promedio al mes fueron 26 días, una vez aplicada la ecuación 1 para dicho año el caudal domestico fue de 0,157 m<sup>3</sup>/ día.

$$Qd = 0,17 \times \frac{24}{26}$$

$$Qd = 0,157 \frac{m^3}{dia}$$

El agua consumida potable se encuentra en promedios bimestrales, por lo cual el consumo doméstico se le aplica un factor de conversión de 60 días obteniendo para el año 2017 un valor de 9,42 m<sup>3</sup>/ bimestre.

### **Agua residual industrial.**

El agua residual industrial es calculada a partir de los datos ya obtenidos de consumo de agua potable y consumo para fines domésticos mediante la ecuación 2.

**Ecuación 2.** Cálculo de agua residual industrial.

$$Qo = Qri + Qd$$

Donde,

(Qo) = Caudal de agua potable de entrada.

(Qri) = Caudal de agua residual industrial.

(Qd) = Caudal de agua doméstica.

De acuerdo a los consumos y una vez aplicada la ecuación se establece el balance hídrico para el año 2017 que se muestra en la tabla 2.

**Tabla 2.** Balance hídrico para el año 2017.

<b>Bimestre</b>	<b>Consumo Total (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Agua residual doméstica (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Agua residual industrial (m<sup>3</sup>)</b>
Enero – Febrero	94,7	9,4	85,3
Marzo – Abril	96,8	9,4	87,4
Mayo – Junio	107,8	9,4	98,4
Julio – Agosto	108,5	9,4	99,1
Septiembre – Octubre	105,5	9,4	96,1
Noviembre - Diciembre	124,6	9,4	115,2

Fuente: elaboración propia

El comportamiento del agua residual industrial generada en la planta es proporcional al agua potable usada durante el proceso en cada uno de los períodos, esto se evidencia en la gráfica 2, en donde en el período de Noviembre y Diciembre es donde se observa un incremento en la generación de dicho residuo.

**Gráfica 2.** Agua residual industrial VS tiempo



Fuente: elaboración propia

El comportamiento en el año 2017 del agua residual industrial y agua potable para cada bimestre presentan un comportamiento similar por lo que es posible establecer un caudal promedio bimestral al año calculado mediante la Ecuación 3 que relaciona la sumatoria de los caudales bimestrales y el número de bimestres.

**Ecuación 3.** Cálculo de caudal promedio de agua.

$$\text{Caudal promedio} = \frac{\sum \text{caudales bimestrales}}{\text{numero de bimestres}}$$

Una vez determinados los caudales promedio para el año 2017 que se muestran en la Tabla 3, se aplica un factor de conversión de 60 días que corresponden a un bimestre obteniendo el balance hídrico general del proceso en promedio por día.

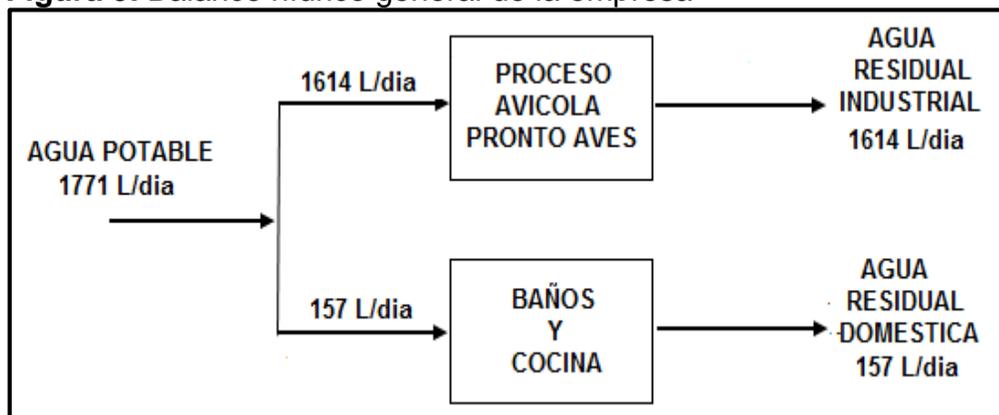
**Tabla 3.** Agua residual industrial VS tiempo

Año	Consumo Promedio (m³)	Agua residual doméstica promedio (m³)	Agua residual industrial promedio (m³)
2017	106,3	9,4	96,9

Fuente: elaboración propia

A continuación, se muestra en la Figura 9 el balance hídrico del proceso, obtenido a partir del promedio del año 2017 de la planta de producción, considerando un sistema ideal en donde no se generan pérdidas dentro del proceso de producción. Los valores estimados se tienen en cuenta para posterior desarrollo de la propuesta para un sistema de tratamiento de aguas de la empresa.

**Figura 9.** Balance hídrico general de la empresa



Fuente: elaboración propia

**2.1.3 Caudal máximo de agua residual industrial generada.** Para la determinación del caudal máximo es necesario identificar el volumen de agua consumido diariamente que se realiza con la toma de lectura del contador de agua de la empresa ubicada junto a la entrada con acceso directo desde la calle, dicho registro se realizó por un período de 30 días que van desde el 1 al 31 de marzo de 2018, datos mostrados en el Anexo A.

A partir de los datos obtenidos de consumo diario de agua potable en el mes de Marzo de 2018 se observa que los días de mayor producción se consumieron alrededor de 4.000 y 5.000 litros y los días de menor producción 1.000 litros aproximadamente, a partir de los consumos se puede establecer los días de bajo, medio y alto consumo definiendo viernes como los días con mayores valores de consumo.

Una vez usado el promedio de dichos consumos y la respectiva conversión a litros se obtiene una relación con el balance hídrico anteriormente planteado, consumiendo entre 1.700 y 1.800 litros al día.

La planta funciona en promedio 10 horas diarias por lo que para la evaluación de caudal se toman datos del día Viernes 9 de Marzo de 2018 siendo representativo por ser día de mayor consumo de acuerdo a la producción, los intervalos de caudal se realizaron cada 30 minutos tal como se muestra en el Anexo B en la entrada de las dos trampas de grasa ubicadas en el piso 1 de la planta.

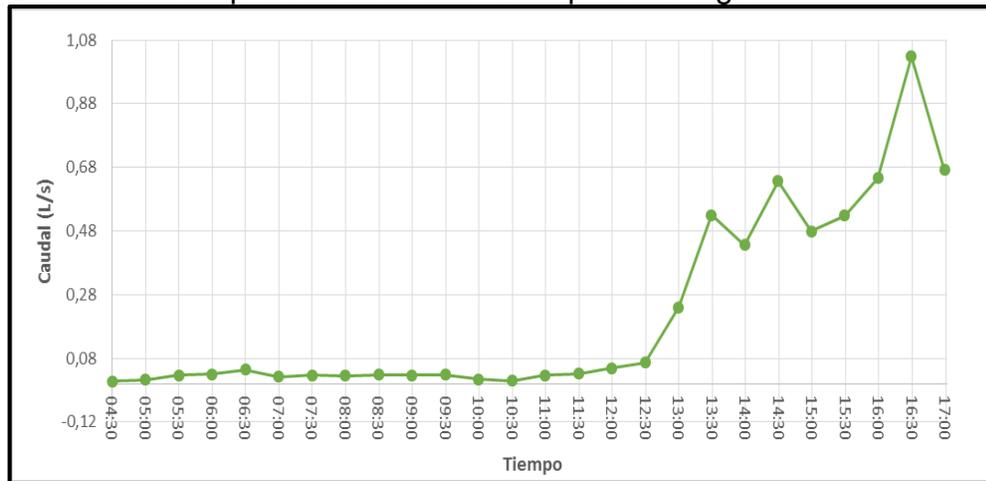
Para la determinación del caudal se realiza midiendo un volumen determinado en el intervalo de tiempo de 30 minutos y se mide el tiempo que transcurra hasta que llegue al aforo, la Ecuación 4 muestra el cálculo del caudal.

#### Ecuación 4. Cálculo de Caudal (Q).

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{tiempo}}$$

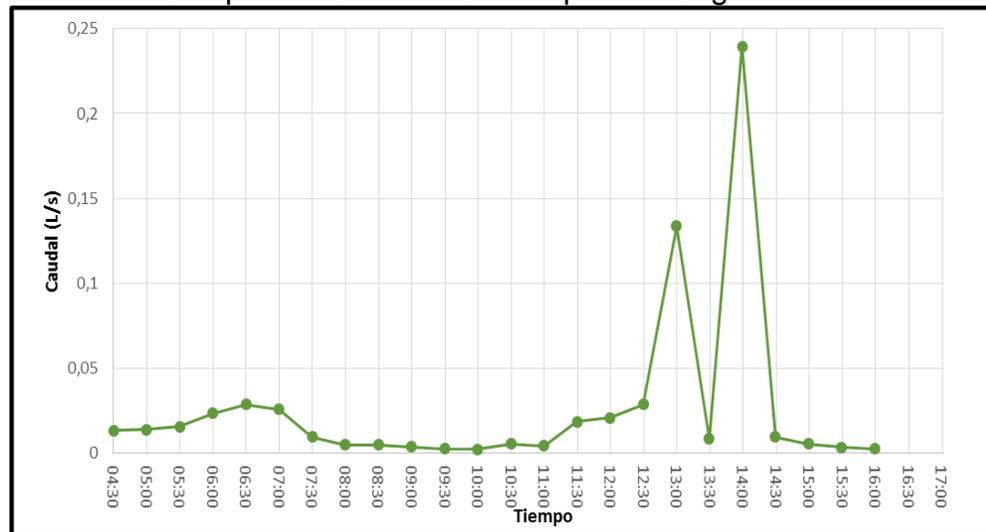
A continuación, se observa el comportamiento del caudal en la gráfica 3 correspondiente a la bodega 1 y en la gráfica 4 la trampa de grasa correspondiente a la bodega 2.

**Gráfica 3.** Comportamiento del Caudal para Bodega 1.



Fuente: elaboración propia

**Gráfica 4.** Comportamiento del Caudal para Bodega 2



Fuente: elaboración propia

En las gráficas se evidencian cambios fuertes en comportamiento del caudal respecto al tiempo. Los picos presentes en la gráfica, se deben a las horas en las que ingresaron los camiones a la planta a realizar limpieza tanto de los carros como en la planta.

Una vez se observan los picos en el comportamiento del caudal se puede descartar definir como caudal de diseño para la planta, pero si se considera como condición crítica para definir que se presenta un ingreso de un residuo adicional al que se genera en los procesos de la planta.

Como se mencionó en secciones anteriores ingresa un residuo que es generado en las plantas de beneficio por el hielo suministrado al iniciar la jornada, la descongelación total del pollo al final del día después de ser transportado todo el día genera agua residual industrial.

Para determinar el volumen que ingresa adicional al generado en la planta se realizó un control semanal del número de aves y el agua residual generada al final del día que queda contenida en las camionetas que se muestra en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Agua residual generada en las camionetas.

<b>Fecha</b>	<b>Aves</b>	<b>Agua residual (L)</b>
03/04/2018	3.160	5,7
04/04/2018	2.760	5
05/04/2018	5.560	10,1
06/04/2018	8.500	15,5
07/04/2018	5.140	9,3

Fuente: elaboración propia

Los días viernes son los de mayor producción obteniendo un volumen promedio de 15,5 L generados por la descongelación del hielo suministrado por la planta de beneficio, usado junto con el valor de agua residual industrial generado en la planta de 1.614 L que se tendrá en cuenta para el diseño e implementación de la planta de tratamiento de aguas residuales para la empresa como se muestra en la Ecuación 5.

**Ecuación 5.** Cálculo de Agua residual industrial total generada.

$$V \text{ Total AR} = V \text{ AR planta} + V \text{ AR adicional}$$

$$1.630 \frac{L}{\text{dia}} = 1.614 \frac{L}{\text{dia}} + 16 \frac{L}{\text{dia}}$$

**2.1.4 Pre-Tratamiento de agua residual industrial generada.** En la actualidad la empresa cuenta con un pre tratamiento aplicado a las aguas residuales avícolas, el cual consiste en una rejilla de retención de sólidos y la salida de esta con un ducto a la entrada de una trampa de grasa que tiene como función remover sólidos en suspensión.

A continuación, se describen los equipos usados en el pre-tratamiento de las aguas residuales para cada una de las bodegas.

#### **Bodega No. 1**

La rejilla de retención de sólidos de la Bodega No.1 recibe los residuos de la etapa de desprese, lavado de tinas, lavado de la bodega No. 1 y lavado de furgones, como se muestra en la fotografía 1.

La rejilla se encarga de separar los sólidos de gran tamaño para evitar así atascamientos y obstrucciones de las aguas residuales y tiene un área de 0,30m<sup>2</sup>

**Fotografía 1.** Rejilla de retención de sólidos Bodega No. 1



Fuente: elaboración propia

La salida del agua residual de la rejilla de la Bodega No. 1 va directamente por otro ducto al ingreso de la trampa de grasa de la misma Bodega que se muestra en la Fotografía 2.

Las trampas de grasa son utilizadas como prevención de taponamiento de tubería y tienen como función principal remover grasas y aceites, la trampa de grasa tiene de profundidad 0,92m, largo 1,52m, ancho 0,47m y tres deflectores en donde las divisiones son de 0,11m de ancho.

**Fotografía 2.** Trampa de grasa Bodega No.1



Fuente: elaboración propia

### **Bodega No.2**

La rejilla de retención de sólidos de la Bodega No.2 recibe los residuos de la etapa de selección, lavado, y cuenta con un área de 0,20 m<sup>2</sup> como se muestra en la fotografía 3.

**Fotografía 3.** Rejilla de retención de sólidos Bodega No. 2



Fuente: elaboración propia

La salida del agua residual de la rejilla de la Bodega No. 2 va directamente por otro ducto al ingreso de la trampa de grasa de la misma Bodega como se muestra en la fotografía 4.

La trampa de grasa de la Bodega No. 2 tiene de profundidad 0,52m, largo 0,85m, ancho 0,35m y tres deflectores en donde las divisiones son de 0,08m de ancho.

**Fotografía 4.** Trampa de grasa Bodega No.2



Fuente: elaboración propia

## **2.2 CARACTERIZACIÓN AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL**

Para el desarrollo de la propuesta es necesario definir las condiciones actuales del agua residual de la empresa INVERSIONES WAMU S.A.S. – Pronto Aves, dicha caracterización se lleva a cabo mediante las propiedades físico-químicas analizadas en el laboratorio HIDROANALISIS LTDA – Antek, conforme a un plan de muestreo y bajo la resolución 0631 del 17 de Marzo de 2015 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, por el cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado.

Los parámetros que se tienen en cuenta son DBO, DQO, Sólidos Suspendidos Totales, pH, grasas y aceites definidos de acuerdo a la actividad económica principal a la que se dedica la empresa -Comercio al por mayor de carnes (incluye aves de corral), productos cárnicos, pescados y productos de establecimientos especializados.

Es importante mencionar que a partir de la resolución 0631 de 2015 el parámetro de cloruros es requerido para el análisis, sin embargo, no se llevó a cabo debido a que por información adquirida de la planta de beneficio dentro de esta no se desarrollan procesos que afecten al pollo comercializado con la presencia de estos compuestos.

**2.2.1 Sistema de muestreo.** El muestreo fue ejecutado el día 23 de Febrero del 2018, en las entradas y salidas de las trampas de grasa con las que cuenta la planta, el objetivo es obtener una muestra representativa del efluente a tratar.

El caudal generado a lo largo de la jornada no es constante, en las horas de la mañana se genera una descarga por concepto de clasificación de producto y desprese y en las horas de la tarde se presenta mayor flujo de agua por lavado general de la planta y recolección de aguas de las camionetas, es por esta razón

que se realiza un sistema de muestreo compuesto en la jornada de la tarde donde hay mayor caudal en los 2 puntos de generación de agua residual industrial para cada bodega y los dos puntos de salida de las trampas de grasa.

Inicialmente se purgan los recipientes de polipropileno con capacidad de 2 litros, se etiquetan según el punto de muestreo y se establecen el número de muestras individuales, definidas como 10 en un período de tiempo de cinco horas a partir de la 12.00 con un intervalo de 30 minutos.

Con un cronometro y en cada intervalo se toma el tiempo de aforo de los recipientes con capacidad de 2 L, cada una de las muestras se deben almacenar en un cuarto frío para no alterar sus condiciones hasta realizar la composición final de muestra compuesta; dicha composición se efectuó recolectando volúmenes de muestra proporcionales al caudal de vertimiento calculados mediante la Ecuación 6.

**Ecuación 6.** Cálculo de volumen de alícuota

$$V_i = \frac{V \times Q_i}{n \times Q_p}$$

Dónde.

