

**EVALUACIÓN DE UN TRATAMIENTO DE FLOCULACIÓN-FLOTACIÓN PARA  
EL AGUA RESIDUAL GENERADA EN EL PROCESAMIENTO DE  
SUBPRODUCTOS AVÍCOLAS**

**CARLOS ANDRES CANO MARIN**

**Bogotá**

**Universidad Libre**

**Facultad de Ingeniería**

**Departamento de Ingeniería Ambiental**

**2015**

**EVALUACIÓN DE UN TRATAMIENTO DE FLOCULACIÓN-FLOTACIÓN PARA  
EL AGUA RESIDUAL GENERADA EN EL PROCESAMIENTO DE  
SUBPRODUCTOS AVÍCOLAS**

**CARLOS ANDRES CANO MARIN**

**Trabajo de grado para obtener el título de  
Ingeniero Ambiental**

**Director:**

**ANDRÉS FELIPE LÓPEZ VÁSQUEZ**

**Ingeniero Químico**

**Bogotá**

**Universidad Libre**

**Facultad de Ingeniería**

**Departamento de Ingeniería Ambiental**

**2015**

**Nota De Aceptación**

-----  
-----  
-----  
-----  
-----

-----  
**Director del proyecto**

-----  
**JURADO 1**

-----  
**JURADO 2**

## **DEDICATORIA**

Este proyecto es dedicado en primer grado a Dios, quien ha sido la fortaleza incondicional en cada una de las etapas de mi vida y que sin su ayuda, todo esfuerzo hubiese sido en vano. De igual manera dedico este trabajo a mi madre que con su apoyo y su entrega incondicional hicieron posible culminar esta carrera.

De manera muy especial dedico este trabajo a la Universidad Libre, por permitir formarme en sus instalaciones y facilitar los laboratorios y equipos necesarios para el desarrollo de esta investigación, de otra parte dedicarlo al cuerpo administrativo y profesional del área de ingeniería ambiental, que con su apoyo ampliaron mis conocimientos profesionales.

## **AGRADECIMIENTOS**

Esta investigación no hubiese sido posible sin el apoyo y la colaboración de la Universidad Libre, y la empresa ALBATEQ S.A. a quien expreso mis más sinceros agradecimientos.

Adicionalmente agradezco al director del proyecto Andrés Felipe López y a los ingenieros Rene Silva, Nicolay Agudelo y Carlos Garzón que por su experiencia y conocimientos me brindaron aportes sólidos en la consolidación del presente proyecto.

## CONTENIDO

RESUMEN.....	11
1. INTRODUCCIÓN.....	12
2. OBJETIVOS .....	14
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3. MARCO TEÓRICO.....	15
3.1 INDUSTRIA DE PROCESAMIENTO DE SUBPRODUCTOS AVÍCOLAS .....	15
3.1.1 Características de las aguas residuales generadas en el procesamiento de subproductos avícolas. ....	18
3.2 TIPOS DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES .....	19
3.2.1 Tratamiento de agua residual mediante coagulación-floculación.....	21
3.2.2 Tratamiento de aguas residuales industriales por flotación.....	24
3.3 SISTEMAS DE FLOCULACIÓN-FLOTACION PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....	27
3.3.1 Sistema de flotación por aire disuelto (DAF).....	28
3.3.2 Sistema de energía con mezcla de gas (GEM).....	29
4. METODOLÓGIA .....	32
4.1 MATERIALES Y EQUIPOS.....	32
4.2 EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA PROPORCIÓN DE MEZCLA DE LAS AGUAS RESIDUALES .....	33
4.3 EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA MEZCLA DE FLOCULANTES CATIÓNICOS Y ANIÓNICOS SOBRE LA FORMACIÓN DE FLOCS EN LAS MEZCLAS DE AGUAS RESIDUALES .....	34
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	35
5.1 EFECTO DE LA PROPORCION DE MEZCLA DE AGUA CONTAMINANTE .....	35
5.1.1 Agua Tipo 1.....	35
5.1.2 Agua Tipo 2.....	36
5.1.3 Agua Tipo 3.....	37
5.2 EFECTO DE LA MEZCLA DE FLOCULANTES CATIÓNICOS Y ANIÓNICOS SOBRE LA FORMACIÓN DE FLOCS EN LAS MEZCLAS DE AGUAS RESIDUALES .....	38

5.3 CARACTERISTICAS FISICAS Y QUÍMICAS DE LOS EFLUENTES TRATADOS ..	39
5.3.1 pH.....	40
5.3.2 Turbiedad.....	40
5.3.3 Solidos suspendidos totales. ....	41
5.3.4 Demanda biológica de oxígeno DBO. ....	41
5.3.5 Demanda química de oxígeno DQO.....	43
6. CONCLUSIONES.....	45
7. BIBLIOGRAFÍA.....	48
8. ANEXOS.....	51

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Características de los vertimientos generados en el procesamiento de subproductos avícolas.....	17
Tabla 2. Influencia de la dosis del coagulante (Cárdenas, 2000).....	22
Tabla 3. Naturaleza y características de los floculantes (Cárdenas, 2000).....	23
Tabla 4. Características de los sistemas de flotación (Vargas, L., 2004). ....	24
Tabla 5. Características de los agentes químicos.....	32
Tabla 6. Materiales y equipos utilizados en la experimentación.....	32
Tabla 7. Porcentajes de las corrientes para la preparación de aguas de interés.	33
Tabla 8. Dosificación de agentes químicos para cada tipo de agua.....	34
Tabla 9. Dosificación de agentes químicos agua Tipo 1. ....	35
Tabla 10. Dosificación de agentes químicos agua Tipo 2. ....	36
Tabla 11. Dosificación de agentes químicos agua Tipo 3. ....	37
Tabla 12. Dosificaciones optimas de agentes químicos para los 3 tipos de agua.	39
Tabla 13. Caracterización física y química de los diferentes tipos de agua. ....	40



## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de procesamiento de subproductos avícolas para obtención de harina para consumo animal. ....	16
Figura 2. Mecanismo de coagulación.....	21
Figura 3. Mecanismo de aglomeración de partículas coloidales empleando floculante .....	23
Figura 4. Esquema de celdas de agitación de tratamiento de aguas. a) Celda de flotación lenta (poca agitación). b) Celda de flotación turbulenta (dispersión del aire).....	25
Figura 5. Generador reactor de flóculos (FGR) con formación de aeroflocs lo largo de las hélices.....	26
Figura 6. Dispensor de floculante utilizado en la floculación-flotación con la técnica de inyección de aire directo y soluciones de polímeros en zig-zag .....	26
Figura 7. Esquema de un sistema DAF.....	28
Figura 8. a) Etapa de formación de flocs en los tubos de un DAF b) Tanque de flotación de flocs. ....	29
Figura 9. Sistema GEM. Fuente:.....	30
Figura 10. . Formación de flocs en los tubos del DAF y en los cabezales LSGM del sistema GEM. Fuente:.....	31
Figura 11. Tanque de homogenización con recirculación para mezclado de corrientes con aguas contaminadas a tratar.....	33
Figura 12. Pruebas de jarras agua Tipo 1.....	36
Figura 13. Pruebas de jarras agua Tipo 2 .....	37
Figura 14. Pruebas de jarras agua Tipo 3 .....	38
Figura 15. Resultados del tratamiento de floculación- flotación para el agua Tipo 1 .....	39