(Vi) = volumen de cada alícuota o porción de muestra

(V) = volumen total a componer (2L)

(Qi) = caudal instantáneo de cada muestra

(Qp) = caudal promedio durante el muestreo

(N) = Numero de muestras tomadas

La muestra se obtiene mezclando el volumen de cada una de las alícuotas y se procede a evaluar parámetros in situ que se muestran en la tabla 5, posteriormente fue envasada en los respectivos recipientes debidamente rotulados y ser enviados al laboratorio para realizar los análisis de los parámetros ya establecidos

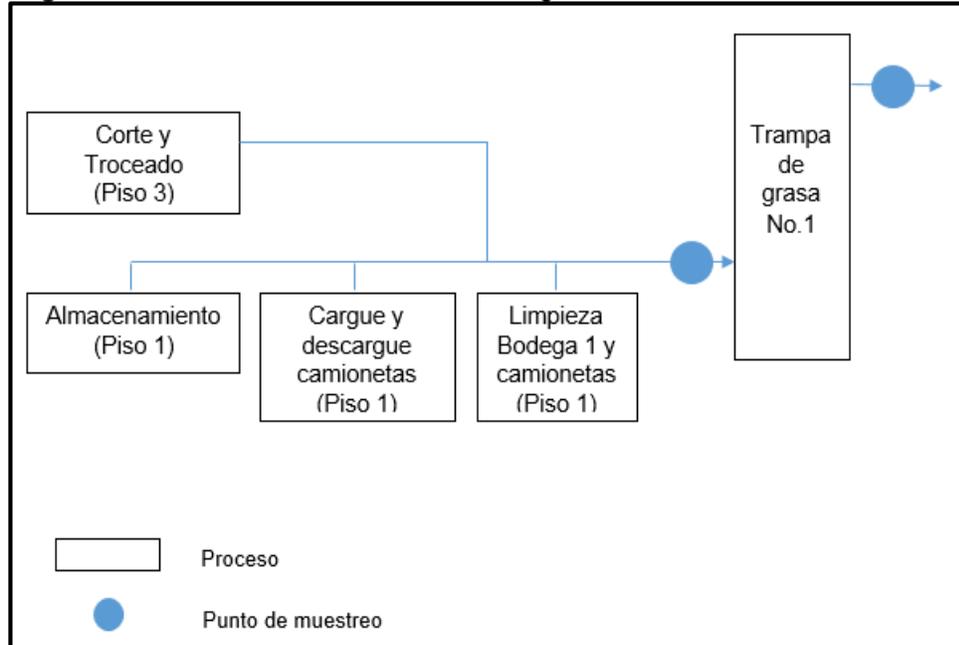
**Tabla 5.** Parámetros in situ del agua residual industrial

Parámetro	Unidades	Trampa grasa 1		Trampa grasa 2	
		Entrada	Salida	Entrada	Salida
pH	unidades de pH	7,26	6,52	7,33	6,37
Temperatura	°C	5,9	6,3	5,8	6,5
Turbidez	NTU	834	874	789	831

Fuente: elaboración propia

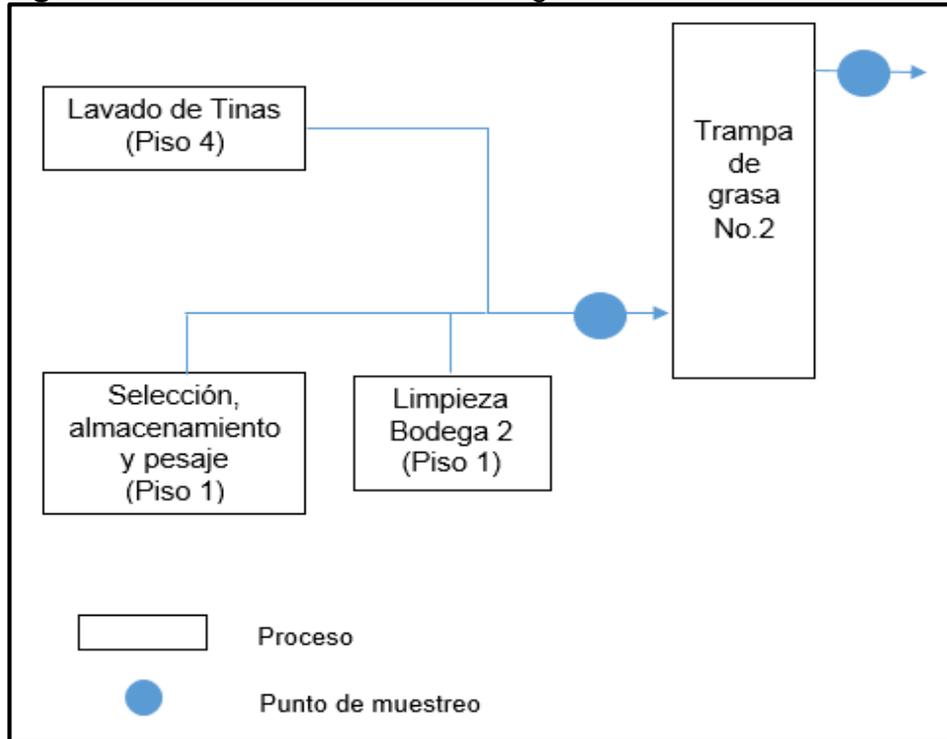
**2.2.2 Puntos de muestreo.** El día 23 de febrero de 2018 se realizó el muestreo compuesto del agua residual del proceso de la planta en la entrada y la salida de las dos trampas de grasa con las que cuenta la empresa como único tratamiento al efluente, por esta razón son definidos como únicos puntos de muestreo mostrados en la figura 10 y figura 11 para evaluar la eficiencia de dicha etapa del proceso.

**Figura 10.** Puntos de muestreo Bodega No 1



Fuente: elaboración propia

**Figura 11. Puntos de muestreo Bodega No 2**



Fuente: elaboración propia

**2.2.3 Resultados de los parámetros evaluados.** De acuerdo al muestreo de agua residual se evalúan parámetros de DQO, DBO5, SST, Grasas y aceites en las dos trampas de grasa ubicadas en la planta, dichos parámetros evaluados se muestran en la Tabla 6 junto con una comparación entre los parámetros máximos permisibles de la Resolución 0631 del 17 de marzo de 2015 establecida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, para vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado públicos con el objetivo de definir la calidad del agua que será tratada.

**Tabla 6.** Resultados de los parámetros evaluados.

Parámetro	Unidades	Trampa grasa 1		Trampa grasa 2	
		Entrada	Salida	Entrada	Salida
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	246	249	376	436
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L O2	483	706	678	1320
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O2	755	1180	1056	2060
Grasas y Aceites	mg/L	89	113	108	124

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con los resultados obtenidos se observa que las trampas de grasa no están cumpliendo con el objetivo de remover sólidos en suspensión ni grasas y aceites, los valores a la salida de las trampas de grasa aumentan significativamente lo que implica el mal funcionamiento de estas causado por falta de mantenimiento y posible diseño, es por esta razón que el sistema de tratamiento de aguas residuales para la empresa INVERSIONES WAMU SAS- Pronto Aves tiene únicamente en cuenta el agua de ingreso a las trampas de grasa.

Los resultados de las muestras analizadas a la entrada de las trampas de grasa superan los límites máximos permitidos de los parámetros exigidos en la resolución 0631 del 2015 establecida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para el vertimiento de agua como se puede observar en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Comparación resultados VS normatividad

Parámetro	Unidades	Valor actual		Norma 0631
		Trampa grasa 1	Trampa grasa 2	
pH	Unidades pH	7,02	6,9	6,0-9,0
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	246	376	150
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L O2	483	678	450
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O2	755	1.056	975
Grasas y Aceites	mg/L	89	108	60

Fuente: elaboración propia

La empresa INVERSIONES WAMU LTDA no cumple con la resolución de vertimientos, razón por la que se desarrolla una propuesta de diseño e implementación en donde los parámetros críticos DBO, DQO, Sólidos suspendidos totales, grasas y aceites disminuyan la carga orgánica y se llegue al cumplimiento de la resolución 0631 de 2015.

### 3. EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Según los valores obtenidos en la caracterización de las aguas residuales de la empresa se evidencia el incumplimiento de los parámetros de SST, DBO, DQO, grasas y aceites, siendo el punto de partida para establecer una propuesta de tratamiento que complemente el pre-tratamiento actual, disminuya la carga contaminante del efluente y que se ajuste a los recursos de la empresa.

Para la determinación del tipo de tratamiento adecuado a implementar existe la relación entre la DQO y DBO, dicha relación representa un indicativo del tipo de degradación que debe realizarse para desinfectar el Agua residual, si la relación es menor a 0,2 los vertimientos se consideran de naturaleza inorgánica, poco biodegradables y son convenientes procesos físico-químicos como tratamiento, si la relación tiene un valor entre 0,2 y 0,4 los vertimientos se consideran biodegradables y si es mayor a 0,4 los vertimientos pueden considerarse orgánicos y muy biodegradables, resultando adecuados tratamientos biológicos<sup>37</sup>.

El agua residual evaluada al ingreso de las trampas de grasa presenta valores que oscilan entre 400 y 1.100 mg/L de O<sub>2</sub> tanto para DQO como para DBO y que se muestran en el capítulo anterior en la sección 2.2.3, resultados que permiten obtener la relación para el agua residual total a tratar de la empresa con valor de 0,64 superior a 0,4 lo que sugiere biodegradabilidad elevada resultando necesario la implementación de un tratamiento biológico, sin embargo como se mencionó anteriormente la empresa no cuenta con los recursos necesarios para implementar un tratamiento secundario, como son el área requerida, falta de personal que controle el uso de microorganismos, capital limitado para inversión, funcionamiento y mantenimiento. Por lo anterior mencionado se propone implementar a la empresa INVERSIONES WAMU LTDA con la marca Pronto Aves un tratamiento que reduzca los parámetros ya establecidos y que cumpla con la resolución 0631 de 2015.

El parámetro de grasas y aceites hace referencia a los ácidos grasos presentes en el agua residual industrial proveniente del pollo crudo, que por sus características naturales presenta niveles elevados de grasas y dependen directamente de cada una de las partes del pollo, es por esto que se requiere plantear un tratamiento que reduzca dicho parámetro; los sólidos suspendidos totales evaluados en la caracterización hacen referencia a la cantidad de material orgánico e inorgánico presente en el efluente para este caso residuos de pollo, huesos, plumas, patas, uñas y tierra o líquidos como sustancias inmiscibles lo que afecta el olor, color y turbidez.

---

<sup>37</sup> Vásquez, L, Op cit.

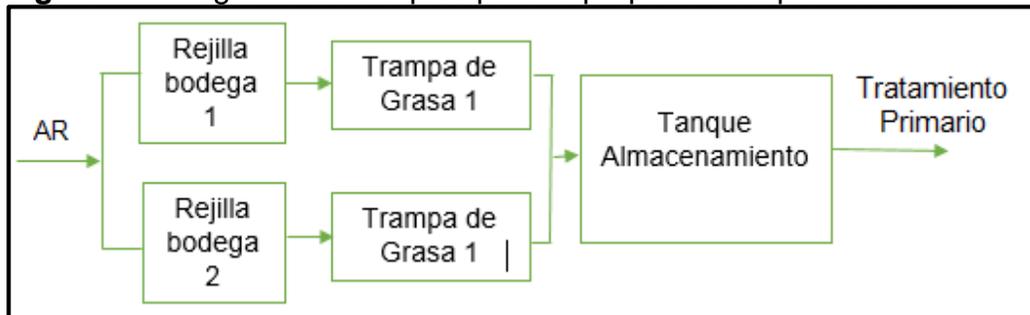
El pH para las dos trampas de grasa se encuentra dentro de los límites permisibles en un valor aproximado de 7, esto se debe a que en los procesos de limpieza no se usan agentes de desinfección que alteren dicho parámetro y el pollo crudo no contiene adición de agentes químicos ni en la planta de beneficio ni en la empresa.

Actualmente, la empresa cuenta con un pre – tratamiento que dispone de rejilla de retención de sólidos y trampa de grasa para cada bodega, que según los resultados obtenidos no cumplen con el objetivo de remover sólidos en suspensión ni grasas y aceites, no obstante según LIZARAZO y ORJUELA para el tratamiento de aguas residuales en las industrias la incorporación de tratamientos preliminares con rejillas de retención y trampas de grasa complementan las siguientes etapas del tratamiento, presentando resultados de reducción de DBO entre un 40% y 50 %, razón por la cual en secciones posteriores se propone realizar una rutina de mantenimiento periódico para mejorar la eficiencia de dichas trampas de grasa<sup>38</sup>.

### 3.1 PRE - TRATAMIENTO

Como se citó anteriormente los tratamientos preliminares son claves para dar paso a las etapas posteriores, una vez la eficiencia de las rejillas y las trampas de grasa mejoren se propone homogenizar las dos salidas de las trampas de grasa en tanques de almacenamientos para posteriores etapas de tratamiento como se muestra en la figura 12.

**Figura 12.** Diagrama de bloques para la propuesta de pre - tratamiento.



Fuente: elaboración propia

La planta genera agua residual que se dirige al alcantarillado, para su eficiente tratabilidad requiere de una mezcla homogénea, a continuación, en la Tabla 8 se muestran las ventajas y desventajas de esta etapa del pre – tratamiento

<sup>38</sup> LIZARAZO, Jenny y ORJUELA, Martha. Sistema de plantas de tratamiento en Colombia. Especialización en administración pública. Bogotá D.C. Universidad Nacional de Colombia, 2013. 67 p.

**Tabla 8.** Ventajas y desventajas de la etapa de homogenización.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<p>El área requerida para un volumen de 300m<sup>3</sup> de agua residual es de 319 m<sup>2</sup>.<sup>39</sup>, que comparado con la cantidad aproximada de 2 m<sup>3</sup> generada en la empresa estudiada se requiere de un área de 2.13 m<sup>2</sup> ajustándose y siendo mínimo el espacio usado del área disponible en la incorporación de esta etapa</p> <p>El pH del agua proveniente de las industrias avícolas suele oscilar entre 6,5 y 8,5<sup>40</sup>, para el tipo de agua residual estudiada presenta variaciones entre 6,7 y 7,2, mediante la fase de homogenización dichas variaciones son estabilizadas a tal punto de establecer un solo valor de operación que favorece la acción de agentes químicos usados en tratamientos posteriores<sup>41</sup>.</p>	<p>Según Castillo<sup>42</sup> se requiere de un agitador mecánico que permita la igualación de características como temperatura, pH y caudal al efluente.</p> <p>Con el fin de homogenizar las aguas provenientes del pre- tratamiento, se ve la necesidad de implementar una paleta de agitación a un tanque que incrementa hasta 4 veces los costos de adaptación.<sup>43</sup></p> <p>Un tanque de homogenización de aguas residuales puede ocupar un área de hasta 20 m<sup>2</sup> <sup>44</sup>, lo que implica ocupar el doble del espacio disponible con el que cuenta la empresa.</p>

<sup>39</sup> GALLEGOS, Omar. Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales. [En línea] [Fecha de consulta: 18 de agosto de 2018]. Disponible en: <http://ribuni.uni.edu.ni/623/1/37985.pdf>

<sup>40</sup> ACHING, Antonio. Tratamiento del agua en la industria avícola. . [En línea] [Fecha de consulta: 18 de agosto de 2018]. Disponible en: [http://amevea-ecuador.org/web\\_antigua/datos/Documento\\_Tratamiento\\_de\\_agua\\_\\_\\_DR%5B1%5D.\\_ANTONIO\\_ACHIG.PDF](http://amevea-ecuador.org/web_antigua/datos/Documento_Tratamiento_de_agua___DR%5B1%5D._ANTONIO_ACHIG.PDF)

<sup>41</sup> FONSECA GONZALES Y MARTINEZ ORJUELA.Op.cit.,p.87

<sup>42</sup> CASTILLO, V. Diseño y cálculo de un agitador de fluidos. Tesis para optar por el grado de ingeniero de ejecución en mecánica. Universidad del Bio-Bio.2013. p.35

<sup>43</sup> CRUZ, Mollinedo. Tanque de homogenización. [En línea] [Fecha de consulta: 18 de agosto de 2018]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/336718469/Tratamiento-Primario-Tanque-de-Homogenizacion>

<sup>44</sup> CRISTANCHO BELLO, Angie Julieth. NOY ORTIZ, Andrés Mauricio. (2016). Diseño conceptual de una planta de tratamiento de aguas residuales para Pelikan Colombia S.A.S. Bogotá D.C. Fundación Universidad de América

**Tabla 8 (continuación)**

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
El vertimiento de aguas residuales de industrias avícolas no es homogéneo ni constante <sup>45</sup> , debido a que presentan cambios de caudal significativos a lo largo de la jornada laboral (0,00103 m <sup>3</sup> /s y 0,00023m <sup>3</sup> /s), por lo cual se requiere implementar un tanque que controle las variaciones de los caudales.	

Se observa que la homogenización es sencilla, necesaria, y de fácil adaptabilidad para adicionar al pre – tratamiento actual.

Una vez controladas las características variables de concentración, caudal, pH presentes en el agua residual en el tanque de homogenización se procede a realizar el tratamiento primario que se explica en la siguiente sección.

### **3.2 TRATAMIENTO PRIMARIO**

El tratamiento primario está constituido por diferentes unidades o etapas secuenciales, que utilizan procesos físicos o químicos, tales como neutralización, sedimentación, coagulación – floculación, decantación y oxidación simple los cuales son usados de acuerdo a las características del efluente tratado y los objetivos de remoción que actúan fundamentalmente sobre los SST, DBO y DQO.

De los tratamientos primarios mencionados anteriormente, cabe resaltar que la neutralización no es necesaria para el tipo de agua residual generado en la empresa INVERSIONES WAMU LTDA con la marca Pronto Aves, debido a que el pH no presenta cambios significativos y se encuentran en el rango establecido para favorecer la acción de posteriores tratamientos como coagulación – floculación.

La coagulación – floculación presenta remociones de materia orgánica del 70 al 85% en la industria avícola<sup>46</sup>, por lo cual es el tratamiento comúnmente usado para este tipo de industria a diferencia de la flotación y sedimentación que no son usados

---

<sup>45</sup> <sup>45</sup>, debido a que presentan cambios de caudal significativos a lo largo de la jornada laboral (0.00103 m<sup>3</sup>/s y 0.00023m<sup>3</sup>/s), por lo cual se debe adaptar un tanque que controle las variaciones de los caudales.

<sup>46</sup> ISA, ingeniería y Servicios Ambientales. Flotación por aire disuelto (DAF). Recuperado de: <http://www.isa.ec/index.php/soluciones-ambientales/flotacion-por-aire-disuelto-daf>

por que requiere mayor energía y los valores de remoción son de 40 al 50% en DBO para la flotación y DBO de 20%<sup>47</sup>.

El agua residual generada para la empresa presenta color rojo debido a la sangre, razón por la que se requiere plantear una alternativa de oxidación económica con la presencia de un agente desinfectante blanqueador al inicio del tratamiento primario que permita la remoción de los organismos patógenos<sup>48</sup>.

A continuación, se presenta de manera específica las ventajas y desventajas justificando así el estudio de los procesos planteados como alternativa.

**3.2.1 Oxidación.** Es pertinente incorporar al proceso una oxidación simple debido a la presencia de altos niveles de coloración dado por la sangre, a continuación se muestra en la tabla 9 las ventajas y desventajas de la etapa del proceso.

---

<sup>47</sup> GUTIERREZ. Nelson, VALENCIA. Eduardo y ARAGÓN. Renso. (2014). Eficiencia de remoción de DBO5 y SS en sedimentados y lecho filtrante para el tratamiento de aguas residuales del beneficio de café (*Coffea arábica*). Colombia Forestal, 17(2), 151-159.

<sup>48</sup> FONSECA GONZALES Y MARTINEZ ORJUELA. Op.cit., p.89

**Tabla 9.** Ventajas y desventajas de la etapa de oxidación.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<p>Se implementa como primera fase un proceso de oxidación que tiene como fin eliminación de patógenos que no afecten negativamente etapas posteriores del tratamiento como coagulación – floculación y sedimentación.<sup>49</sup></p> <p>La oxidación – desinfección es eficiente para volúmenes inferiores a 100m<sup>3</sup> de agua residual<sup>50</sup>, que en relación con la cantidad aproximada de 2 m<sup>3</sup> generada en la empresa estudiada, se ajusta de forma eficiente.</p> <p>A partir de una producción de 30.000 pollos/día se obtiene 1.300 kg de vísceras/día y 1.200 L de agua sangre lo que le otorga su elevado color rojizo.<sup>51</sup>, característica eficiente para la implementación de la oxidación que logra remover color y materia orgánica presente en el efluente.</p>	<p>En condiciones extremas de temperatura (-3°C) la cantidad del agente oxidante disuelto en el agua variara considerablemente; será mayor concentración a menor temperatura y viceversa.<sup>52</sup>. Para el tipo de agua tratada en la industria avícola las temperaturas eficientes de tratabilidad oscilan entre 2°C y 6 °C por lo que requiere de una mayor dosificación de agente oxidante - desinfectante.</p> <p>Los agentes oxidantes utilizados en tratamientos de aguas residuales industriales contienen gran cantidad de material abrasivo que deteriora bombas dosificadoras de sustancias químicas, válvulas de descarga, tanques de almacenamiento y paletas de agitación<sup>53</sup></p>

<sup>49</sup> Desinfección de agua por medio de agentes oxidantes. [En línea] [Fecha de consulta: 18 de agosto de 2018]. Disponible en: [www.mecopaa.com/documents/PresentacionMiox.pdf](http://www.mecopaa.com/documents/PresentacionMiox.pdf)

<sup>50</sup> FONSECA GONZALES YMARTINEZ ORJUELA.Op.cit.,p.86

<sup>51</sup> GUTIERREZ, Edixon. Desinfección de aguas residuales de una industria avícola para su reutilización. [En línea] [Fecha de consulta: 18 de agosto de 2018]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/282723297\\_Desinfeccion\\_de\\_aguas\\_residuales\\_de\\_una\\_industria\\_avicola\\_para\\_su\\_reutilizacion](https://www.researchgate.net/publication/282723297_Desinfeccion_de_aguas_residuales_de_una_industria_avicola_para_su_reutilizacion)

<sup>52</sup> BARRENECHEA MARTEL, Ada y VARGAS, Lidia. Capítulo 10 – Desinfección. [En línea] [Fecha de consulta: 18 de agosto de 2018]. Disponible en [www.ingenieroambiental.com/4014/diez.pdf](http://www.ingenieroambiental.com/4014/diez.pdf)

<sup>53</sup> Procesos de tratamiento de agua, cap 6. 16p

**Tabla 9 (continuación)**

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<p>Los costos de implementación de esta alternativa involucran reactivos de fácil acceso y bajo costo, en comparación con una oxidación avanzada (oxidación fotocatalítica) que requiere de un tanque reactor de acero inoxidable, lámparas UV y tanque de ajuste, que aumenta 20 veces el costo de la alternativa propuesta.<sup>54</sup></p> <p>La actividad de los agentes oxidantes – desinfectantes depende del pH siendo eficientes con valores inferiores a 9<sup>55</sup>, para el tipo de agua residual estudiada el pH se encuentra entre 6,7 y 7,2 ajustándose a dichas condiciones.</p> <p>Para aguas residuales de la industria avícola con carga contaminante inicial de 447,8 mg/L de SST, en la etapa de oxidación con el agente químico Hipoclorito de Calcio 4% se alcanzan porcentajes de remoción de 31,6 %<sup>56</sup>; y reducción de color de 42,3% lo que hace eficiente este proceso en el tratamiento de aguas.</p>	

Según Metcalf & Eddy, el desinfectante ideal es aquel que posee variedad de características tales como alta toxicidad para los microorganismos, alta solubilidad, es ligeramente estable, es homogéneo, es un oxidante activo, posee una penetración alta, tiene una capacidad de desodorante moderada y su costo es relativamente bajo.<sup>57</sup> De acuerdo con esto a continuación se muestra en la tabla 10 las ventajas y desventajas de los desinfectantes Hipoclorito de Calcio y Fenton y se selecciona el que cumpla con las características mencionadas.

<sup>54</sup> VARELA REYES, Diana Ximena. (2013). Evaluación de la viabilidad técnica y de costos de la aplicación de un proceso avanzado de oxidación fotocatalítico en el tratamiento de aguas residuales del sector textil de Bogotá. Universidad Nacional de Colombia.

<sup>55</sup> Desinfección del cloro. [En línea] [Fecha de consulta: 18 de agosto de 2018]. Disponible en: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/ponce\\_o\\_e/capitulo5.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/ponce_o_e/capitulo5.pdf)

<sup>56</sup> MARTÍNEZ, Mónica y FONSECA, Natalia. Op cit. 110 p

<sup>57</sup> Metcalf & Eddy, Inc. Ingeniería de aguas residuales. Volumen I. MacGraw-Hill. 1995. Página 370.

**Tabla 10.** Ventajas y desventajas de los desinfectantes.

<b>Oxidante</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Hipoclorito de Calcio	Bajo precio	Altamente corrosivo
	Efectivo en bajas concentraciones	Agente irritante
	Oxida materia orgánica	Su actividad depende del pH
	Reduce organismos patógenos	
	Oxida materia orgánica	
	Remueve color, olor, por su acción desinfectante y oxidante activo	
Fenton	Reducción del parámetro DQO	Reacción química inestable
	Reducción del parámetro DBO	Requiere de altas concentraciones de sales de hierro que permite que la reacción sea rápida.
	Remueve color, olor	Aumento en los costos.

A partir de la cita que se mencionó anteriormente, el desinfectante que se ajusta a las necesidades de la empresa es el Hipoclorito de Calcio, seleccionado a partir de las características por ser económico y contar con una acción blanqueadora.

**3.2.2 Coagulación – Floculación.** El uso de agentes coagulantes y floculantes generalmente se ajustan a las condiciones de todo tipo de vertimiento presentando una remoción eficiente de los parámetros indeseados.

Como referencia para el desarrollo de la propuesta se tiene los porcentajes de remoción de DQO, DBO, SST, para la empresa avícola MILUC SAS dedicada a la comercialización de pollo igual que INVERSIONES WAMU LTDA empresa para la cual se está desarrollando la propuesta, los valores de remoción evidenciados para DQO son de 72 % y SST de 40% <sup>58</sup> , los porcentajes de remoción evidenciados

<sup>58</sup> MARTÍNEZ, Mónica y FONSECA, Natalia. Op cit. 110 p

justifican el uso de esta alternativa. A continuación, se muestra en la tabla 11 con las ventajas y desventajas de la coagulación – floculación.

**Tabla 11.** Ventajas y desventajas de la etapa de coagulación - oxidación

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<p>La remoción de sólidos sedimentables se da en un periodo de tiempo entre 10 min y 20 min<sup>59</sup>, periodo en donde se completa la aglomeración de las partículas y crecen los flocs hasta una condición adecuada para su sedimentación.</p> <p>Para aguas residuales de la industria avícola con carga contaminante inicial de 447,8 mg/L para SST y 4.710mg/L para DQO, en la etapa de coagulación con el agente químico Sulfato de Aluminio 10% se alcanzan porcentajes de remoción de 32 % para SST y 45% para DQO y en la etapa de floculación se usó Poliacrilamida 6% alcanzando porcentajes de remoción de 28 % para SST y 43% para DQO <sup>60</sup>, resultados poco eficientes en cuanto a % remoción para las condiciones iniciales mencionales pero que para la empresa estudiada y las condiciones iniciales si se alcanza una mayor eficiencia.</p>	<p>Su funcionamiento depende del pH que debe ajustarse a determinados valores para que el proceso sea eficiente favoreciendo la acción del agente químico usado tanto como coagulante como floculante, para el Sulfato de Aluminio el pH al que debe ajustarse se encuentra en un rango de 5 y 7, sulfato ferroso alrededor de 9,5, sulfato férrico a un rango de 4-7 y mayores de 9 y cloruro férrico entre 4 -6<sup>61</sup>.</p> <p>Según MARTINEZ y FONSECA<sup>62</sup> para esta industria se requiere de un estricto control de velocidades para la etapa de coagulación – floculación, que se encuentren dentro del rango de operación (60rpm a 80rpm)</p> <p>Para aguas residuales de la industria avícola es necesario verificar la temperatura puesto que al aumentar a valores superiores de 10°C se puede ver afectada la eficiencia del tratamiento.</p>

<sup>59</sup> Romero Rojas, Jairo Alberto. Acuiquímica. Editorial presencia. Primera edición. 1996. Páginas 149-151.

<sup>60</sup> MARTÍNEZ, Mónica y FONSECA, Natalia. Op cit. 110 p

<sup>61</sup> Romero Rojas, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. Escuela Colombiana de Ingeniería. Primera edición. 2001. Página 323.

<sup>62</sup> MARTÍNEZ, Mónica y FONSECA, Natalia. Op cit. 96 p

**Tabla 12 (continuación)**

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<p>La floculación es favorecida por el mezclado lento a velocidades entre 30 rpm – 40 rpm permitiendo juntar poco a poco los floculos, si la velocidad supera las 50 rpm los floculos se rompen y no se vuelven a formar.<sup>63</sup></p>	<p>Para la empresa estudiada se requiere de un área aproximada de 2.13m<sup>2</sup> que ajustándose al tratamiento previo de oxidación permite reducir costos de inversión y que en comparación con tratamientos como la flotación no son viables, debido a que se requiere de inversiones elevadas por el uso de un compresor e incorporación de un sistema para controlar la presión necesitando un área aproximadamente de 43 m<sup>2</sup>.<sup>64</sup></p>

Cabe mencionar la viabilidad de la alternativa ya que se adapta a las condiciones propias de cada vertimiento y es económica en comparación a tratamientos biológicos que tienen presencia de microorganismos y requiere de condiciones de operación rigurosas.

**3.2.3 Decantación.** La decantación es el último proceso dentro del tratamiento primario. Para el planteamiento de este sistema de tratamiento, previamente se habrán realizado los procesos de homogenización, oxidación, coagulación – floculación.

La decantación es un proceso físico, mediante el cual se favorece el depósito de las partículas en suspensión por acción de la gravedad. Por lo tanto, la decantación provoca que las partículas cuya densidad sea mayor que el agua sedimentan en el

---

<sup>63</sup> CÁRDENAS, Y. A. Tratamiento de agua coagulación floculación. [En línea] [Fecha de consulta: 18 de agosto de 2018]. Disponible en: <http://www.frm.utn.edu.ar/archivos/civil/Sanitaria/Coagulaci%C3%B3n%20y%20Floculaci%C3%B3n%20del%20Agua%20Potable.pdf>

<sup>64</sup> FORERO, J, Diseño de un nuevo sistema de flotación para tratamiento de aguas industriales. [En línea] [Fecha de consulta: 18 de agosto de 2018]. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0122-53831999000100006](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53831999000100006)

fondo del decantador mientras que el agua libre de partículas sólidas, sale del decantador por la parte superior del mismo.<sup>65</sup> A continuación, se muestra en la tabla 12 con las ventajas y desventajas de la decantación.

**Tabla 13.** Ventajas y desventajas de la etapa de decantación.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<p>Los sólidos sedimentables se dan en un periodo de tiempo entre 40 min y 60 min periodo en donde se completa la separación de las partículas sólidas y líquido al interior de la sección cónica de forma eficiente.<sup>66</sup></p> <p>Por su sección cónica el tanque de clarificación presenta una remoción sencilla que comparado con el proceso de filtración en que se requiere de mayor mantenimiento del equipo y presencia de operario</p> <p>La altura requerida de la sección cónica del decantador – clarificador para un volumen de 13m<sup>3</sup> de agua residual es de 3.5m.<sup>67</sup>, que comparado con la cantidad de 2 m<sup>3</sup> generada en la empresa estudiada, se requiere de una altura de 0.58m, adaptándose al tanque usado para la coagulación – floculación ajustándose al espacio disponible en la incorporación del sistema de tratamiento de AR.</p>	<p>Presenta dificultad para separar sólidos livianos y separa únicamente líquido- líquido y sólido- líquido.<sup>68</sup></p> <p>La disposición de lodos se debe realizar diariamente, debido a que la acumulación de estos podría generar nuevos focos de contaminación y malos olores.</p> <p>Debido a que este tipo de residuos se generan en una industria que maneja alimentos, se debe tener especial cuidado en el almacenamiento y disposición de flocs generados en el proceso de coagulación- floculación, ya que se pueden generar bacterias que fácilmente llegarían al producto y su comercialización.</p>

La empresa cuenta con un área reducida para la implementación del sistema de tratamiento, razón viable para seleccionarse como método de separación debido a su fácil adaptabilidad, presencia de sólidos pesados.

<sup>65</sup> NUEVO, David. Decantación primaria. . [En línea] [Fecha de consulta: 12 de agosto de 2018]. Disponible en: <http://www.tecpa.es/decantacion-primaria-en-una-edar/>

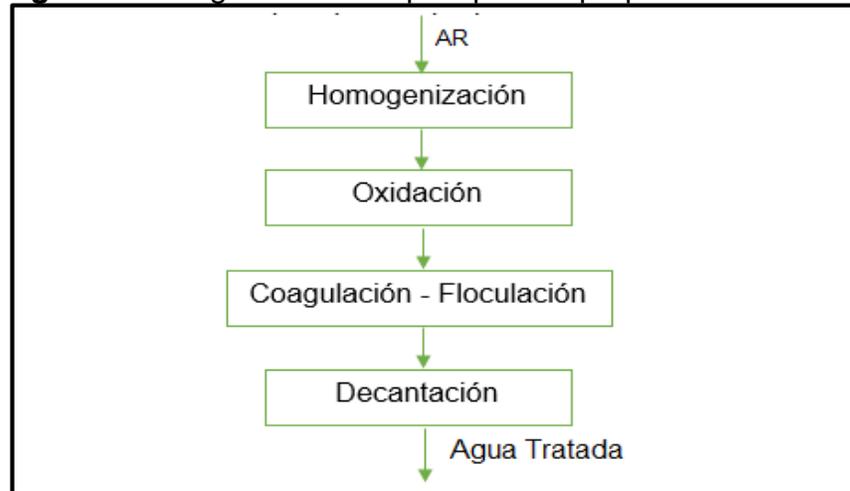
<sup>66</sup> GALLEGOS, Omar. Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales. [En línea] [Fecha de consulta: 18 de agosto de 2018]. Disponible en: <http://ribuni.uni.edu.ni/623/1/37985.pdf>

<sup>67</sup> Ibid.