## **LISTADO DE ANEXOS**

ANEXO 1. Fichas técnicas de los productos químicos utilizados para el tratamiento de aguas residuales .....	51
ANEXO 2. Tablas de dosificación de agentes químicos. ....	54

## RESUMEN

Se evaluó el tratamiento de vapor condensado de cocción de plumas, agua de vísceras, suero de sangre, lixiviado de lodos de mataderos y agua de lavado de una plata de procesamiento de subproductos avícolas mediante la técnica de floculación-flotación. Se hicieron ensayos variando los porcentajes de las corrientes para la preparación de los tres tipos de agua de interés en el tratamiento y las dosificaciones de agentes químicos para las aguas preparadas. Mediante una serie de pruebas de jarras se logró determinar las mejores condiciones para la remoción de carga contaminante presente en las diferentes muestras de agua residual. Con dichas condiciones se realizaron estudios analíticos para determinar la variación de los parámetros de calidad de agua como pH, turbiedad, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno.

## 1. INTRODUCCIÓN

En una planta de procesamiento de subproductos avícolas se ejecutan varios procesos para la elaboración de concentrados de consumo animal, en estos procesos se generan diferentes tipos de efluentes acuosos propios de las etapas de tratamiento de dichos subproductos. Fundamentalmente se trata de vapor condensado que se obtiene por la cocción de plumas, agua de vísceras que es generada por escurrimiento debido a su alto contenido de humedad, suero que se obtiene por la cocción de la sangre, lixiviado que es generado por el tratamiento de los lodos que producen los mataderos en el proceso de beneficio de la carne de pollo y agua de lavado de instalaciones. Cada uno de estos vertimientos tiene características diferentes en cuanto a composición y aspecto por ejemplo, el vapor condensado no presenta sólidos disueltos mientras que el agua de vísceras, suero, agua de lavado y lodos sí. En ese orden de ideas, la implementación de tratamientos para cada uno de ellos supone condiciones y requisitos particulares en cada tratamiento.

La empresa tiene implementado procesos de tratamiento de efluentes para algunos de ellos sin embargo, no tiene resuelto el problema de contaminación generado por el tipo de vertimiento dispuesto a la fuente natural puesto que no cumple con la norma de vertimientos (las características físicas y químicas) y las estrategias implementadas son insuficientes para la remoción de carga contaminante precisamente por la heterogeneidad de los mismos y también por el caudal producido (113 m<sup>3</sup>/día), que está generando un fuerte impacto ambiental.

Debido a que el caudal generado por este tipo de industria es elevado y el impacto ambiental es fuerte por la carga orgánica que posee y a los niveles de los parámetros de calidad del agua que exceden la norma, es necesaria la implementación de alternativas de tratamiento para este tipo de agua residual. Una de las posibilidades que ha contemplado la empresa es la unificación de las aguas residuales en sus procesos e implementar una estrategia de remediación para esta nueva agua residual (mezcla de los diferentes efluentes generados en el procesamiento de subproductos avícolas), que por sus características finales no es fácil de tratar mediante tratamientos convencionales<sup>1</sup>.

La empresa tiene implementado un tratamiento aeróbico como estrategia de remediación al final del tubo pero debido al caudal generado actualmente, el

---

<sup>1</sup> COLIC, Miroslav; ACHA, Eric; LECHTER, Ariel. Advanced Pretreatment Enables MBBR Treatment of High. Water Environment Federation. (2009).

sistema se saturó y no es capaz de remover la carga orgánica ni disminuir los valores en los parámetros de calidad de agua para poder cumplir con la norma de vertimientos líquidos. Así mismo, si se quisiera utilizar el tratamiento aerobio existente para la mezcla líquida contaminante propuesta, el sistema no trabajaría en condiciones óptimas puesto que fue diseñado para condiciones totalmente diferentes a las que se pretenden tratar.

En la búsqueda de alternativas de tratamiento para este tipo de vertimiento y por las características del mismo una vez mezclados los diferentes efluentes, las posibilidades de tratamiento se reducen debido a la contaminación del mismo. Aunque se ha demostrado que la floculación es una importante alternativa para la remoción de sólidos del agua, la remoción de los flocs generados es uno de los inconvenientes de la técnica que disminuye su eficiencia, por tal razón ambos factores dependen en alto grado del agente floculante y de las condiciones del proceso a las cuales se lleva la operación, mejorando la remoción de los flocs se podría elevar la eficiencia de remoción en este tipo de proceso<sup>2</sup>.

Mediante la evaluación del tratamiento de floculación-flotación para el agua residual generada en el procesamiento de subproductos avícolas, se determinó la remoción de carga orgánica contaminante del efluente unificado de las aguas residuales generadas en el procesamiento de subproductos avícolas. En ese orden de ideas se utilizaron floculantes no convencionales que se constituyen en elemento fundamental en la operación del acople de los cuales no se tienen reportes en la literatura aplicados a este tipo de residuo.

---

<sup>2</sup> KIURI, H. Development of dissolved air flotation technology from the first generation to the newest (third) one (DAF in turbulent flow conditions). Water Science & Technology. (2001).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la remoción de carga orgánica contaminante de una mezcla de aguas residuales generadas durante el procesamiento de subproductos avícolas mediante un proceso de floculación/flotación.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Evaluar el efecto de la proporción de mezcla de las aguas residuales generada en los diferentes procesos del procesamiento de subproductos avícolas sobre la remoción de carga orgánica contaminante durante el proceso de floculación/flotación.

Evaluar el efecto de la mezcla de floculantes catiónicos y aniónicos sobre la formación de flocs en la mezcla de aguas residuales generada en los diferentes procesos del procesamiento de subproductos avícolas.

### 3. MARCO TEÓRICO

En la industria avícola, una planta típica de procesamiento, sacrifica alrededor de 50000 pollos/día. En ella se separan las presas de pollo de los restos del sacrificio. Estos restos que en su mayoría están conformados por plumas, vísceras y sangre se conocen como subproductos avícolas. El procesamiento consiste fundamentalmente en la cocción de los subproductos para remover la humedad presente en ellos con el fin de producir una harina que sirve como base proteica del concentrado utilizado para consumo animal.

#### 3.1 INDUSTRIA DE PROCESAMIENTO DE SUBPRODUCTOS AVÍCOLAS

Para la generación de harina utilizada en la elaboración de concentrados de consumo animal, se utilizan subproductos del procesamiento avícola tales como plumas, vísceras y sangre. El esquema de procesamiento de una planta típica se muestra en la Figura 1.

La industria del procesamiento de subproductos avícolas genera cinco corrientes de agua residual con diferentes características.