<sup>68</sup> NUEVO, David. Op.cit. [En línea]

Una vez resaltadas las ventajas de cada una de las etapas presentes en el tratamiento y que se muestran en la figura 13, se realiza el desarrollo experimental de cada uno de estas.

**Figura 13.** Diagrama de bloques para la propuesta de tratamiento.



Fuente: elaboración propia

### 3.3 EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL TRATAMIENTO PRIMARIO

Para llevar a cabo el tratamiento primario se debe realizar la experimentación a nivel laboratorio con el fin de establecer las dosificaciones adecuadas de los agentes químicos que intervienen en el proceso de oxidación, coagulación-floculación.

**3.3.1 Equipos.** Para llevar a cabo la experimentación con la que se logra determinar las especificaciones de las condiciones en el proceso, se requieren de los equipos que se muestran a continuación en el cuadro 2.

**Cuadro 2.** Equipos para experimentación.

Descripción	Fotografía
<p><b>Test de jarras (PHIPPS &amp; BIRD)</b> En la siguiente fotografía se ilustra el equipo utilizado para realizar las pruebas de jarras, cuenta con 4 puestos iluminados que permiten una mejor visualización y en los cuales se ubican los vasos precipitados de 500 ml, el equipo cuenta con unas paletas de agitación que permiten mezclar las soluciones contenidas en los vasos a una misma velocidad en revoluciones por minuto (rpm) que se modifica en el medidor de revoluciones ubicado en el costado derecho.</p>	
<p><b>Turbidímetro (HACH 21000)</b> Este instrumento a través de un análisis óptico determina la cantidad de sustancias en el líquido, mide las partículas en suspensión por medio de un haz lumínico y un detector de luz fijado a 90 grados del haz original. A través de este valor se puede estimar la intensidad del color de las muestras de las aguas residuales antes y después del tratamiento y así establecer su porcentaje de remoción.</p>	

**Cuadro 2 (continuación)**

Descripción	Fotografía
<p><b>pH- metro (OAKTON PCTS 50)</b> Es un instrumento científico que mide la actividad del ion hidrógeno en soluciones acuosas, indicando su grado de acidez o alcalinidad expresada como pH. El medidor de pH mide la diferencia de potencial eléctrico entre un electrodo de pH y un electrodo de referencia. Esta diferencia de potencial eléctrico se relaciona con la acidez o el pH de la solución</p>	
<p><b>Balanza Analítica. (SARTORIUS BP 210S)</b> La balanza es un instrumento que sirve para medir la masa. La balanza analítica es una clase de balanza utilizada principalmente para medir pequeñas masas, en este caso para realizar las diluciones de los reactivos a utilizar</p>	

Fuente: elaboración propia.

**3.3.2 Reactivos.** Los reactivos que se utilizan para la experimentación y que se muestran en el cuadro 3, tienen como objetivo lograr la floculación, coagulación y oxidación de la muestra de agua residual, a través de la experimentación se establecen los parámetros de dosificación y concentración para mejorar la eficiencia del tratamiento y así seleccionar la mejor alternativa.

**Cuadro 3. Reactivos Test de Jarras**

Fotografía	Descripción
	<p><b>Poliacrilamida (PAM) iónica granulada</b></p> <p>Este reactivo tiene como finalidad flocular sólidos en un líquido por ser un polímero soluble en agua lineal, un polímero soluble en agua en una de las variedades más utilizadas. PAM y sus derivados pueden ser utilizados como floculantes eficaces, agente espesante y agente de reducción de la resistencia.</p>
	<p><b>ASPRE 098 Líquido.</b></p> <p>El coagulante ASPRE 098 es un polímero catiónico líquido de color pardo y turbio, diseñado para la clarificación de agua, está conformado por una mezcla de Aluminio y floculante catiónico de alto peso molecular que permiten la formación de un floc pesado y disminuyendo el tiempo de sedimentación.</p>

**Cuadro 3 (Continuación)**

<b>Fotografía</b>	<b>Descripción</b>
	<p><b>Hidroxiclорuro de Aluminio Líquido</b> Su nombre comercial ULTRAFLOC 100, 200, 300 y PAC 006, es un polímero catiónico inorgánico utilizado como coagulante o ayudante de coagulación. Excelente funcionamiento en operaciones de sedimentación por gravedad, cuando se requiere una rápida sedimentación.</p> <p>Alguna de las ventajas de este producto es que por sus características poliméricas, en aguas con muy alta turbiedad, reduce la producción de lodos por su alta capacidad de compactación.</p> <p>En combinación con polímeros orgánicos, resulta un coagulante muy efectivo para aguas de pozo con altos contenidos de contaminantes.</p>

Cuadro 3 (Continuación)

Fotografía	Descripción
	<p><b>Cloruro Férrico Hexahidratado</b> Denominación: Hierro (III) Cloruro 6-hidrato en estado sólido.</p> <p>Cuando se disuelve en agua, el cloruro de hierro (III) sufre hidrólisis y libera calor en una reacción exotérmica. De ello resulta una solución ácida y corrosiva de color marrón que se utiliza como coagulante en el tratamiento de aguas residuales, para la potabilización del agua.</p> <p>Tiene como función coagular y acelerar la sedimentación de sólidos en suspensión y absorción de contaminantes disueltos, incluyendo materia orgánica.</p> <p>El Cloruro Férrico Hexahidratado utilizado para tratamiento de aguas residuales brinda la ventaja de formar coágulos más grandes y compactos, y con ello mayor velocidad de sedimentación, el coágulo formado presenta una alta capacidad de absorción de materias orgánicas e inorgánicas y su impacto de coloración en el agua, además puede eliminar grasas, hidratos de carbono y proteínas.</p>
	<p><b>Hipoclorito de calcio granulado.</b></p> <p>Cuando se trata de productos de cloro que se comercializan en forma de sólidos o se encuentran en concentraciones que no se adaptan a los requerimientos necesarios, la alcalinidad del hipoclorito de calcio concentrado precipita la dureza del agua de dilución.</p>

**Cuadro 3 (Continuación)**

<b>Fotografía</b>	<b>Descripción</b>
	<p><b>Sulfato de aluminio octadecahidrato granulado.</b></p> <p>Coagulante inorgánico efectivo en clarificación de agua cruda durante procesos industriales y de potabilización. Puede ser usado como auxiliar de coagulación en la desestabilización de emulsiones aceite en agua, remoción de colorantes en aguas residuales y en potabilización.</p>

Fuente: elaboración propia.

Una vez seleccionados los reactivos y equipos necesarios para la experimentación se calculan las concentraciones de los agentes para realizar un test de jarras según el procedimiento que se muestra más adelante en la figura 14.

**3.3.3 Dosificación de agentes químicos.** Como primer agente se tiene el Hipoclorito de Calcio granulado, según FONSECA Y MARITNEZ la mejor dosis es de 4% presentando un porcentaje de remoción 42,3% en comparación con el 2% y 3% que presentan valores de 36,5% y 39,1% respectivamente, siendo así la concentración adecuada para el tratamiento de aguas residuales de la industria avícola.

Este producto que actúa como agente oxidante y tiene como fin la desinfección de aguas residuales que presentan alto color, es ideal para el tratamiento puesto que presenta alta toxicidad para los microorganismos, alta solubilidad, es ligeramente estable, es homogéneo, es un oxidante activo, posee alta penetración, capacidad de desodorante y un bajo costo en el mercado.

Los coagulantes utilizados en la experimentación para la reducción de los coloides en suspensión son:

Sulfato de Aluminio granulado al 10 % es el coagulante estándar más utilizado para el tratamiento de aguas residuales por poseer complejos de carga positiva capaz de entrapar los coloides del agua y lograr así una efectiva coagulación.<sup>69</sup>

Cloruro Férrico en estado sólido al 10% genera un coagulo más, una mayor velocidad de sedimentación y barros más compactos; grande tiene como fin coagular y acelerar la sedimentación de sólidos en suspensión y absorción de contaminantes disueltos.

Hidroxiclорuro de Aluminio Liquido (PAC 006), según la empresa CIACOMEQ S.A.S y debido a las características de las aguas residuales a clarificar recomiendan usarlo en concentraciones del 40 % para mejor su eficiencia.

El floculante recomendado es la Poliacrilamida sólida en solución 0.5%, óptima para la disminución de materia orgánica ya que presenta la mejor formación de floculo y un mayor rendimiento en la fase de sedimentación. Este químico es el más utilizado para este tipo de aguas, debido a que los flocs formados poseen una carga positiva por la presencia de sulfato de alumbre y al agregar el agente atrae esas cargas y les adhiere el peso suficiente para lograr una sedimentación a mayor velocidad.

Para este tipo de agua no es necesario realizar el proceso de neutralización que ajusta el valor del pH para el adecuado resultado de este proceso, ya que dicho valor se encuentra en un rango adecuado de operación.

La tabla 13 ilustra los agentes químicos que se usan para los procesos de oxidación, coagulación y floculación con sus respectivas dosificaciones.

**Tabla 14.** Concentración de Reactivos usados en el Test de Jarras

<b>Agente</b>	<b>Reactivo</b>	<b>Concentración</b>
Oxidante	Hipoclorito de Calcio	4%
Coagulante	Sulfato de Aluminio	10%
Coagulante	Cloruro férrico	10%
Coagulante	Hidroxiclорuro de Aluminio	40%
Floculante	Poliacrilamida	0.5%
Coagulante-floculante	ASPRE 098	10%

Fuente: elaboración propia

Se varían las dosis de reactivos en ppm y se dosifican los volúmenes de acuerdo a la concentración de la solución como se muestra en la Ecuación 7, para la

<sup>69</sup> Ibid

experimentación en test de jarras se utilizarán 400, 450 y 500 ppm para el agente oxidante; 500, 1000 y 1500 ppm para coagulantes y 6, 8 y 10 ppm para floculantes, estos registros son tomados de una experimentación realizada para la empresa Avícola Miluc en su tratamiento de aguas<sup>70</sup>.

**Ecuación 7.** Dosificación de volumen.

$$C1 * V1 = C2 * V2$$

Donde,

(C1) = Concentración desconocida (ppm)

(C2) = Concentración de reactivo utilizado (ppm)

(V1) = Cantidad de muestra que se va a tratar (ml)

(V2) = Cantidad de reactivo adicionado a la muestra (ml)

**3.3.4 Metodología experimental.** El procedimiento experimental se basa en la variación de las dosificaciones de los agentes químicos oxidante, coagulantes y floculantes, a través de un test de jarras con el fin de establecer la combinación que genere los mejores resultados como tratamiento del agua.

El agente oxidante Hipoclorito de Calcio 4% se dosifica en 400, 450 y 500 ppm y a una velocidad de 120 rpm durante 7 minutos

Los coagulantes Cloruro Férrico 10%, Sulfato de Aluminio 10% e Hidroxicloruro de Aluminio 40% a 500, 1000 y 1500 ppm cada una y a una velocidad de 80 rpm por 10 minutos, vs Poliacrilamida 0.5% a 6, 8 y 10 ppm cada una y 10 minutos de agitación a una velocidad de 30 rpm.

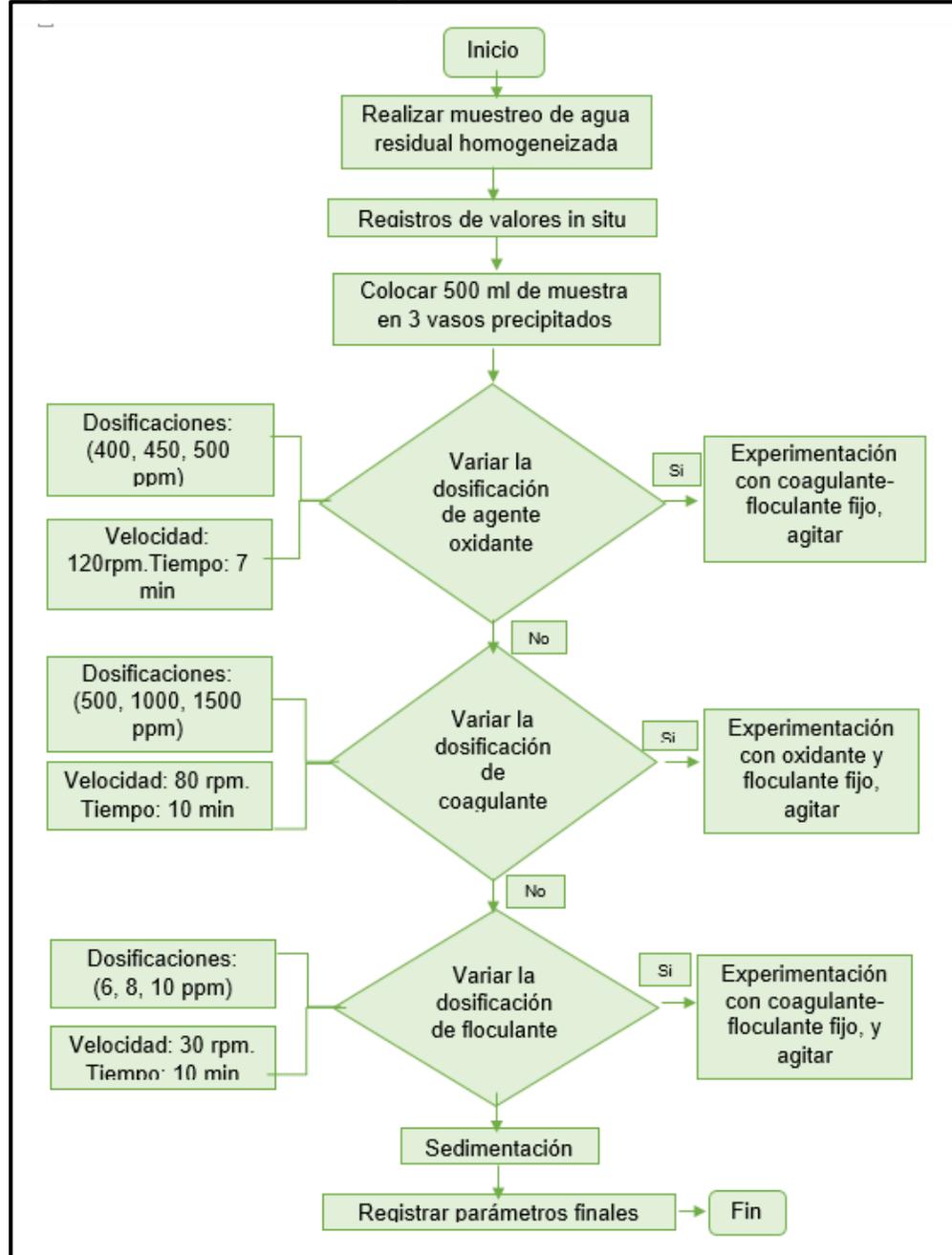
Finalmente se efectúa el proceso de sedimentación en el cual la muestra permanece en estado de reposo durante 15 minutos para que los flocs generados se depositen en la parte inferior del recipiente, después es necesario realizar una filtración simple para remover los lodos contenidos en el agua tratada.

En el anexo E se pueden observar las tablas correspondientes a las dosificaciones, velocidades y concentraciones de los reactivos.

---

<sup>70</sup> Ibid., p. 95

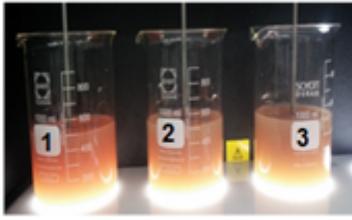
Figura 14. Procedimiento experimental del Test de Jarras.



Fuente: elaboración propia

En el cuadro 4 se ilustran las experimentaciones realizadas en el laboratorio de la Fundación Universidad de América, se observan los resultados del test de jarras al finalizar el tratamiento químico con el agente oxidante, coagulantes y el floculante para así determinar cuál es más eficiente para tratar este tipo de agua residual industrial.

**Cuadro 4.** Experimentación Test de Jarras con Oxidación Coagulación- Floculación

Fotografía	Descripción	Observaciones												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>JARRA</th> <th>Cloruro Ferrico ppm</th> <th>Poliacrilamida ppm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>500</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1000</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1500</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table>	JARRA	Cloruro Ferrico ppm	Poliacrilamida ppm	1	500	6	2	1000	8	3	1500	10	En las jarras 1 y 2 no hubo desestabilización de las partículas, se obtuvo que en la única jarra donde se alcanzó un floc muy pequeño, casi imperceptible fue a la que se le suministro mayor volumen de reactivos (jarra 3)
JARRA	Cloruro Ferrico ppm	Poliacrilamida ppm												
1	500	6												
2	1000	8												
3	1500	10												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>JARRA</th> <th>PAC ppm</th> <th>Poliacrilamida ppm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4</td> <td>500</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>1000</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>1500</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table>	JARRA	PAC ppm	Poliacrilamida ppm	4	500	6	5	1000	8	6	1500	10	No hay diferencia entre la Jarra 4,5,6, hay desestabilización de partículas muy leve
JARRA	PAC ppm	Poliacrilamida ppm												
4	500	6												
5	1000	8												
6	1500	10												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>JARRA</th> <th>Sulfato de Aluminio ppm</th> <th>Poliacrilamida ppm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7</td> <td>500</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>1000</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>1500</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table>	JARRA	Sulfato de Aluminio ppm	Poliacrilamida ppm	7	500	6	8	1000	8	9	1500	10	Desestabiliza el agua inmediatamente lo cual genera floculos de materia orgánica. La jarra 7 presenta sedimentación lenta a diferencia de la 8 y 9.
JARRA	Sulfato de Aluminio ppm	Poliacrilamida ppm												
7	500	6												
8	1000	8												
9	1500	10												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>JARRA</th> <th>ASPRE 098 ppm</th> <th>Poliacrilamida ppm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>500</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>1000</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>1500</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table>	JARRA	ASPRE 098 ppm	Poliacrilamida ppm	10	500	6	11	1000	8	12	1500	10	Se obtienen flocs compactos y de mayor tamaño, lo que permite una rápida sedimentación
JARRA	ASPRE 098 ppm	Poliacrilamida ppm												
10	500	6												
11	1000	8												
12	1500	10												

Fuente: elaboración propia

Según las imágenes se puede concluir como mejores alternativas de coagulantes el Sulfato de Aluminio y ASPRE 098, una vez seleccionados estos agentes con el floculante Poliactilamida se procede a experimentar con las dosificaciones del agente oxidante Hipoclorito de Calcio para encontrar los mejores resultados, en el Anexo E se encuentran especificadas dichas dosificaciones y en la fotografía 5 se muestra el test de jarras para la prueba.

**Fotografía 5.** Experimentación coagulante- floculante, agente oxidante



Fuente: elaboración propia

La Jarra 13 y Jarra 14 al adicionar el agente coagulante - Sulfato de aluminio se observa una desestabilización del agua inmediatamente en comparación con la Jarra 15 y Jarra 16 con agente coagulante - ASPRE 098, sin embargo la formación de flocs es rápida y son de mayor tamaño al adicionar el floculante - Poliacrilamida en las jarras 15 y 16 donde se usó ASPRE 098.

A partir de las observaciones se selecciona la Jarra 16 como mejor alternativa para el tratamiento químico la cual se dosifica con 5,6 ml de Hipoclorito de Calcio 4%, 8,5 ml de ASPRE 098 10% y 1,0 ml de floculante Poliacrilamida 0,5%.

Es importante evaluar la alternativa de la Jarra 14 ya que presenta alta eficiencia como tratamiento primario según los resultados experimentales y puede disminuir los costos en beneficio de la empresa.

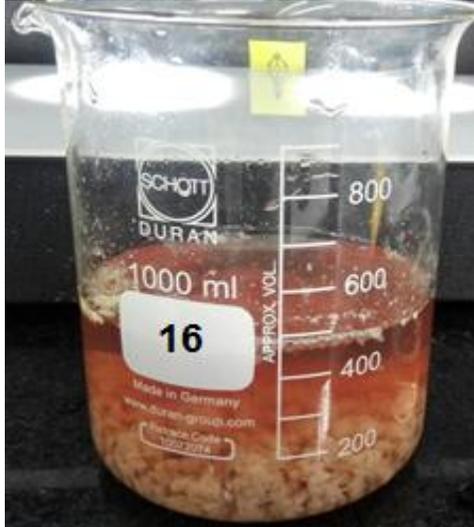
Para concluir la experimentación, se ilustra la tabla 14 que especifica las condiciones en las cuales se trabaja este proceso que logra arrojar los mejores resultados en el tratamiento químico.

**Tabla 15.** Dosificación de reactivos para el tratamiento primario

<b>Reactivos</b>	<b>Ppm</b>	<b>Volumen (ml)</b>	<b>Velocidad (rpm)</b>	<b>Tiempo (min)</b>
Hipoclorito de Calcio	450	5.6	120	10
ASPRE 098	1700	8,5	80	10
Poliacrilamida	10	1.2	30	7

Fuente: elaboración propia

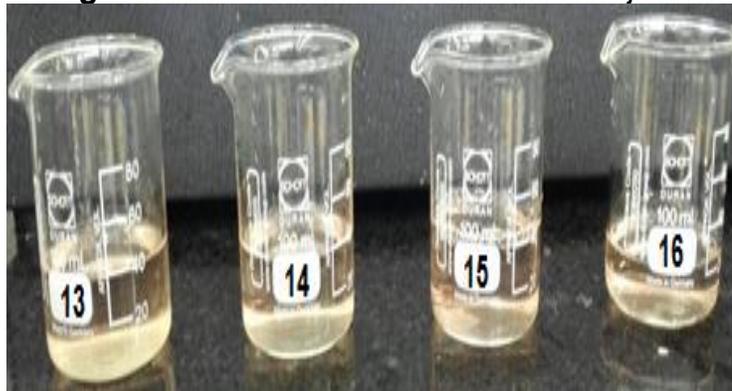
**Fotografía 6.** Alternativa seleccionada



Fuente: elaboración propia

**3.3.5 Filtración.** Una vez terminada la experimentación con las mejores alternativas se realiza un proceso de filtración por medio de embudos y papel de filtro para lograr tener una mejor perspectiva del resultado final de los tratamientos aplicados. Como se puede ver en la fotografía 7 en todas las jarras se obtiene resultados favorables con una alta remoción de color y sólidos suspendidos.

**Fotografía 7.** Resultado filtración de las mejores alternativas.



Fuente: elaboración propia

Una vez culminado el proceso de filtración en todas las muestras finales se realizan los análisis de turbidez para conocer con exactitud el porcentaje de remoción en cada muestra y así la eficiencia del tratamiento químico.

La tabla 15 registra los valores de turbidez antes y después del tratamiento con el fin de establecer la eficiencia de cada uno de los experimentos seleccionados como mejor alternativa.

**Tabla 16.** Valores de turbidez

Experimento	Condiciones iniciales			Condiciones finales			% Remoción de turbidez
	pH	T (°C)	Turbidez (NTU)	pH	T (°C)	Turbidez (NTU)	
13	7,02	5,9	744	4,97	10,02	6,16	99,17
14	7,01	5,8	870	4,69	10,01	13,8	98,41
15	7,2	5,9	870	6,30	10,1	15,2	98,25
16	6,99	5,8	884	6,35	10	10,5	98,81

Fuente: elaboración propia

Evaluando la mejor alternativa del tratamiento químico, la jarra 16 mostrada en la fotografía 8 presenta un porcentaje de remoción de turbidez del 98,81% lo que indica gran eficiencia del agente oxidante, complementando así la selección del tratamiento y enviando a laboratorio para determinar el cumplimiento de los valores establecidos por la resolución 0631 de 2015.

**Fotografía 8.** Proceso de filtración a la mejor alternativa química.



Fuente: elaboración propia

### 3.4 ANÁLISIS DEL TRATAMIENTO PRIMARIO

Debido a que se implementó un tanque de homogenización al proceso antes del tratamiento químico, fue necesario para el análisis tomar como valores actuales el promedio de los resultados obtenidos en las trampas de grasa, y para las muestras de la experimentación se realizó la homogenización de las aguas residuales de las dos bodegas.

A continuación, se muestra en la tabla 16 los promedios actuales y los resultados después del tratamiento que se realizó experimentalmente, verificando el cumplimiento de la normatividad ya establecida.

**Tabla 17.** Resultado tratamiento y cumplimiento normatividad.

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor actual</b>	<b>Resultado tratamiento</b>	<b>Resolución 0631 de 2015</b>
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	311	124	CUMPLE
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L O2	581	415	CUMPLE
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O2	906	896	CUMPLE
Grasas y Aceites	mg/L	99	51,2	CUMPLE

Fuente: elaboración propia

El promedio de los valores de entrada de trampa de grasa 1 y trampa de grasa 2 para Demanda Química de Oxígeno (DQO) permite que el valor este entre los límites mínimos permisibles.

Los valores actuales con los que se incumple la resolución oscilan entre 40% - 60% por encima de los límites máximos permisibles, lo que permitió que el tratamiento químico desarrollado experimentalmente fuera eficiente y se cumpliera con cada uno de los parámetros evaluados.

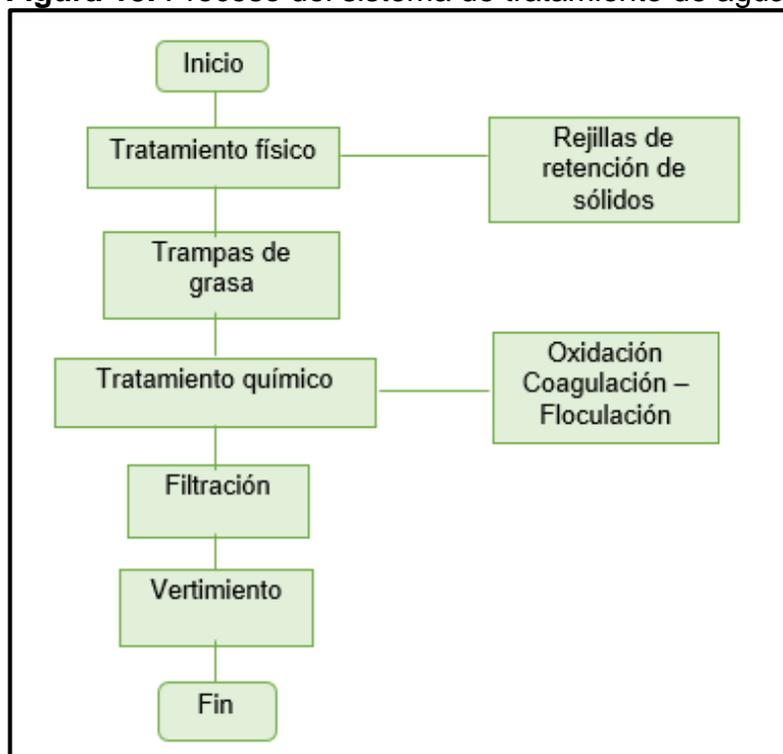
Cuando los valores actuales de la industria a tratar son tres veces o más por encima de los límites permisibles, es necesario estudiar la viabilidad de emplear un tratamiento de mayor eficiencia debido a la alta carga contaminante.

#### 4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Según las condiciones de producción de la empresa y los resultados de la experimentación, se ve la necesidad de implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales para esta industria con el fin de dar cumplimiento a la normatividad, para llevar a cabo este proceso se debe realizar el dimensionamiento de equipos y así lograr un diseño conceptual para la implementación de la planta de tratamiento.

La Figura 15 ilustra la implementación de la alternativa seleccionada como complemento al pre- tratamiento que se realiza actualmente en la empresa, sin embargo, es necesario efectuar como primer media mejoras en dicho proceso como el mantenimiento, limpieza y remoción de lodos, esto a fin de garantizar la efectividad de las rejillas de retención de sólidos y las trampas de grasa las cuales se explicaran a profundidad en este capítulo.

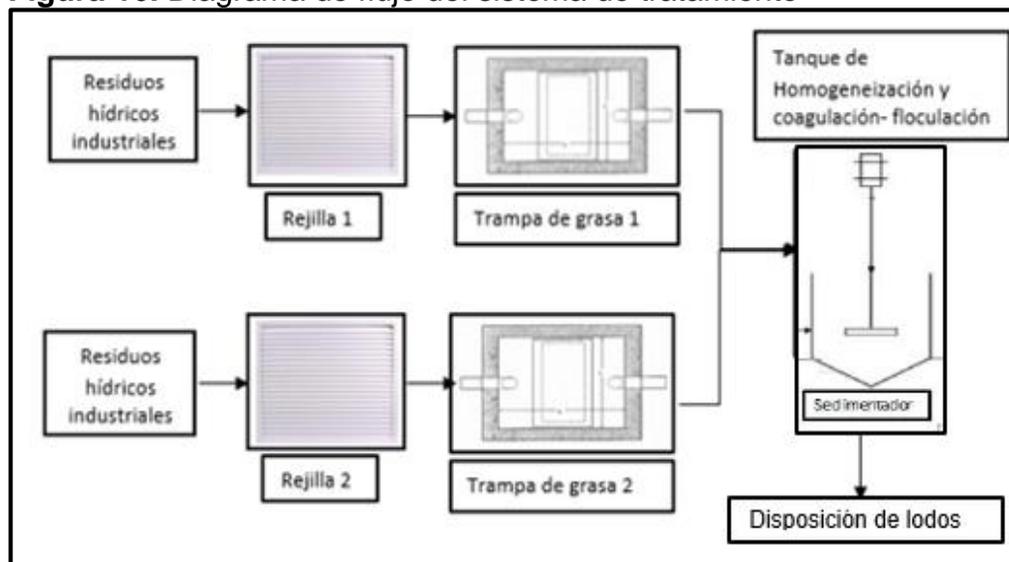
**Figura 15.** Proceso del sistema de tratamiento de aguas residuales.



Fuente: elaboración propia

Con el objetivo de dar cumplimiento al proceso que se propone como mejor alternativa de tratamiento, se ilustra el diseño de equipos para el nuevo sistema incorporando así un tanque de homogenización y un decantador o clarificador; por otro lado, la modificación de los tratamientos presentes actualmente en la empresa como lo muestra la Figura 16.

**Figura 16.** Diagrama de flujo del sistema de tratamiento



Fuente: elaboración propia

#### 4.1 REJILLAS DE RETENCIÓN

Las rejillas de retención constituyen la primera fase del pre-tratamiento, cumplen la función de retener sólidos medianos provenientes del proceso de despresado y lavado del área de producción.

En el proceso de caracterización se evidencia el correcto funcionamiento de las rejillas de retención de sólidos, debido a que estas cuentan con el área suficiente para abarcar el caudal generado en la planta. La rejilla de la bodega N°1 tiene un área de 0,30 m<sup>2</sup> y la de la bodega N°2 0,20 m<sup>2</sup>, se evidencia que los tamaños son suficientes para abastecer el flujo de producción.

Sin embargo, es importante recalcar la constancia en las rutinas de mantenimiento, removiendo los residuos retenidos en el proceso ya que de no hacerlo se podrían generar obstrucciones en las tuberías y la ineficiencia de las rejillas.

Según el Manual De Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento<sup>71</sup> para la operación y mantenimiento primero se debe verificar el buen estado de las rejillas y el mantenimiento retirando las basuras por lo menos una vez al día, sin embargo este proceso se puede realizar según lo establecido en el manual o según la

<sup>71</sup> Comisión Nacional del Agua. Manual De Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Operación y Mantenimiento De Plantas De Tratamiento De Aguas Residuales Municipales: Pretratamiento y Tratamiento Primario. [Documento PDF]. Disponible en: <http://mapasconagua.net/libros/SGAPDS-1-15-Libro46.pdf>

producción lo requiera, también recomiendan limpiar semanalmente con cepillo las rendijas para evitar taponamientos en estas.

## 4.2 TRAMPAS DE GRASAS

En la bodega N°1 la trampa de grasa tiene de profundidad 0,92m, largo 1,52m, ancho 0,47m y tres deflectores en donde las divisiones son de 0,11m de ancho. El área que cubre la trampa de grasa de esta bodega comprende,

$$A= 1,52m * 0,47m$$

$$A= 0,7144 \text{ m}^2$$

El volumen ocupado por dicha trampa se muestra a continuación.

$$V= 1,52m * 0,47m * 0,92m$$

$$V= 0,65 \text{ m}^3$$

La trampa de grasa de la Bodega No. 2 tiene de profundidad 0,52m, largo 0,85m, ancho 0,35m y tres deflectores en donde las divisiones son de 0,08m de ancho

$$A= 0,85m * 0,35m$$

$$A= 0,2975 \text{ m}^2$$

El volumen ocupado por dicha trampa se muestra a continuación.

$$V= 0,85m * 0,35m * 0,52m$$

$$V= 0,1547 \text{ m}^3$$

En las “especificaciones técnicas para el diseño de trampa de grasa” del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental<sup>72</sup> se establecen las características de la trampa, en esta se recomienda que la profundidad no deberá ser menor a 0,80m; por lo cual se deduce que en la Bodega N° 2 no cumple con este requerimiento.

Sin embargo, el área comprendida resulta eficiente para el caudal máximo que se maneja en esta Bodega, esto podría comprobarse realizando pruebas de grasas y

---

<sup>72</sup> Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento Básico del área Rural. (2003). Especificaciones técnicas para el Diseño de Trampas de Grasa. [Documento PDF]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cosude/xv.pdf>

aceites después de implementar el sistema de tratamiento con las respectivas modificaciones que se proponen a continuación.

**4.2.1 Rutina de mantenimiento de las trampas de grasas.** Como se mencionó anteriormente es necesario realizar una mejora en el tratamiento que se desarrolla en la empresa en donde se involucran las dos trampas de grasa debido a las acumulaciones, malos olores y exceso de grasas vertidas a la red de alcantarillado presentes.