La corriente  $F_1$  es un vapor condensado producido por la cocción en el cooker (C1). El vapor generado se mezcla con los vapores de cocción del cooker (C2) y se condensan en un intercambiador de calor. Esta corriente presenta fuerte olor debido al contenido orgánico por compuestos tales como aldehídos, cetonas, aromáticos, amoníaco, etc. De esta corriente se generan  $80 \text{ m}^3/\text{día}$ . La corriente  $F_2$  es producida en la tolva de recepción de vísceras. Allí se generan  $5 \text{ m}^3/\text{día}$  de agua de vísceras que son alimentadas al (C2) junto con las vísceras. La corriente  $F_3$  (alrededor de  $25 \text{ m}^3/\text{día}$ ) es generada en el proceso de cocción de sangre en (C3). El suero generado allí, se alimenta al (C1). La corriente  $F_4$  es el lixiviado generado por el tratamiento de lodos (coagulación con polímeros durante un periodo de tiempo de 24 horas) producido en el proceso de beneficio de la carne de pollo. De este tratamiento se generan  $20 \text{ m}^3/\text{día}$  de lixiviado. En este proceso además del lixiviado que finalmente va al tanque de homogenización, se produce un residuo sólido (lodo seco). La corriente  $F_5$  es agua residual producto del lavado de los camiones y patio de recepción de materia prima (alrededor de  $5 \text{ m}^3/\text{día}$ ) y del lavado general de las instalaciones de la planta ( $8 \text{ m}^3/\text{día}$ ).

Las corrientes generadas  $F_1$ ,  $F_4$  y  $F_5$  (aguas residuales) llegan al tanque de homogenización (TK-1). El efluente que sale del TK-1 ( $F_6$ ) se envía a una laguna

de oxidación (LO) en donde se genera el vertimiento final que es dispuesto en la fuente natural.

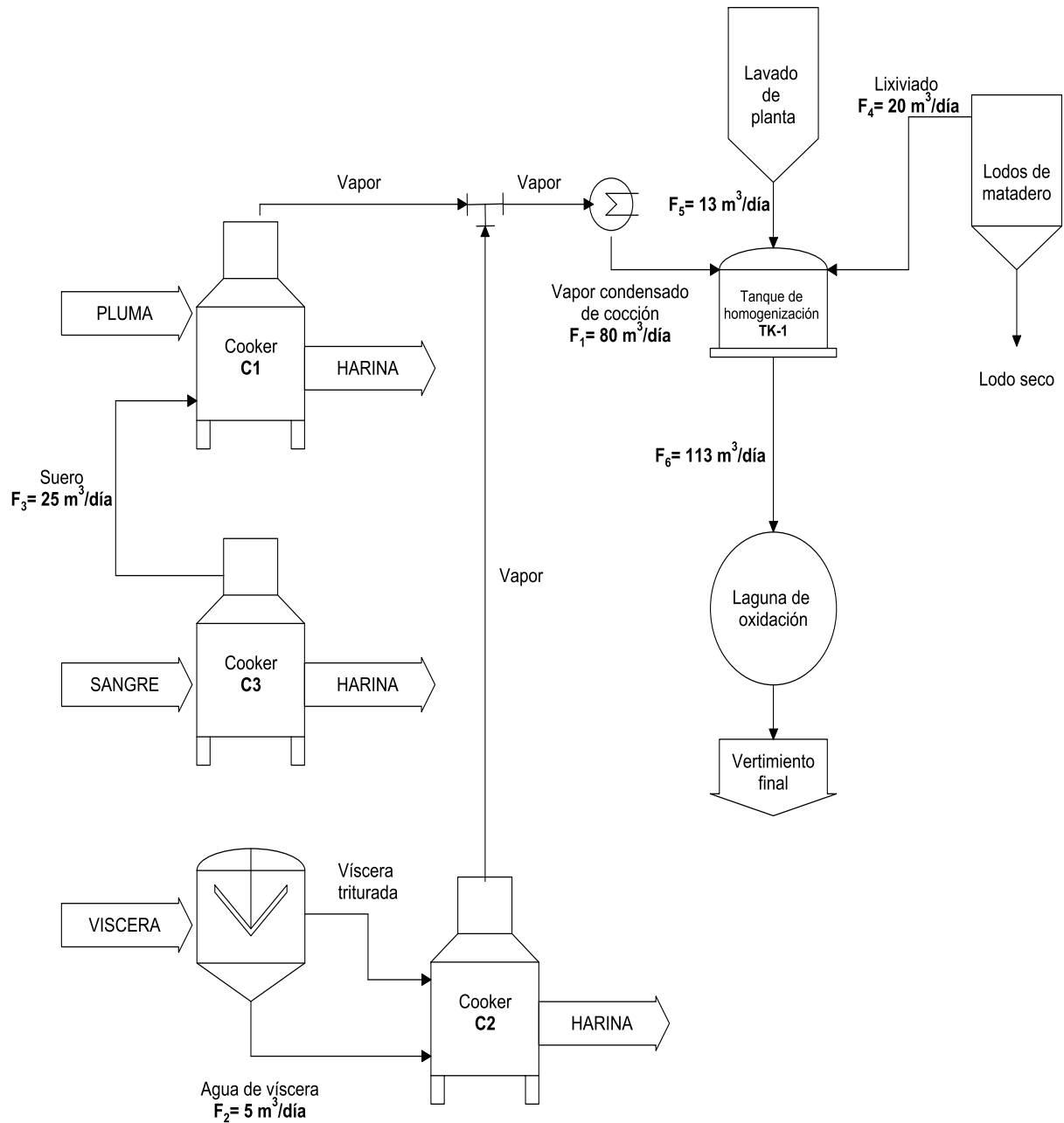


Figura 1. Esquema de procesamiento de subproductos avícolas para obtención de harina para consumo animal.

La Tabla 1 resume las principales características de los vertimientos generados en el procesamiento de subproductos avícolas.



Tabla 1. Características de los vertimientos generados en el procesamiento de subproductos avícolas.

Corriente	Nombre	CARACTERISTICAS
F <sub>1</sub>	Vapor condensado de cocción	Olor desagradable, agua ligeramente turbia, contenido de compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos, pH > 9.
F <sub>2</sub>	Agua de vísceras	Alto contenido de sólidos suspendidos, grasas, trazas de sangre, etc.
F <sub>3</sub>	Suero	Rico en proteína, olor desagradable, traslúcido.
F <sub>4</sub>	Lixiviado de lodos de matadero	Generados por sedimentación. Provenientes de plantas de tratamiento de aguas de los mataderos de pollos.
F <sub>5</sub>	Agua de lavado de planta	Aguas de lavado de camiones, tolvas, patio y planta. Presenta grasas, sólidos, trazas de sangre, vísceras, pluma, harinas etc.
F <sub>6</sub>		F <sub>1</sub> + F <sub>4</sub> + F <sub>5</sub>

Con base en estas características, el vertimiento heterogéneo F<sub>6</sub> que sale del TK-1 es una corriente con alta carga contaminante que no puede ser vertida directamente a la fuente. Los niveles de demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos totales (SST), turbiedad, pH, temperatura, rebasan los niveles permitidos que controla la autoridad ambiental (Decreto 3930 de 2010, Resolución 4328 de 2010)<sup>3</sup>.