A partir de los resultados obtenidos en el laboratorio para la caracterización del agua residual de la empresa se observa el funcionamiento ineficiente de las trampas de grasa, se puede concluir esto con los valores obtenidos en capítulo 2, en el cual se registran los resultados de los parámetros DBO, DQO, SST y grasas y aceites a la salida de las trampas de grasas que se comparan con los de la entrada y evidencian que no se efectúa la remoción de contaminantes si no un aumento en la carga del efluente.

Es fundamental realizar el mantenimiento periódico a las trampas de grasa para que estas funcionen de manera eficiente, a continuación, se ofrecen algunas recomendaciones para mejorar su funcionamiento cumpliendo con el debido proceso de remoción del material flotante, según las Especificaciones técnicas para el Diseño de Trampas de Grasa<sup>73</sup>.

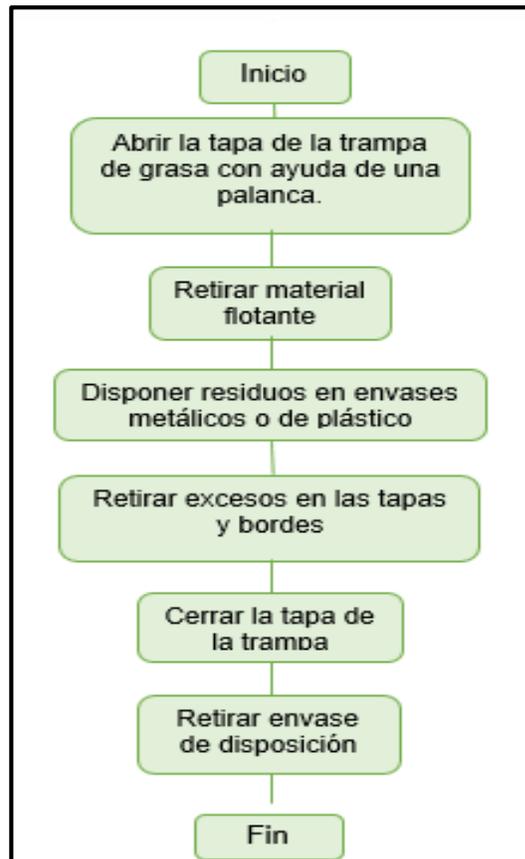
- Los desechos de los desmenuzadores de desperdicios no se deben descargar a la trampa de grasa.
- Las trampas de grasa deberán proyectarse de modo que sean fácilmente accesibles para su limpieza y eliminación o extracción de las grasas acumuladas.
- Las trampas de grasa deberán ubicarse próximas a los aparatos sanitarios que descarguen desechos grasosos, y por ningún motivo deberán ingresar aguas residuales provenientes de los servicios higiénicos.
- Es necesario establecer una rutina de mantenimiento para la correcta remoción de material flotante y debe realizarse al menos 1 vez a la semana o según el volumen de producción lo requiera.
- El lavado de la trampa de grasa debe realizarse mínimo una vez por semana después de desocuparse completamente con una bomba y retirar todos los excesos de residuos con el uso de detergente.

---

<sup>73</sup> Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento Básico del área Rural. Op.cit.

La Figura 17 ilustra el proceso de la rutina de mantenimiento para la remoción del material flotante que queda contenido después del pre-tratamiento que realiza actualmente la empresa, tomando como referencia el procedimiento para limpieza de trampas de grasas establecidos en el Programa General de Mantenimiento para conservar en buen estado la Trampa de Grasas<sup>74</sup>.

**Figura 17.** Rutina de mantenimiento para la remoción de material flotante.



Fuente: elaboración propia

### 4.3 TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Debido al caudal presentado en la empresa los días de alta producción, se genera la necesidad de incorporar al sistema un tanque de almacenamiento en el cual reposen las aguas residuales que por el alto volumen de producción no puedan ser tratadas en un día.

<sup>74</sup> AGUIRRE MORENO, Stephanie. (2014). Programa General de Mantenimiento para conservar en buen estado la trampa de grasas. Universidad Autónoma de Baja California, p.6

Para el diseño de este sistema se propone adecuar un tanque con capacidad de 2.000 L que sea capaz de almacenar suficiente agua aún en los días de alta producción.

#### **4.4 TANQUE DE HOMOGENIZACIÓN**

Se incorpora al proceso un tanque con el fin de unir a un solo tratamiento las aguas provenientes de las dos bodegas de la planta de producción, del mismo modo se busca regular y disminuir los efectos de las variaciones generadas en cuanto a concentración, caudales, tiempos, etc.

Adicionalmente en este mismo tanque se realiza el proceso de agitación de los agentes químicos que se encargan de la oxidación, coagulación y floculación de las aguas residuales, esto debido a que la empresa no cuenta con el presupuesto para incluir dos tanques y realizar por separado los procesos de homogenización y agitación, es por esta razón que se opta por ejecutar los procedimientos en el mismo tanque y de manera independiente.

Se propone realizar el proceso de homogenización de las corrientes de agua provenientes de las Bodegas 1 y 2, una vez unificadas se procede a iniciar la agitación mecánica que tiene como fin adherir los agentes químicos establecidos para el tratamiento, coagulante, floculante y agente oxidante. También se debe realizar el proceso de remoción de lodos los cuales quedan contenidos en el interior del recipiente y que para facilidades técnicas se recomiendan remover una vez bombeado el líquido superficial a la etapa de filtración.

Se requiere incluir un tanque que sea capaz de contener niveles de agua que sobrepasen el caudal máximo de la empresa, las dimensiones del contenedor dependerán directamente de los valores de producción por día, siendo el diámetro directamente proporcional con el volumen de agua que se manejan en los días de alta producción en la planta.

De acuerdo al balance hídrico realizado en el capítulo 2 se establece el caudal máximo diario y con este es posible calcular el volumen, diámetro y altura que se requiere para el tanque de homogenización<sup>75</sup>.

El caudal máximo de la empresa es de 1,6 m<sup>3</sup>/día y se recomienda incrementar en un 15 % el volumen como factor de seguridad por lo cual el volumen (V) del tanque será dado por la Ecuación 8.

#### **Ecuación 8.** Volumen (V) del tanque homogeneizador

---

<sup>75</sup> CRISTANCHO BELLO, Angie Julieth. NOY ORTIZ, Andrés Mauricio. (2016). Diseño conceptual de una planta de tratamiento de aguas residuales para Pelikan Colombia S.A.S. Bogotá D.C. Fundación Universidad de América, p.114

$$V_{\text{tanque}} = 1,6 \text{ m}^3 + (1,6 \text{ m}^3 * 0,15)$$

$$V_{\text{tanque}} = 1,8 \text{ m}^3$$

Según el volumen del tanque y teniendo en cuenta una relación diámetro- altura se obtiene la ecuación para determinar el volumen del cilindro, como se muestra en la Ecuación 9.

**Ecuación 9.** Volumen (V) del cilindro.

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

Teniendo en cuenta que la relación altura-diámetro h/D es de 1,5<sup>76</sup> la Ecuación 9, se expresa en función del diámetro así:

**Ecuación 10.** Diámetro (D) del tanque homogenizador.

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

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * 1,8 \text{ m}^3}{1,5 * \pi}} = 1,15 \text{ m}$$

**Ecuación 11.** Altura (h) del tanque homogenizador.

$$h = D * 1,5$$

$$h = 1,15 \text{ m} * 1,5 = 1,72 \text{ m}$$

Reemplazando en la Ecuación 9 se obtiene el valor del volumen (V) del cilindro.

$$V_{\text{cilindro}} = \frac{\pi}{4} * 1,15 \text{ m} * 1,72 \text{ m} = 1,5 \text{ m}^3$$

Una vez dimensionado el tanque Homogenizador- Agitador se requiere del análisis de la paleta que será incorporada en dicho tanque, para ello se usan las velocidades de agitación para paleta tipo pala que trabaja en un rango de 20 a 150 rpm, para

---

<sup>76</sup> CRISTANCHO BELLO Y NOY ORTIZ.Op.cit.,p.114

calcular la potencia requerida mediante la Ecuación 12 se utiliza una velocidad promedio de 90 rpm y las siguientes consideraciones<sup>77</sup>.

Este agitador se describe para un tanque cuyo diámetro es 1,15m y una altura de 1,72m, por lo cual se dispone de las siguientes consideraciones de diseño del equipo. Suponiendo que:

$$\frac{1,15 \text{ m}}{d} = 3 \quad \text{y} \quad \frac{h}{d} = 1$$

Entonces  $d = 0,38\text{m}$  y  $h = 0,38\text{m}$ .

**Ecuación 12.** Potencia requerida

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

En donde la densidad del agua es ( $\rho$ )= 1000 kg/m<sup>3</sup> y (K) es una constante que equivale a 6,30. Reemplazando los datos en la ecuación la potencia sería:

$$P = 6,30 * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (1,5 \text{ rps})^3 * (0,38)^5 = 168 \text{ W}$$

La eficiencia del mezclado en el tanque homogenizador es de 75%, lo que corresponde a

$$\frac{168 \text{ W}}{(0,75 * 1000)} = 0,224 \text{ KW es decir } 0,300 \text{ HP}$$

Una vez dimensionado esto, se puede proceder a calcular factores como la longitud de la paleta del impulsor y el diámetro del disco central así<sup>78</sup>.

**Ecuación 13.** Longitud de la paleta del impulsor (r).

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

$$r = \frac{0,38}{4} = 0,095 \text{ m}$$

El diámetro del disco central se calcula de la siguiente manera:

**Ecuación 14.** Diámetro del disco central (S)

<sup>77</sup> CRISTANCHO BELLO Y NOY ORTIZ.Op.cit.,p.115

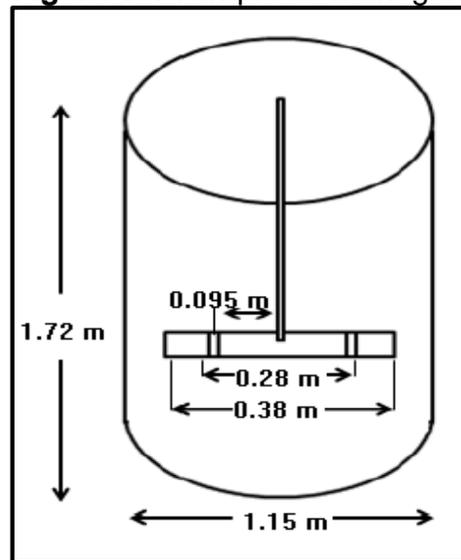
<sup>78</sup> CRISTANCHO BELLO Y NOY ORTIZ.Op.cit.,p.116

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

$$S = \frac{1,15 \text{ m}}{4} = 0,2875 \text{ m}$$

Según los valores calculados es posible implementar este equipo a la empresa para dar cumplimiento al sistema de tratamiento, tal como lo muestra la Figura 18.

**Figura 18.** Tanque de homogenización



Fuente: Elaboración propia

#### 4.5 TANQUE CLARIFICADOR

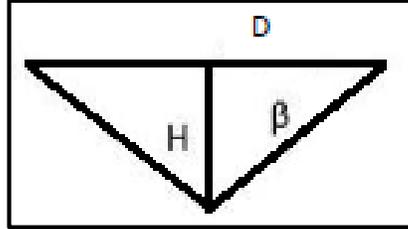
El tanque clarificador o sedimentador tiene como fin remover los lodos contenidos en el tanque posterior al proceso de coagulación-floculación, esta sección será incorporada en la zona inferior del tanque de homogenización.

Debido al presupuesto y espacio con el que cuenta la empresa actualmente para el sistema de tratamiento, se incluye el proceso de clarificación en el mismo tanque de homogenización, en esta sección se realiza el dimensionamiento de la parte cónica de este para lograr su adaptación.

Tomando como referencia las dimensiones del tanque homogenizador calculadas anteriormente se calculan las del clarificador.

La sección cónica del tanque que garantiza un mayor tiempo de retención de lodos, se define con un ángulo de 45° respecto a la horizontal<sup>79</sup>.

**Figura 19.** Sección cónica del tanque



Fuente: elaboración propia

El dimensionamiento de esta sección se realiza según la Ecuación 15<sup>80</sup>.

**Ecuación 15.** Dimensionamiento de la sección cónica.

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

$$\text{Cateto opuesto (H cono)} = (\text{Tan } \beta) * \text{Cateto adyacente (r)}$$

Realizando la conversión de grado a radianes se obtiene:

$$45^\circ = 0,79 \text{ radianes}$$

$$\text{Cateto opuesto (H cono)} = (\text{Tan } 0,79) * \frac{1,15 \text{ m}}{2} = 0,58 \text{ m}$$

Para calcular el volumen del cono se utiliza la Ecuación 16.

**Ecuación 16.** Volumen (V) del cono

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

$$V_{\text{cono}} = \frac{(\pi * 0,575 \text{ m}^2 * 0,58 \text{ m})}{3} = 0,20 \text{ m}^3$$

Una vez determinado el volumen de la sección cónica, es posible calcular la altura total del tanque clarificador.

**Ecuación 17.** Volumen (V) total del cilindro.

$$V_{\text{cilindro}} = (V_{\text{tanque}}) - (V_{\text{cono}})$$

<sup>79</sup> CRISTANCHO BELLO Y NOY ORTIZ.Op.cit.,p.118

<sup>80</sup> CRISTANCHO BELLO Y NOY ORTIZ.Op.cit.,p.119

$$V_{cilindro} = 1,8 \text{ m}^3 - 0,20 \text{ m}^3 = 1,6 \text{ m}^3$$

**Ecuación 18.** Altura (h) del cilindro.

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

$$h_{cilindro} = \frac{4 * 1,6 \text{ m}^3}{\pi * (1,15 \text{ m})^2} = 1,54 \text{ m}$$

Entonces, la altura total del clarificador es.

**Ecuación 19.** Altura total del tanque clarificador.

$$h_{total \ tanque \ clarificador} = h_{cono} + h_{cilindro}$$

$$h_{total \ tanque \ clarificador} = 0,58 \text{ m} + 1,54 \text{ m} = 2,12 \text{ m}$$

Se establece que una tercera parte del agua residual industrial generada del sistema de tratamiento está constituida por sólidos<sup>81</sup>, por lo cual el volumen de la salida lateral será de 0,53 m<sup>3</sup>. Para calcular la altura de la salida lateral se parte de la siguiente ecuación.

**Ecuación 20.** Volumen de la salida lateral (V)

$$V_{total} = V_{cono} + V_{cilindro}$$

$$V_{cilindro} = 0,20 \text{ m}^3 + 0,53 \text{ m}^3 = 0,73 \text{ m}^3$$

**Ecuación 21.** Altura de salida lateral (h).

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

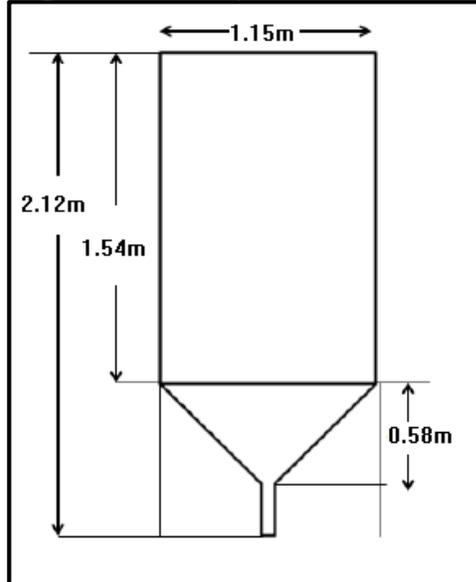
$$h_{cilindro} = \frac{4 * 0,73 \text{ m}^3}{\pi * (1,15 \text{ m})^2} = 0,70 \text{ m}$$

La siguiente figura 20 representa las dimensiones del tanque clarificador.

---

<sup>81</sup> CRISTANCHO BELLO Y NOY ORTIZ.Op.cit.,p.12

**Figura 20.** Tanque clarificador.



Fuente: elaboración propia

Dosificación de agentes químicos. Los siguientes cálculos se realizaron con base en la experimentación del tratamiento, como primer cálculo se encuentran las diluciones de los reactivos utilizados según el capítulo 3, posteriormente se establece la cantidad de estos agentes que se adicionaron a las muestras para así realizar la conversión de 1.600 L/día que es el caudal máximo promedio de la planta de producción.