Con el fin de mitigar el impacto ambiental que genera este efluente, la empresa implementó un tratamiento secundario por medio de una laguna de oxidación aerobia. Debido a que la laguna de oxidación no es capaz de remover toda la carga orgánica contaminante presente en F<sub>6</sub> (puesto que fue diseñada para condiciones diferentes a las que actualmente se tienen en la planta), se presentó un problema ambiental causado por la colmatación de la laguna. Como vertimiento final se obtiene un efluente residual que no cumple tampoco con la norma de vertimientos.

En estos momentos la estrategia de remediación ambiental para el tratamiento de F<sub>6</sub> (oxidación anaerobia) es ineficiente y se está buscando la implementación de alternativas de tratamiento que den solución ambiental al vertimiento final generado por la planta de procesamiento.

Debido a las condiciones propias de la planta de procesamiento, se pueden identificar dos tipos de impurezas en el agua, aquellas que se encuentran suspendidas y otras que están disueltas. El material suspendido son partículas que se sostienen en el agua debido a las fuerzas de repulsión generada por las

<sup>3</sup> SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE. Recuperado el 23 de 05 de 2013, de Boletín Legal Ambiental, Normatividad, Vertimientos: [https://190.27.245.106/BLA/boletinlegal/norma\\_menu.php8](https://190.27.245.106/BLA/boletinlegal/norma_menu.php8) (2010)

cargas del material coloidal. El material disuelto lo componen las moléculas o iones que se retienen en el agua debido a su estructura molecular<sup>4</sup>.

Con base en lo mencionado anteriormente se puede decir que los mataderos de aves de corral generan aguas residuales principalmente en el proceso de sacrificio industrial, en el lavado de equipos e instalaciones y en la producción de productos. Las aguas residuales generadas en estos procesos se caracterizan por tener altas cargas de sólidos en suspensión, aceites y grasas, que pueden variar de una planta a otra, dependiendo del proceso industrial y el consumo de agua por pollo sacrificado<sup>5</sup>

**3.1.1 Características de las aguas residuales generadas en el procesamiento de subproductos avícolas.** Existen diferentes características esenciales en el agua residual que pueden ser fácilmente percibidas por los sentidos como el color, la temperatura y otras de igual importancia como lo son los sólidos sedimentables, sólidos en suspensión y sólidos disueltos, siendo los sólidos totales la suma de todos ellos.

Los sólidos sedimentables son sólidos de mayor densidad que el agua, se encuentran dispersos debido a fuerzas de arrastre o turbulencias. Cuando estas fuerzas y velocidades cesan y el agua alcanza un estado de reposo, precipitan en el fondo. Suelen eliminarse fácilmente por cualquier método de filtración.

Los sólidos en suspensión se mantienen en el agua debido a su naturaleza coloidal que viene dada por las pequeñas cargas eléctricas que poseen estas partículas que las hacen tener una cierta afinidad por las moléculas de agua. Este tipo de sólidos como tales son difíciles de eliminar siendo necesaria la adición al agua de agentes coagulantes y floculantes que modifican la carga eléctrica de estas partículas consiguiendo que se agrupen en flóculos de mayor tamaño para así poder separarlos mediante filtración o flotación.

Los sólidos disueltos están relacionados con el grado de mineralización del agua ya que son iones de sales minerales que el agua ha conseguido disolver a su paso. Están relacionados con la conductividad del agua ya que un aumento de estos iones aumenta la capacidad conductiva<sup>6</sup>.

---

<sup>4</sup> VÁZQUEZ ROSSAINZ David. Estudio de Factibilidad para la Construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la UDLA-P. Cholula, Puebla, México. 2003. Universidad de las Américas Puebla. Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil.

<sup>5</sup> NERY A, NARDI B, DAMIANOVIC C, POZZI C, AMORIM D, ZAIAT C. Long-term operating performance of a poultry slaughterhouse wastewater treatment plant. En: Resources, Conservation and Recycling. 24 July 2006.

<sup>6</sup> HIDRITEC. Recuperado el 21 de 01 de 2014 disponible en (<http://www.hidritec/parametros-de-caracterizacion-del-agua>).

La turbidez es un parámetro relacionado con el grado de transparencia y limpieza del agua que a su vez depende de la cantidad de sólidos en suspensión del agua que pueden ser resultado de una posible actividad biológica o simplemente una presencia de componentes no deseables. Se mide mediante la absorción que sufre un haz de luz al atravesar un determinado volumen de agua<sup>7</sup>

Debido a la variedad de compuestos orgánicos agregados al agua residual, la diferencia que existe entre un agua residual tratada y otra no tratada, es la cantidad de compuestos orgánicos agregados presente en una muestra de agua.

La DBO es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable existente en un agua residual. Es por tanto una medida del componente orgánico que puede ser degradado mediante procesos biológicos.

La DQO es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar toda la materia orgánica y oxidable presente en un agua residual. Es por tanto una medida representativa de la contaminación orgánica de un efluente siendo un parámetro a controlar dentro de las distintas normativas de vertidos y que nos da una idea muy real del grado de toxicidad del vertido. Se puede decir por tanto que la DBO representa la cantidad de materia orgánica biodegradable y la DQO representa tanto la materia orgánica biodegradable como la no biodegradable<sup>8</sup>.

### **3.2 TIPOS DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES**

En el manejo de aguas residuales se utilizan tres tipos de tratamientos, primario, secundario y terciario. El tratamiento primario remueve aquellos contaminantes que se pueden sedimentar, por medio de tratamientos físicos o físico-químicos. Estrategias para tal fin son, la precipitación o flotación con ayuda de coagulante y/o floculante para separar y filtrar grasas y sólidos. El tratamiento secundario se realiza para eliminar desechos y sustancias que con la sedimentación no se eliminaron, el objetivo principal de este tratamiento es la remoción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) soluble y la remoción de cantidades adicionales de sólidos sedimentables. El tratamiento terciario, consiste en procesos físicos y químicos especiales con los que se busca remover contaminantes específicos usualmente tóxicos o compuestos no biodegradables. Es un tipo de tratamiento

---

<sup>7</sup> HIDRITEC, op.cit

<sup>8</sup> HIDRITEC. Recuperado el 21 de 01 de 2014, de <http://www.hidritec.com/hidritec/tratamiento-de-aguas-residuales-y-disminucion-de-dqo> (2011)

más costoso que los anteriores y se usa en casos más especiales como la purificación de desechos específicos de algunas industrias<sup>9</sup>.

Algunas empresas del sector avícola han implementado procesos de coagulación / precipitación, donde se ha demostrado que son procesos eficaces en la remoción de material contaminante, de fácil operación y usualmente son usados para el tratamiento de aguas residuales que contienen material en suspensión y / o partículas grasas. Dentro de los coagulantes más usados encontramos sales de hierro y cal. La función principal de los coagulantes es para flocular las partículas coloidales en partículas más grandes que se pueden eliminar por sedimentación o flotación<sup>10</sup>

La empresa tiene implementado un tratamiento secundario que consiste en una laguna de oxidación en donde se desarrolla un proceso biológico aerobio. El problema ambiental como se mencionó anteriormente, es que debido al gran caudal de aguas residuales generadas en el procesamiento de harina, la laguna no es capaz de remover toda la carga orgánica contaminante que le llega porque fue diseñada para condiciones diferentes a las que actualmente se tienen en la planta. Por tal razón, el sistema de tratamiento se saturó y no es capaz de disminuir los valores de los parámetros de calidad de agua para poder cumplir con los criterios de la norma de vertimientos líquidos.

El efluente final generado en el procesamiento de subproductos avícolas F<sub>6</sub>, contiene una gran cantidad de sólidos que disminuyen la capacidad de cualquier tratamiento secundario o terciario. Con base en lo anterior, una buena alternativa sería la disminución del contenido de SS de la misma con el fin de promover la operación normal de tratamientos complementarios. Algunos de los procesos que podrían ser utilizados para tal fin son la coagulación y/o floculación que se constituyen como estrategias relativamente económicas y que dan buenos resultados. Eliminar los sólidos, homogenizar la calidad del agua residual y acondicionar químicamente el desecho para estabilizar el pH y garantizar los nutrientes esenciales para el proceso biológico.

---

<sup>9</sup> LÓPEZ, M. E. Tratamiento biológico de aguas residuales aplicable a la industria avícola. (en línea). 20 de 04 de 2007. Recuperado el 02 de 05 de 2013. disponible en <http://www.ergormix.com/MA-avicultura/manejo/articulos/tratamiento-biologico-aguas-residuales-t1481/124-p0.htm>

<sup>10</sup> GOHARY F, TAWFIK A, MAHMOUD U. Comparative study between chemical coagulation/precipitation (C/P) versus coagulation/dissolved air flotation (C/DAF) for pre-treatment of personal care products (PCPs) wastewater. En: Desalination. 25 de noviembre 2009.

**3.2.1 Tratamiento de agua residual mediante coagulación-floculación.** En la coagulación las sales de aluminio y hierro, son algunas de las sustancias químicas que actúan como coagulantes y que se usan para el proceso de desestabilización química de las partículas, este usualmente se realiza generando una mezcla rápida en el agua. El objetivo principal de la coagulación es desestabilizar las partículas coloidales que se encuentran en suspensión, para favorecer su aglomeración<sup>11</sup>.

Este proceso es resultado de dos fenómenos. Inicialmente se efectúa un proceso esencialmente químico, el cual consiste en la reacción del coagulante con el agua y la formación de especies hidrolizadas con carga positiva. Este proceso depende de la concentración del coagulante y el pH final de la mezcla. El proceso secundario es fundamentalmente físico, el cual consiste en el transporte de especies hidrolizadas para que hagan contacto con las impurezas del agua<sup>12</sup>

En la Figura 2 se muestra cómo la adición de sustancias químicas anulan las cargas sobre la superficie del coloide, permitiendo de este modo que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos.

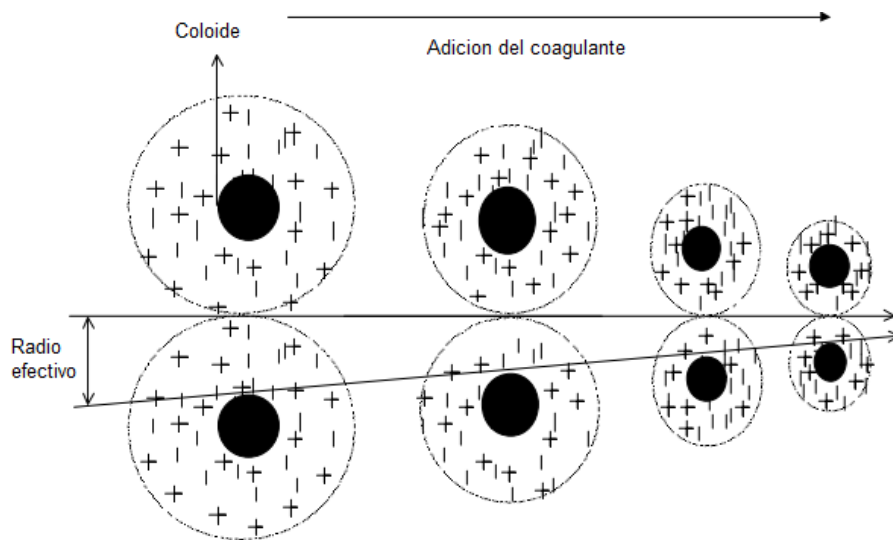


Figura 2. Mecanismo de coagulación (Cárdenas, 2000).

En la Tabla 2 se expresa la influencia que tiene la dosis de coagulante en la eficiencia del proceso de coagulación

<sup>11</sup> CÁRDENAS, Y. A. Tratamiento de agua coagulación floculación. (en línea). 04 de 2000. Recuperado el 05 de 05 de 2013. disponible en <http://www.frm.utn.edu.ar/archivos/civil/Sanitaria/Coagulaci%C3%B3n%20y%20Floculaci%C3%B3n%20del%20Agua%20Potable.pdf>

<sup>12</sup> BARRENECHEA, M. A. Tratamiento de agua para consumo humano, capítulo 4 coagulación. (en línea). 2004. Recuperado el 19 de 05 de 2013, disponible en <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomol/cuatro.pdf>

Tabla 2. Influencia de la dosis del coagulante.

CANTIDAD DE COAGULANTE	EFICIENCIA DEL PROCESO DE COAGULACION
Baja	No neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microfloculos es muy escasa, por lo tanto la turbiedad residual es elevada.
Alta	Produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de microfloculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación son muy bajas, por lo tanto la turbiedad residual es igualmente elevada.

La selección del coagulante y la cantidad óptima de aplicación, se determina mediante los ensayos de pruebas de jarras. En general, se puede decir que los coagulantes son aquellos compuestos capaces de producir un floc y que pueden generar coagulación al ser añadidos al agua.

Este proceso se usa para:

- Lograr la remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no se puede sedimentar rápidamente.
- 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.

Las partículas que forman la turbiedad y el color de las aguas, 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.

El uso de cualquier otro proceso para la remoción de partículas muy finas, como la sedimentación simple, resulta muy poco económico y en ocasiones imposible, debido al alto tiempo requerido<sup>13</sup>.

La floculación es un proceso que sirve como complemento de la coagulación y consiste en la agitación de la masa coagulada para favorecer el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados en una red (polímero) con la

<sup>13</sup> ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. Bogotá: Mc Graw Hill, (2000).

finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad. En este proceso se usan unos polímeros de varias cadenas (catiónica, aniónica, no iónica) que producen pocos flocs y mejoran los resultados obtenidos por los coagulantes.

La floculación es favorecida por el mezclado lento que permite juntar poco a poco los flóculos. Al realizar un mezclado intenso, se rompen y raramente se vuelven a formar. La floculación no solo incrementa el tamaño de las partículas del floc, sino que también aumenta su peso<sup>14</sup>

En la Figura 3, se muestra el efecto de formación de flocs mediante la red (floculante). Las redes entrelazan las partículas individuales de aglomerados, lo suficientemente grandes como para sedimentar con rapidez y optimizar los procesos de separación de partículas.