- Sulfato de Aluminio granulado.

$$7,5 \text{ ml} * \frac{30 \text{ g}}{300 \text{ ml}} = 0,75 \text{ g}$$

$$1.630 \text{ L} * \frac{0,75 \text{ g}}{0,5 \text{ L}} = 2445 \text{ g} = 2,44 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

- ASPRE 0,98 liquido.

$$8,5 \text{ ml} * \frac{50 \text{ ml}}{550 \text{ ml}} = 0,773 \text{ ml}$$

$$1.630 \text{ L} * \frac{0.000733 \text{ L}}{0,5 \text{ L}} = 2,52 \text{ L/día}$$

- Poliacrilamida granulada.

$$1,2 \text{ ml} * \frac{2,5 \text{ g}}{500 \text{ ml}} = 0,006 \text{ g}$$

$$1.630 L * \frac{0,006g}{0,5 L} = 19,56g = \mathbf{0,019 kg/día}$$

➤ Hipoclorito de calcio granulado.

$$5,6 ml * \frac{22,5 g}{562,5 ml} = 0,224 g$$

$$1.630 L * \frac{0,224g}{0,5 L} = 730g = \mathbf{0,73 kg/día}$$

## 5. ESTIMACIÓN DE COSTOS

Se requiere estimar los costos de la alternativa probada para el tratamiento de las aguas residuales, suponiendo que se lleve a cabo la implementación de la propuesta en la empresa, la cual se realiza con el fin de disminuir el impacto de la carga contaminante presente en las aguas residuales de dicha industria. Estos factores fisicoquímicos se estabilizan con el fin de dar cumplimiento a la normatividad requerida por los entes reguladores para estos residuos hídricos.

A continuación, se presentan los costos establecidos para la incorporación del sistema de tratamiento a la empresa, en el Anexo G se encuentran las cotizaciones correspondientes como soporte de la información suministrada en la tabla.

### 5.1 TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO SEGÚN ALTERNATIVA

Como se estudió en capítulos anteriores es necesario implementar una alternativa química para lograr la efectividad en el tratamiento, a continuación, se muestran los costos de los reactivos a utilizar y la cantidad necesaria.

En la tabla 17 se registran los valores correspondientes a los reactivos para su consumo mensual y costo por kg o L según su estado, el valor de los agentes químicos es suministrado por cada una de las empresas mostradas a continuación.

**Tabla 18.** Costos de reactivos a utilizar en el tratamiento químico.

Concepto	Reactivo	Proveedor	Unidad	Consumo mensual	Valor unitario COP	Valor mensual COP
<b>Coagulante</b>	Sulfato de Aluminio	CIACOMEQ S.A.S	k g	58,56	1.920	112.435
<b>Coagulante</b>	ASPRE 098	CIACOMEQ S.A.S	L	60,48	4.173	252.383
<b>Floculante</b>	Poliacrilamida	CIACOMEQ S.A.S	k g	0,456	22.000	10.032
<b>Oxidante</b>	Hipoclorito de Calcio	CIMPA S.A.S	k g	17,52	7.400	129.648
					<b>Total</b>	<b>252.115</b>

Fuente: elaboración propia

El tratamiento utilizado como mejor alternativa y que se analizó en el laboratorio fue con el coagulante Sulfato de Aluminio por costo de **\$252.115**, sin embargo, se observa el costo con el coagulante- floculante ASPRE 098 que a pesar de presentar un porcentaje de remoción de turbidez de 98,81% tiene un costo mensual por reactivos químicos de **\$392.063**, lo que representa un incremento en el presupuesto que no se ajusta a los recursos de la empresa.

## 5.2 TANQUE DE ALMACENAMIENTO

El tanque de almacenamiento se incorpora al proceso debido a que los días de alta producción se observan unos picos en el caudal de hasta 6m<sup>3</sup>, por lo cual se propone implementar un tanque de 2m<sup>3</sup> capaz de almacenar el agua residual que no alcance a ser tratada en el día. El material de dicho tanque es Polietileno y cuenta con unas dimensiones de 1,83 m de alto y 1,22 m de ancho; por su higiene, resistencia y capacidad, son ideales para el almacenamiento de aguas residuales industriales. El costo del tanque de almacenamiento según la tienda online<sup>82</sup> es de **\$ 438.900**.

## 5.3 TANQUE HOMOGENIZADOR Y CLARIFICADOR

A partir de los cálculos realizados en el capítulo anterior es posible determinar el área ocupada por el tanque clarificador y así establecer sus costos.

**Ecuación 22.** Área (A) del tanque homogenizador

$$A = 2\pi r (h + r)$$

$$A = 2 * \pi * 0,575m (1,54m + 0,575m) = 7,64 m^2$$

**Ecuación 23.** Área (A) de la sección cónica del clarificador.

$$A = \pi r^2 + \pi r g$$

$$\text{Donde } g = \sqrt{h^2 + r^2}$$

$$A = \pi * (0,575m)^2 + \pi * (0,575m) * \left(\sqrt{(0,58m)^2 + (0,575m)^2}\right)$$

$$A = 2,51m^2$$

El material seleccionado para el diseño del tanque clarificador es polipropileno según la empresa FLEXOLAM Ltda y tiene un costo de **\$938.000**

## 5.4 ANALISIS FINANCIERO

Según la estimación financiera realizada anteriormente se evidencian los costos que requiere la empresa para llevar a cabo el tratamiento de las aguas residuales, teniendo así inicialmente un costo de inversión referentes al tanque de

---

<sup>82</sup> Homecenter. [En línea]. Disponible en: <http://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/300069/Tanque-2.000-Litros-Negro/300069>

almacenamiento, tanque de homogeneización y clarificación, adicionalmente los agentes químicos por 1 mes que suman un total de **\$ 1'630.000**.

Se estiman los costos de manutención mensual para el tratamiento propuesto por valor de **\$252.115** según la tabla 17, correspondiente a los agentes químicos de coagulación- floculación y oxidación.

Se recurre a un operario el cual será capacitado para encargarse del correcto funcionamiento de la alternativa, cumpliendo con el proceso una o dos veces al día dependiendo del volumen de producción diario, el salario estimado para dicho operario según indeed es de **\$756.842**<sup>83</sup> mensuales por un trabajo aproximado de 3 a 5 horas diarias.

Según la ley de vertimientos 1333 de Julio 21 de 2009, en el artículo 40 se establecen las sanciones que se impondrán al infractor de las normas ambientales, de acuerdo con la gravedad mediante resolución motivada las cuales podrían sumar por ejemplo **2.600 millones** de pesos más el daño, más el carácter penal, más el carácter policivo, más el carácter de infracción.

Por lo anterior se hace evidente el deber como empresa de proteger los recursos hídricos cumpliendo con los parámetros que exige la resolución 0631 de 2015 del MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE mediante el tratamiento propuesto en el que su costo se hace mínimo en comparación con las multas económicas y algunas otras disposiciones que se establecen: como cierre temporal o definitivo de la empresa, Revocatoria o caducidad de licencia ambiental, entre otras.

---

<sup>83</sup> Indeed. [en línea]. Disponible en: <https://co.indeed.com/salaries/Operario/a-de-producci%C3%B3n-Salaries>

## 6. CONCLUSIONES

Se evidenció que la empresa Inversiones WUMU S.A.S- Pronto Aves no cumple con los parámetros límites permisibles de DBO, DQO, SST, Grasas y aceites, establecidos en la resolución 0631 del 17 de marzo de 2015, a pesar de que se realiza un pre tratamiento actualmente en las trampas de grasas de la empresa, es ineficiente ya que en los resultados de las muestras se puede observar un mayor porcentaje de contaminación en las salidas de las trampas de grasa con respecto a la entrada.

Experimentalmente se determinó que el mejor agente coagulante para utilizar en el tratamiento fisicoquímico es el ASPRE 098 en combinación con el floculante Poliacrilamida y una adición del agente oxidante Hipoclorito de Calcio, sin embargo por los recursos con los que cuenta la empresa se decide utilizar el Sulfato de aluminio como agente coagulante puesto que es más económico y presenta una eficiencia de 98.41%.

Se incorporó al pre tratamiento realizado actualmente por la empresa, un tratamiento primario que cuenta con un tanque de almacenamiento de 2 m<sup>3</sup>, un tanque homogeneizador y clarificador para adición de agentes químicos y disposición de lodos resultantes.

El tratamiento tiene un costo de inversión de **\$ 2'386.842** correspondientes a tanque de almacenamiento, tanque homogeneizador y clarificador, costo de tratamiento por un mes y salario de operario encargado, el costo mensual por concepto de tratamiento primario y operario es de **\$ 1'008.957**.

## 7. RECOMENDACIONES

- Validar la rutina de mantenimiento de trampas de grasas y rejillas sugerida en este proyecto para verificar la mejora en la eficiencia en el tratamiento.
- Realizar experimentación con tratamiento biológico para verificar su efectividad
- Realizar experimentación con medios filtrantes aplicables para el tratamiento de aguas como alternativa para mejorar la eficiencia.

## BIBLIOGRAFÍA

AGUIRRE MORENO, Stephanie. Programa General de Mantenimiento para conservar en buen estado la trampa de grasas. Baja California. Universidad Autónoma de Baja California, 2014.

ALARCÓN RONDÓN, Eliana Iveth. NEITA PINTO, Laura Catalina. Propuesta para la reutilización del agua residual tratada en una empresa de cereales en la ciudad de Bogotá. Bogotá D.C. Fundación Universidad de América, 2017

CALDERA, Yaxcelys. GUTIERREZ, Edixon. LUENGO, Mirvia. CHAVEZ, Javier. RUESGA, Leopoldo. EVALUACION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA AVICOLA. Zulia Vol. XX. "Zulia.: Revista Científica.2010" Universidad de Zulia. Maracaibo, Venezuela.

Comisión Nacional del Agua. Manual De Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Operación y Mantenimiento De Plantas De Tratamiento De Aguas Residuales Municipales: Pretratamiento y Tratamiento Primario.

CRISTANCHO BELLO, Angie Julieth. NOY ORTIZ, Andrés Mauricio. Diseño conceptual de una planta de tratamiento de aguas residuales para Pelikan Colombia S.A.S. Bogotá D.C. Fundación Universidad de América, 2016

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE TRAMPA DE GRASA. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima, 2003.

GOMEZ DAZA, Elcy. ESTUDIO DE GESTION AMBIENTAL PARA LA EMPRESA AVICOLA AGRICOLA MERCANTIL DEL CAUCA - AGRICCA S.A. Manizales: UNIVERSIDAD DE MANIZALES, 2012

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

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

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

LIZARAZO BECERRA, Jenny Milena. ORJUELA GUTIÉRREZ Martha Isabel. SISTEMAS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN

COLOMBIA. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Medicina, Especialización en Administración en Salud Pública Bogotá, Colombia, 2013

MANCI. NUEVO SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. El sitio avícola. 2013

Manual de caracterización de aguas residuales industriales. ANDI. Medellín, 1997.

MARQUEZ R., Adriana y otros. Descripción y evaluación del funcionamiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales en una industria avícola. Revista Ingeniería UC. Volumen 11, 2004

MARTÍNEZ ORJUELA, Mónica Roció. FONSECA GONZALEZ, Natalia. 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.

PELIKAN COLOMBIA S.A.S. Planos De La Planta de Producción PCSAS, Bogotá D.C. 2016.

PÉREZ VILLA, María Victoria. VILLEGAS CALLE, Rodolfo Alejandro. PROCEDIMIENTOS PARA EL MANEJO DE RESIDUOS ORGÁNICOS AVÍCOLAS. Universidad de Antioquia. Facultad de ciencias agrarias. Escuela de producción Agropecuaria. Medellín, 2009

RAMIREZ, Leonardo. Uso de filtros lentos para el tratamiento de agua a nivel domiciliario. Ingeniería Hidráulica y ambiental volumen XXIII. 2002

Resolución 0631 17 de marzo del 2015 —Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño. Bogotá: Escuela colombiana de ingeniería. 1999

Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento Básico del área Rural. (2003). Especificaciones técnicas para el Diseño de Trampas de Grasa.

# **ANEXOS**

**ANEXO A.  
REGISTRO DEL CONSUMO DE AGUA - MARZO 2018**

<b>Fecha</b>	<b>Día</b>	<b>Contador</b>	<b>Consumo (m3)</b>
01/03/2018	Jueves	688	1
02/03/2018	Viernes	689	4
03/03/2018	Sábado	693	2
05/03/2018	Lunes	695	1
06/03/2018	Martes	696	1
07/03/2018	Miércoles	697	1
08/03/2018	Jueves	698	2
09/03/2018	Viernes	700	5
10/03/2018	Sábado	705	3
12/03/2018	Lunes	708	1
13/03/2018	Martes	709	1
14/03/2018	Miércoles	710	1
15/03/2018	Jueves	711	2
16/03/2018	Viernes	713	4
17/03/2018	Sábado	717	2
19/03/2018	Lunes	719	1
20/03/2018	Martes	720	1
21/03/2018	Miércoles	721	1
22/03/2018	Jueves	722	2
23/03/2018	Viernes	724	4
24/03/2018	Sábado	728	2
26/03/2018	Lunes	730	1
27/03/2018	Martes	731	1
28/03/2018	Miércoles	732	1
29/03/2018	Jueves	733	1
30/03/2018	Viernes	734	5
31/03/2018	Sábado	739	2

**ANEXO B.**  
**CONTROL DE FLUJO**  
**BODEGA 1**

<b>CONTROL DE FLUJO - BODEGA 1</b>			
<b>FECHA: 02/03/2018</b>			
<b>Hora</b>	<b>Volumen (L)</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Caudal (L/s)</b>
04:00	2,5	346,8	0,007208766
04:30	2,5	187,3	0,013347571
05:00	2,5	93,58	0,02671511
05:30	2,5	82,57	0,03027734
06:00	2,5	57,21	0,043698654
06:30	2,5	115,39	0,021665656
07:00	2,5	92,38	0,027062135
07:30	2,5	101,25	0,024691358
08:00	2,5	85,58	0,029212433
08:30	2,5	92,12	0,027138515
09:00	2,5	88,71	0,028181716
09:30	2,5	177,91	0,014052049
10:00	2,5	262,21	0,009534343
10:30	2,5	92,43	0,027047495
11:00	2,5	77,12	0,032417012
11:30	2,5	50,08	0,049920128
12:00	2,5	37,14	0,06731287
12:30	2,5	10,37	0,241080039
13:00	2,5	4,72	0,529661017
13:30	2,5	5,73	0,436300175
14:00	2,5	3,93	0,636132316
14:30	2,5	5,22	0,478927203
15:00	2,5	4,73	0,528541226
15:30	2,5	3,87	0,645994832
16:00	2,5	2,43	1,028806584
16:30	2,5	3,72	0,672043011
17:00	2,5	4,97	0,503018109

## CONTROL DE FLUJO BODEGA 2

CONTROL DE FLUJO - BODEGA 2			
FECHA: 02/03/2018			
Hora	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
04:00	2,5	256,4	0,00975039
04:30	2,5	187,3	0,013347571
05:00	2,5	179,3	0,013943112
05:30	2,5	158,3	0,015792798
06:00	2,5	106,13	0,023556016
06:30	2,5	86,82	0,028795208
07:00	2,5	96,86	0,025810448
07:30	2,5	257,59	0,009705346
08:00	2,5	497	0,005030181
08:30	2,5	501,48	0,004985244
09:00	2,5	660	0,003787879
09:30	2,5	977,2	0,00255833
10:00	2,5	986,7	0,002533698
10:30	2,5	456,7	0,005474053
11:00	2,5	579,8	0,004311832
11:30	2,5	134,8	0,018545994
12:00	2,5	118,8	0,021043771
12:30	2,5	86,58	0,028875029
13:00	2,5	18,69	0,13376137
13:30	2,5	290,84	0,008595792
14:00	2,5	10,44	0,239463602
14:30	2,5	258,9	0,009656238
15:00	2,5	456,9	0,005471657
15:30	2,5	687,4	0,003636893
16:00	2,5	897,7	0,002784895

## ANEXO C. REPORTE DE RESULTADOS TRAMPA DE GRASA 1



REPORTE DE RESULTADOS DE LABORATORIO No. A-0025-18

Bogota D.C., Marzo 13 de 2018

Pagina 1 de 2

DATOS DEL CLIENTE	IDENTIFICACION DE LA MUESTRA
INVERSIONES WAMU TATIANA FERNANDEZ CARRERA 68B No 5-53 3177409295 N.E.	PRODUCTO/MATRIZ: AGUA RESIDUAL NO DOMESTICA MUESTREO A CARGO DE: CLIENTE PROCEDIMIENTO DE MUESTREO: N.E. PLAN DE MUESTREO ANTEK No.: N.A. IDENTIFICACION DE MONITOREO: N.E. NUMERO TOTAL DE MUESTRAS: 4 LUGAR DE MUESTREO: EMPRESA INVERSIONES WAMU PLANTA DE TRATAMIENTO TIPO DE MUESTREO: N.E.
FECHA DE MUESTREO: 2018-02-27	FECHA DE RECEPCION DE MUESTRAS: 2018-02-28
FECHA DE ANALISIS: 2018-02-28 AL 2018-03-12	
Rango de Temperatura Ambiente Durante los Ensayos (°C): 13 - 35 :: Humedad Relativa Durante los Ensayos (%): < 80	

PARAMETRO	UNIDADES	TECNICA ANALITICA	METODO	SALIDA TRAMPA DE GRASAS BODEGA 1	ENTRADA TRAMPA DE GRASAS BODEGA 1
				ANTEK 92	ANTEK 93
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	SECADO A 103-105° C - GRAVIMETRICO	SM 2540 D	246	249
DBO5	mg/L O2	INCUBACION 5 DIAS - ELECTRODO DE MEMBRANA	SM 5210 B - SM 4500-O G	483	706
DQO	mg/L O2	REFLUJO CERRADO - VOLUMETRICO	SM 5220 C	755	1 180

N.E. : NO ESTABLECIDO N.A. : NO APLICA

**OBSERVACIONES:**

METODO DE ANALISIS UTILIZADO: STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER & WASTEWATER 22nd EDITION 2012, APHA, AWWA, WEF.