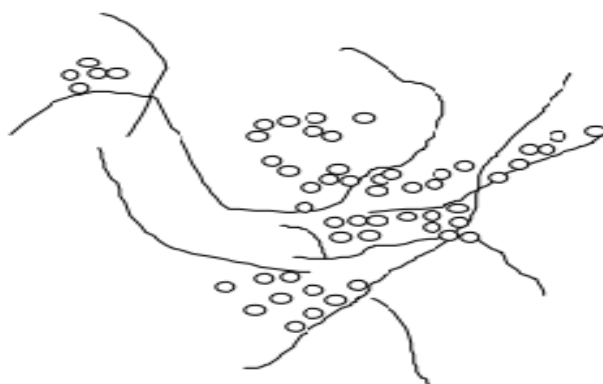


Figura 3. Mecanismo de aglomeración de partículas coloidales empleando floculante (Cárdenas, 2000)

En la Tabla 3 se presentan las características de los floculantes de acuerdo a su naturaleza.

Tabla 3. Naturaleza y características de los floculantes.

Tipo de floculante	Características
Minerales	La sílice activada, su preparación es delicada y presenta el riesgo de gelatinización.
Orgánicos naturales	Son polímeros naturales extraídos de sustancias animales o vegetales.
Orgánicos de síntesis	Son los más utilizados y son macromoléculas de una gran cadena, con masa molecular elevada, estos se clasifican de acuerdo a la ionicidad de los polímeros en aniónicos, neutros o no iónicos y catiónicos.

<sup>14</sup> CARDENAS, op.cit

Para la aplicación de los productos químicos, se debe tener en cuenta la concentración de las soluciones, los límites de solubilidad y la naturaleza del agua de dilución. Es importante considerar la agitación para evitar la formación de los aglomerados que son difíciles de disolverse y favorecer el desarrollo completo de la cadena polimérica<sup>15</sup>

**3.2.2 Tratamiento de aguas residuales industriales por flotación.** La flotación es un proceso que se utiliza para separar las partículas sólidas presentes en una fase líquida mediante burbujas diminutas de un gas que generalmente es aire. Estas partículas de lodo líquido, se adhieren a las burbujas de gas de modo que puedan ser separadas del agua o de otros constituyentes. Por tal razón la separación no depende del tamaño y densidad de las partículas si no de aquellas propiedades superficiales que permiten la adherencia de las burbujas a la estructura de las partículas<sup>16</sup>.

La flotación es un proceso de clarificación primaria particularmente efectivo para tratar aguas con turbiedad, altamente coloreadas y con gran contenido de partículas en suspensión. Su eficiencia depende del pretratamiento realizado y está relacionado con las características del agua, su calidad, el tipo de coagulante, la dosis, el pH, el tipo de floculante y la dosis de polímero<sup>17</sup>

En la Tabla 4 se presentan las principales características que debe tener cualquier sistema de flotación.

Tabla 4. Características de los sistemas de flotación.

<b>Características Sistemas de flotación</b>
Generación de bolas de tamaño apropiado en relación con las partículas que se desea remover.
Adherencia eficiente entre las bolas de aire y las partículas en suspensión.
Separación adecuada del material flotante.

En la Figura 4a, la celda tiene una forma alargada semejante a los sedimentadores donde velocidad lineal es muy baja, ya que cerca de la entrada de agua residual se producen las burbujas de aire para que en la parte superior del tanque puedan flotar las partículas contaminantes poco densas. En la figura 4b, la

<sup>15</sup> CARDENAS, op.cit

<sup>16</sup> COLIC, Miroslav & MORSE, Wade. The development and application of centrifugal. En: International Journal of Environment and Pollution. (2007).

<sup>17</sup> VARGAS, Lidia. Tratamiento de agua para consumo humano. (en línea). (2004). Recuperado el 03 de 05 de 2013, disponible en <http://cdam.minam.gob.pe:8080/bitstream/123456789/109/10/CDAM0000012-9.pdf>



celda tiene un recipiente de tipo cilíndrico, donde se ubica un sistema de agitación por turbina que contiene un tubo concéntrico para el suministro de aire, el cual produce un movimiento centrífugo generando mayor dispersión de las burbujas para la formación de una espuma que contiene las partículas flotadas<sup>18</sup>.

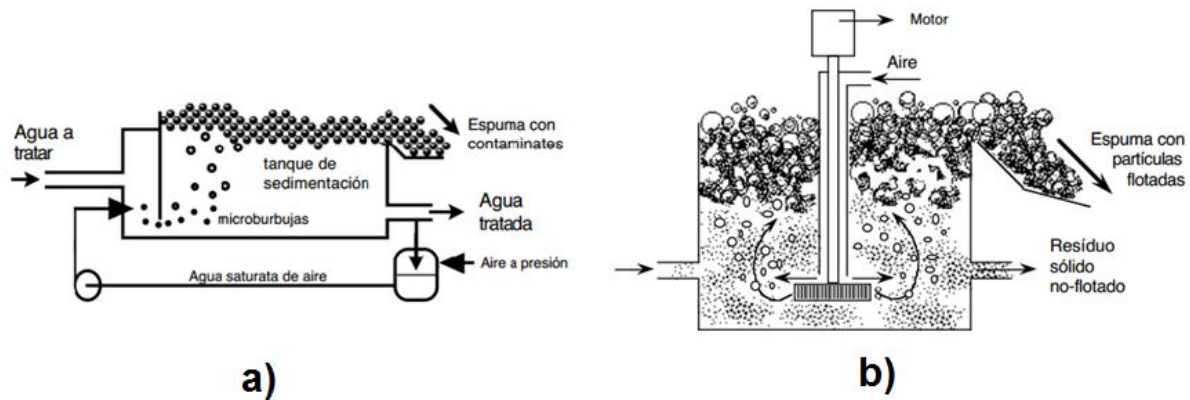


Figura 4. Esquema de celdas de agitación de tratamiento de aguas. a) Celda de flotación lenta (poca agitación). b) Celda de flotación turbulenta (dispersión del aire). (Salager & Forgiarini, 2007)

Los flóculos aireados son estructuras compuestas de partículas floculadas, polímeros y burbujas de aire. Este tipo de estructuras son manejadas para el tratamiento de aguas residuales que contienen elevada carga contaminante. Algunas de estas técnicas y aplicaciones se han desarrollado en la industria y se muestran a continuación.

Generador Reactor de flóculos (FGR). El equipo consta de un reactor de mezclado helicoidal, en este dispositivo, el floculante se dispersa a través de tubos helicoidales, lo que permite la floculación en cuestión de segundos. Por lo tanto, la FGR ha mostrado un alto potencial para su uso en aplicaciones que requieren altas tasas de separación sólido-líquido<sup>19</sup>

<sup>18</sup> SALAGER, Jean, & FORGIARINI, Ana. Fundamentos de la flotación. (en línea) (2007). Recuperado el 05 de 05 de 2013, disponible en <http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/335a.pdf>

<sup>19</sup> OLIVEIRA, Cristiane, & RUBIO, Jorge. A short overview of the formation of aerated flocs and their applications in solid/liquid separation by flotation. En: Minerals Engineering. 5 October 2012.

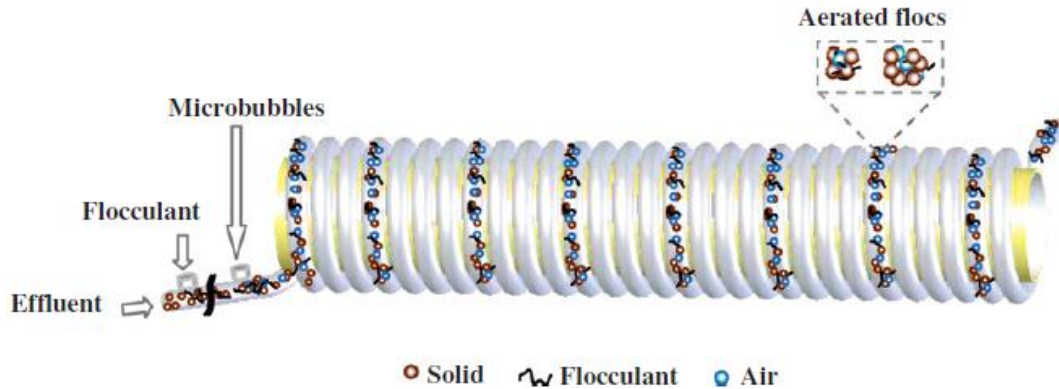


Figura 5. Generador reactor de flóculos (FGR) con formación de aeroflocs lo largo de las hélices. (OLIVEIRA & RUBIO 2012).

Floculación - Flotación (FF). El reactor FF es un diseño especial en zigzag para la generación de flóculos ligeros (flóculos gaseosos) que se forman en presencia de polímeros y burbujas de aire inyectado, su potencial principal es para el tratamiento de grandes volúmenes de efluentes aceitosos<sup>20</sup>

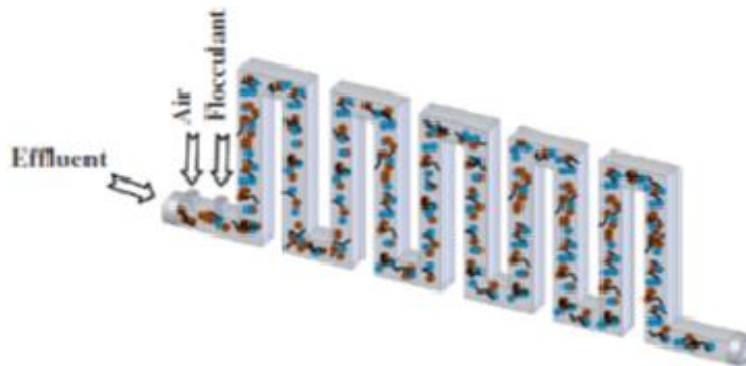


Figura 6. Dispensador de floculante utilizado en la floculación-flotación con la técnica de inyección de aire directo y soluciones de polímeros en zig-zag (OLIVEIRA & RUBIO 2012).

Con el fin de resaltar la importancia que existe entre los polímeros, las burbujas y las partículas es importante buscar las condiciones óptimas que favorecen la mejor formación de flóculos aireados, debido a que estas estructuras son altamente interactivas entre si y facilitan la formación de flóculos en suspensión.

El tamaño y la estructura de flóculos se consideran parámetros importantes para los procesos industriales ya que están estrechamente ligados a la eficiencia de separación sólido / líquido<sup>21</sup>.

<sup>20</sup> OLIVEIRA, RUBIO, op.cit

<sup>21</sup> OLIVEIRA, Cristiane, RODRIGUES, R.T. & RUBIO, Jorge. A new technique for characterizing aerated flocs in a flocculation–microbubble flotation system. En: International Journal of Mineral Processing. 15 July 2010.

### 3.3 SISTEMAS DE FLOCULACIÓN-FLOTACION PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Los sistemas de floculación-flotación tienen diferentes usos en la industria ya que pueden ser utilizados para aplicaciones en la descontaminación de aguas residuales y conducir al desarrollo de dispositivos compactos de alto rendimiento para una rápida floculación-flotación<sup>22</sup>.

Uno de los medios más efectivos para la eliminación de sólidos en aguas residuales es la flotación, este proceso de separación líquido-sólido es similar al proceso de sedimentación o el proceso de filtración<sup>23</sup>.

En el tratamiento de aguas residuales, la flotación está diseñada para eliminar todas las partículas que en general se encuentran en forma de emulsiones muy finas, sólidos suspendidos, microorganismos y dispersiones coloidales. Por lo tanto, los procesos se optimizan por la máxima recuperación de agua limpia con la concentración más baja de contaminantes y lodo<sup>24</sup>.

Algunos de los mecanismos acoplados en la floculación-flotación son los sistemas de flotación por aire disuelto (DAF) y recientemente, otras técnicas de flotación como los sistemas de flotación centrífuga (CFS) que se han aplicado en el tratamiento de aguas residuales. Estos usan la fuerza centrífuga para mejorar la mezcla de partículas y burbujas con productos químicos de tratamiento y acelerar la separación sólido/líquido.

Dentro de las variables del proceso de floculación-flotación se caracterizan el tipo de mezcla y eficiencia química, las características catiónica y aniónica de los floculantes y coagulante, las características del tipo de contaminante, la mezcla y carga contaminante, los niveles de flujo ajustables o constantes, el tamaño de los equipos, el porcentaje de aire disuelto en el agua, la formación de flocs, tipo de instalación de equipos, mantenimiento, capacidad de tratamiento y entre otros los costos de operación.

En el diseño más reciente, un hidrociclón centrífugo se combinó con pequeñas burbujas de flotación de aire disuelto que condujeron al desarrollo del híbrido de

---

<sup>22</sup> OLIVEIRA, RUBIO, op.cit

<sup>23</sup> WANG, Lawrence. K., SHAMMAS, Nazih. K., & SELKE, William. A. Flotation Technology. New York: Humana Press, (2010).

<sup>24</sup> DA ROSA, Jailton. RUBIO, Jorge. The FF (flocculation-flotation) process. En: Minerals Engineering. 19 October 2004.

flotación centrífuga. Este sistema se denomina, Sistema de Energía con Mezcla de Gas (GEM)<sup>25</sup>.

**3.3.1 Sistema de flotación por aire disuelto (DAF).** El método DAF, es llamado flotación por aire disuelto (Dissolved Air Flotation), y es muy común en el tratamiento de aguas residuales aceitosas. Este proceso se logra introduciendo el agua residual en un tanque de retención cerrado, al que se le agrega aire presurizado que se le permite salir a presión atmosférica y liberar el gas en exceso. Este mecanismo también sirve para espesar los lodos activados y lodos coagulados químicamente<sup>26</sup>.