RESULTADOS VALIDOS UNICAMENTE PARA LA(S) MUESTRA(S) ANALIZADA(S) - PROHIBIDA LA REPRODUCCION PARCIAL DE ESTE INFORME SIN AUTORIZACION ESCRITA DEL LABORATORIO - LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS NO DEBEN SER UTILIZADOS COMO UNA CERTIFICACION DE CONFORMIDAD CON NORMAS DE PRODUCTO O COMO CERTIFICADO DEL SISTEMA DE CALIDAD DE LA ENTIDAD QUE LO PRODUCE - LOS LABORATORIOS CON LOS QUE SE SUBCONTRATAN ANALISIS SON ACREDITADOS POR EL INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM) EL CUAL NO ES UN ORGANISMO DE ACREDITACION FIRMANTE DEL ACUERDO DE RECONOCIMIENTO MULTILATERAL DE AAC: INTERNATIONAL LABORATORY ACCREDITATION COOPERATION) EL MINISTERIO DE AMBIENTE BAJO EL DECRETO 1800 DEL 27 DE JULIO DE 1994, DELEGA AL IDEAM COMO ORGANISMO PARA DIRIGIR Y COORDINAR EL SISTEMA DE INFORMACION AMBIENTAL, Y LA RED DE LABORATORIOS QUE PRODUZCAN DATOS E INFORMACION FISICA, QUIMICA Y BIOTICA A NIVEL NACIONAL.

ANTEK - OSWMD IL TE4 - SOLUCIONES ANALITICAS PARA LA INDUSTRIA

AUTORIZO

*[Firma]*  
 Quijico Danilo Torres Avila  
 Director de Laboratorio



## ANEXO D. REPORTE DE RESULTADOS TRAMPA DE GRASA 2



REPORTE DE RESULTADOS DE LABORATORIO No. A-0025-18

Bogota D.C., Marzo 13 de 2018

Pagina 2 de 2

DATOS DEL CLIENTE	IDENTIFICACION DE LA MUESTRA
INVERSIONES WAMU TATIANA FERNANDEZ CARRERA 88B No 5-53 3177409295 N.E	PRODUCTO/MATRIZ: AGUA RESIDUAL NO DOMESTICA MUESTREO A CARGO DE: CLIENTE PROCEDIMIENTO DE MUESTREO: N.E. PLAN DE MUESTREO ANTEK No.: N.A. IDENTIFICACION DE MONITOREO: N.E. NUMERO TOTAL DE MUESTRAS: 4 LUGAR DE MUESTREO: EMPRESA INVERSIONES WAMU PLANTA DE TRATAMIENTO TIPO DE MUESTREO: N.E.
FECHA DE MUESTREO: 2018-02-27	FECHA DE RECEPCION DE MUESTRAS: 2018-02-28
FECHA DE ANALISIS: 2018-02-28 AL 2018-03-12	
Rango de Temperatura Ambiente Durante los Ensayos (°C): 13 - 35 :: Humedad Relativa Durante los Ensayos (%): < 80	

PARAMETRO	UNIDADES	TECNICA ANALITICA	METODO	SALIDA TRAMPA DE GRASAS BODEGA 2	
				ENTRADA TRAMPA DE GRASAS BODEGA 2 ANTEK 94	ANTEK 95
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	SECADO A 103-105° C - GRAVIMETRICO	SM 2540 D	376	436
DBOS	mg/L O2	INCUBACION 5 DIAS - ELECTRODO DE MEMBRANA	SM 5210 B - SM 4500-O G	678	1 320
DQO	mg/L O2	REFLUJO CERRADO - VOLUMETRICO	SM 5220 C	1056	2 060

N.E. : NO ESTABLECIDO N.A. : NO APLICA

**OBSERVACIONES:**

METODO DE ANALISIS UTILIZADO: STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER & WASTEWATER 22nd EDITION 2012, APHA, AWWA, WEF.

RESULTADOS VALIDOS UNICAMENTE PARA LA(S) MUESTRA(S) ANALIZADA(S) - PROHIBIDA LA REPRODUCCION PARCIAL DE ESTE INFORME SIN AUTORIZACION ESCRITA DEL LABORATORIO - LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS NO DEBEN SER UTILIZADOS COMO UNA CERTIFICACION DE CONFORMIDAD CON NORMAS DE PRODUCTO O COMO CERTIFICADO DEL SISTEMA DE CALIDAD DE LA ENTIDAD QUE LO PRODUCE - LOS LABORATORIOS CON LOS QUE SE SUBCONTRATAN ANALISIS SON ACREDITADOS POR EL INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES IDEAM EL CUAL NO ES UN ORGANISMO DE ACREDITACION FIRMANTE DEL ACUERDO DE RECONOCIMIENTO MULTILATERAL DE IAC (INTERNATIONAL LABORATORY ACCREDITATION COOPERATION) EL MINISTERIO DE AMBIENTE BAJO EL DECRETO 1800 DEL 27 DE JULIO DE 1994, DELEGA AL IDEAM COMO ORGANISMO PARA DIRIGIR Y COORDINAR EL SISTEMA DE INFORMACION AMBIENTAL, Y LA RED DE LABORATORIOS QUE PRODUCEN DATOS E INFORMACION FISICA, QUIMICA Y BIOTICA A NIVEL NACIONAL.

ANTEK - OSMA MDTLE4 - SOLUCIONES ANALITICAS PARA LA INDUSTRIA

AUTORIZADO  
  
 Químico Danilo Torres Avila  
 Director de Laboratorio



**ANEXO E.  
EXPERIMENTACION TEST DE JARRAS**

A. Experimentación coagulante Cloruro Férrico Vs floculante Poliacrilamida

Exp	<b>Cloruro Férrico 10%</b>				<b>Poliacrilamida 0.5 %</b>			
	ppm	Volumen (ml)	Velocidad (rpm)	Tiempo (min)	Ppm	Volumen (ml)	Velocidad (rpm)	Tiempo (min)
1	500	2,5	80	10	6	0,6	30	7
2	1000	5	80	10	8	0,8	30	7
3	1500	7,5	80	10	10	1	30	7

Fuente: elaboración propia

B. Experimentación coagulante Sulfato de Aluminio Vs floculante Poliacrilamida

Exp	<b>Sulfato de Aluminio</b>				<b>Poliacrilamida</b>			
	ppm	Volumen (ml)	Velocidad (rpm)	Tiempo (min)	Ppm	Volumen (ml)	Velocidad (rpm)	Tiempo (min)
1	500	2.5	80	10	6	0,6	30	7
2	1000	5	80	10	8	0,8	30	7
3	1500	7.5	80	10	10	1	30	7

Fuente: elaboración propia

C. Experimentación coagulante Hidroxicloruro de Aluminio (PAC) Vs floculante Poliacrilamida

Exp	<b>Hidroxicloruro de Aluminio</b>				<b>Poliacrilamida</b>			
	ppm	Volumen (ml)	Velocidad (rpm)	Tiempo (min)	Ppm	Volumen (ml)	Velocidad (rpm)	Tiempo (min)
1	500	2.5	80	10	6	0.6	30	7
2	1000	5	80	10	8	0.8	30	7
3	1500	7.5	80	10	10	1	30	7

Fuente: Elaboración propia

D. Experimentación coagulante- floculante ASPRE 098 Vs floculante Poliacrilamida

<b>ASPRE 098</b>					<b>Poliacrilamida</b>			
Exp	ppm	Volume n (ml)	Velocida d (rpm)	Tiemp o (min)	pp m	Volume n (ml)	Velocida d (rpm)	Tiemp o (min)
1	500	2,5	80	10	6	0,6	30	7
2	1000	5	80	10	8	0,8	30	7
3	1500	7,5	80	10	10	1	30	7

Fuente: Elaboración propia

E. Experimentación agente oxidante Hipoclorito de Calcio 4%

Experimento	<b>Hipoclorito de Calcio 4%</b>			
	Ppm	Volumen (ml)	Velocidad (rpm)	Tiempo (min)
1	400	5.0	120	7
2	450	5.6	120	7
3	500	6.2	120	7

Fuente: Elaboración propia

F. Experimentación coagulante- floculante, agente oxidante

<b>Reactivos</b>	<b>Volumen (ml)</b>	<b>Volumen (ml)</b>	<b>Volumen (ml)</b>	<b>Volumen (ml)</b>	<b>Velocidad (rpm)</b>	<b>Tiempo (min)</b>
Hipoclorito de Calcio	5.6	5.6	5.6	5.6	120	10
Sulfato de Aluminio	7.5	8.5	-	-	80	10
ASPRE 098	-	-	7.5	8.5	80	10
Poliacrilamida	1.2	1.0	1.2	1.0	30	7

Fuente: Elaboración propia

## ANEXO F. RESULTADOS DE EXPERIMENTACION



**L. Q. LABORATORIO QUIMICONTROL LTDA.**  
Ambiente e Industria



**IDEAM**  
INSTITUTO DE HIDROLOGIA,  
METEOROLOGIA Y  
ESTUDIOS AMBIENTALES  
Laboratorio acreditado  
NTC-ISO/IEC 17025:  
2005. Resolución de  
renovación y extensión  
de acreditación N° 0459  
de 2015. Resoluciones  
de extensión de la  
acreditación N° 0097 de  
2016, 0010 y 1503 de  
2017.

INFORME 1 OCA 1052-AG  
30 de mayo de 2018

### INFORME DE RESULTADOS DE LABORATORIO

#### IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE

Señora  
PAULA TATIANA  
FERNÁNDEZ MOLINA  
Teléfono: 3177409225  
Dirección: carrera 62 sur # 22b-24  
Bogotá

#### IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

ORDEN DE SERVICIO: 5071  
FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 19 de mayo de 2018  
MATRIZ: ARI  
FECHA DE MUESTREO: 18 de mayo de 2018  
TIPO DE MUESTREO: Dato no suministrado por el cliente  
PUNTO DE MUESTREO: Inversiones Wamu  
IDENTIFICACIÓN MUESTRA: 18-AG3738  
OBSERVACIONES: Muestra tomada por el Cliente y enviada al laboratorio

Variable	Unidad	Método	Fecha Análisis	Resultados	Incertidumbre
Demanda bioquímica de oxígeno DBO <sub>5</sub> **	mg/L O <sub>2</sub>	SM 5210 B, 4500-O C Incubación Modificación de Azida	2018-05-19	415	±41.536
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L O <sub>2</sub>	SM 5220 C, Volumétrico, Reflujo Cerrado	2018-05-19	896	±71.68
Sólidos suspendidos totales, SST	mg/L	SM 2540 D, Gravimetría, Secado	2018-05-23	124	±2.8966
Grasas y aceites	mg/L	SM 5520 D, Extracción Soxhlet	2018-05-22	51,2	±1.792

SM: "STANDARD METHODS For The Examination Of Water And Wastewater" 22ND EDITION, 2012.(\*\*): Variable que no se encuentra acreditada. ARI: Agua Residual Industrial.

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

NOTA 2: La reproducción parcial de este informe será autorizada por el Laboratorio Quimicontrol Ltda.

NOTA 3: Las muestras serán eliminadas cuarenta y cinco (45) días después de haber sido recibidas.

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

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

CYNTHIA PAOLA AVILA GARAVITO  
Química, Matricula Profesional PQ-5002  
Coordinadora Técnica

Elaboró: Ninfa Ysseth Martínez Arevalo  
Revisó: Carlos Steven Moreno Giron

**FIN DEL INFORME**

## ANEXO G. COTIZACIONES DE PRODUCTOS QUIMICOS Y EQUIPOS

**CIACOMEQ S.A.S.**<sup>®</sup>

NUESTROS PRODUCTOS  
EL RESULTADO DE UNA BUENA QUÍMICA  
NIT. 860.451.304-9

FACTURA DE VENTA No: 817025  
I.V.A. REGIMEN COMUN  
ACTIVIDAD ECONOMICA ICA 4664 TARIFA 11.4XMIL  
SOMOS GRANDES CONTRIBUYENTES DE ICA  
SEGUN RESOLUCION DD-010761 DE MARZO 30 DE 2016

NO SE ACEPTAN RECLAMOS DEL PRODUCTO ENTREGADO DESPUES DE 8 DIAS HABILES

Señores: FERNANDEZ TATIANA NIT: 10,000 Fecha 2018/05/16 Vcto: 2018 05/16  
Direccion: CRA 63 N. 5A-65 vendido: 0039 C. Costos:  
Telefonos: 0000000000 0000000000 CIUDAD: BOGOTA No. Orden de Compra:

CODIGO PRODUCTO	BOD	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VR UNITARIO	% IVA	VALOR TOTAL
0020024000021	0010	ASPRE 098 GL	GL	1.00	15,776	19.00	15,776.00
0020036000042	0010	HIDROXICLORURO DE ALUMINIO GL	GL	1.00	9,100	19.00	9,100.00



817025	Por	29,602.00	Valor Bruto	24,876.00
			Descuento	0.00
			Valor Antes de Impuestos	24,876.00
			Iva %	4,726.00
			Retencion Fte	0.00
			Retencion Iva	0.00
			Retencion Ica	0.00
			Neto a Pagar	29,602.00

OBSERVACIONES:

SON: VEINTINUEVE MIL SEISCIENTOS DOS PESOS MCTE  
IMPRESO POR COMPUTADOR SOFTWARE SIIGO NIT 830.048.145-9

Elaboro: Aceptada y Recibida (Firma y Sello) C.C: De:

El (los) abajo firmante(s) actuando en nombre propio y/o en representación de la sociedad, autorizo a Ciacomeq S.A.S de manera irrevocable, para que toda la información generada fruto de las relaciones comerciales sea consultada y/o reportada en cualquier base de datos y/o centrales de riesgo a nivel nacional.  
La materia prima referida en esta factura deben ser sometida a procesos de evaluación de parámetros de calidad por parte del comprador para aceptación de la misma. CIACOMEQ S.A.S no se hace responsable por irregularidades en la calidad del producto terminado que no demuestren ser sometidas a los parámetros de calidad.  
Esta factura de venta se asimila para todos sus efectos a un título valor según ley 1231 del 17 de Julio de 2008.  
Con esta el comprador declara haber recibido realy materialmente las mercancías y/o servicios descritos en este Título Valor

Resolucion Factura 18762007195248 Autoriza el 2018/03/03 Prefigo Desde el Numero 00000800001 Hasta 00001000000 COMPUTADOR

PRIMERA COPIA

Cra. 63 No. 5A-85 • PBX: 290 0093 FAX: 420 6582 • Av. Américas No. 62-43 • Tel: 262 1966 Fax: 447 5243  
www.ciacomeq.com • E-mail: servicioalcliente@ciacomeq.com • Bogotá, D.C.



**Factura de Venta N° VT- 796952**  
**NIT. 800.237.608-8**

Facturacion por Computador

Insu...  
 \*\* MERCANCIA EN PROMOCION NO TIENE CAMBIO

RES DIAN NO. 320001412579 Fact. VT 600001 - 1000000  
 FECHA 2016/06/15

<b>Señores:</b> CUANTIAS MENORES	<b>Fecha</b>	<b>Vencimiento</b>	<b>Forma de pago</b>
<b>NIT/C.C.:</b> 222222222	Dia Mes Año	Dia Mes Año	Pago de contado
<b>Dirección:</b> AV AMERICAS 63 05	17 05 2018	17 05 2018	
BOGOTA	<b>Asesor:</b> SV		
<b>Teléfono:</b> 4202097	<b>Fact.:</b> LUIS DA		<b>Desp.:</b>

CONVERSION	CANTIDAD	DESCRIPCION DEL PRODUCTO	IVA	Valor Unitario	LineTotal
1,00 KILOS	1,00	HIPOCLORITO DE CALCIO GRANULADO (KILO)	19%	6.218	6.218

Valor en letras: SIETE MIL TRESCIENTOS NOVENTA Y NUEVE PESOS

**NO SE ACEPTAN DEVOLUCIONES DESPUÉS DE 10 DIAS CALENDARIO (Art. 2 Ley 1231/08)**

Av. Américas N° 63-05 PBX. 420 2097 Cel. 315 310 7323 Bogotá <a href="mailto:cimpa@cimpa.com.co">cimpa@cimpa.com.co</a> <a href="http://www.cimpa.com.co">www.cimpa.com.co</a>	Código de Industria y Comercio 4774 - Tarifa 11.04 X 1000 No Somos Grandes Contribuyentes Régimen Común
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

DESCUENTO	
SUBTOTAL	6.218
(+) IVA	1.181
(-) RTEFTE	
(-) RTEICA	
<b>V/R A PAGAR</b>	<b>7.399</b>

\*Valor aproximado a pesos