En la Figura 5 se muestra un esquema del sistema DAF. La corriente de aguas residuales que pasa por los tubos está saturada con aire a presiones elevadas. Al formarse pequeñas burbujas, estas se ponen en contacto con las partículas presentes en el flujo de manera continua. Tales burbujas suben lentamente a la superficie del tanque. Esta es la razón principal para que los tanques de flotación por aire disuelto posean grandes dimensiones<sup>27</sup>.



Figura 7. Esquema de un sistema DAF (CLEAN WATER TECHNOLOGY, 2011).

En la Figura 6 se muestra la formación de flocs en una unidad DAF en donde se mezclan los productos químicos para la formación de flocs mediante tubos o hélices. Ambos métodos intentan abrir los polímeros en el flujo de agua residual pero no son lo suficientemente eficientes debido a las limitaciones en la extensión de la cadena del polímero<sup>28</sup>.

<sup>25</sup> COLIC, MORSE, op.cit

<sup>26</sup> KIURI, op.cit

<sup>27</sup> COLIC, MORSE, op.cit

<sup>28</sup> CLEAN WATER TECHNOLOGY, I. (2011). (En línea). Recuperado el 28 de febrero de 2013, Disponible en: <http://www.cleanwatertech.com/gem.html>



Figura 8. a) Etapa de formación de flocs en los tubos de un DAF b) Tanque de flotación de flocs. (CLEAN WATER TECHNOLOGY, 2011).

**3.3.2 Sistema de energía con mezcla de gas (GEM).** El equipo consta de un sistema para separar partículas de una corriente líquida contaminada. Incluye un aparato para mezclar el líquido con uno o más aditivos con el fin de mejorar la separación de los flocs mediante flotación con aire. Para mezclar el líquido con los aditivos, el GEM utiliza un dispositivo de reducción de presión que es el encargado de crear las burbujas que atrapan los flocs de la corriente de líquido. El dispositivo de reducción de presión desemboca en una cámara de flotación de un tanque de flotación, donde las burbujas flocs cargadas se dirigen hacia la parte superior del depósito de flotación.

El tanque de flotación está diseñado de tal manera que las burbujas/flocs cargadas circulan en la parte superior del depósito de flotación hasta que llegan a la superficie, mientras que los flujos de líquido descontaminado pasan por la parte inferior del depósito para su eliminación. Una cuchilla elimina los flocs flotantes contaminados desde la superficie superior del depósito de flotación en un aparato de deshidratación. “Una de las grandes ventajas del sistema GEM, es que satura el 100% de las corrientes de aguas residuales con aire disuelto y tiene la habilidad para controlarlo cuando el aire disuelto es liberado del agua. Esto da lugar a una mayor y más eficiente flotación de los contaminantes”<sup>29</sup>.

En la Figura 7 se muestra el esquema de un sistema GEM. En ella se ven los mezcladores de líquido, sólido y gas (LSGM) que proporcionan una mezcla homogénea de los contaminantes líquidos y los químicos (coagulante y floculante),

<sup>29</sup> MORSE, Dwain. E., MATHERLY, Thomas. G., & MORSE, Wade. O. (2008). Patente nº 6964740. EE.UU.

obteniendo como resultado una reducción de consumo y un uso más eficiente de los químicos. Los LSGM ofrecen la flexibilidad para cambiar la energía de mezcla a las características específicas de las aguas residuales y condiciones cambiantes (Figura 7a).

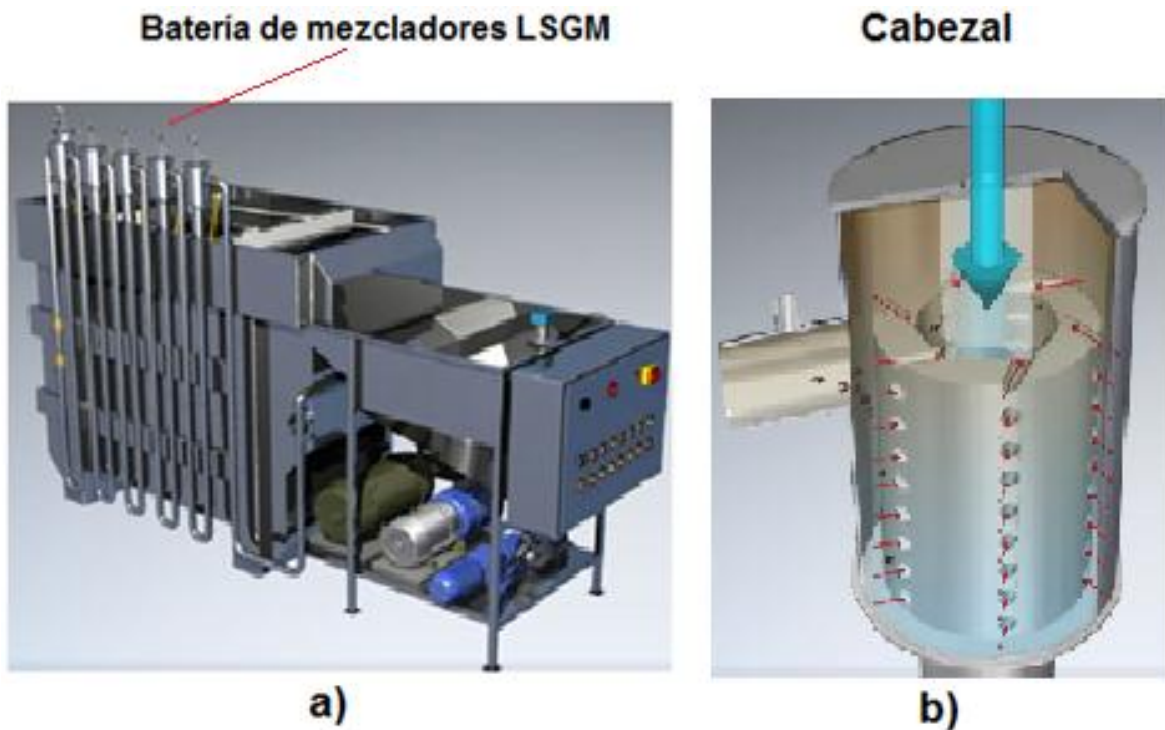


Figura 9. Sistema GEM. Fuente: (CLEAN WATER TECHNOLOGY, 2011).

En la Figura 7b se muestra el cabezal (mezclador) donde se realiza la formación de flocs en el sistema GEM por el contacto entre el agua residual, los agentes químicos y el aire. Este sistema utiliza fuerzas centrífugas para abrir los polímeros sin dañarlos, y tiene una serie de seis cabezales que puede variar en la mezcla de energías. La ventaja de este equipo es que cada cabezal puede ser ajustado para permitir una mezcla de energía en el que el flujo de residuos, la aplicación y los requisitos físico-químicos pueden ser satisfechos.

El sistema GEM puede manejar una carga de contaminante mucho mayor y producir sólidos mucho más secos y toma un tamaño menor que el de un sistema DAF tradicional<sup>30</sup>. (CLEAN WATER TECHNOLOGY, 2011)

En la Figura 8 se muestra la diferencia en la formación de flocs para los diferentes sistemas de floculación/flotación usados en el tratamiento de aguas residuales.

<sup>30</sup> CLEAN WATER TECHNOLOGY, op.cit

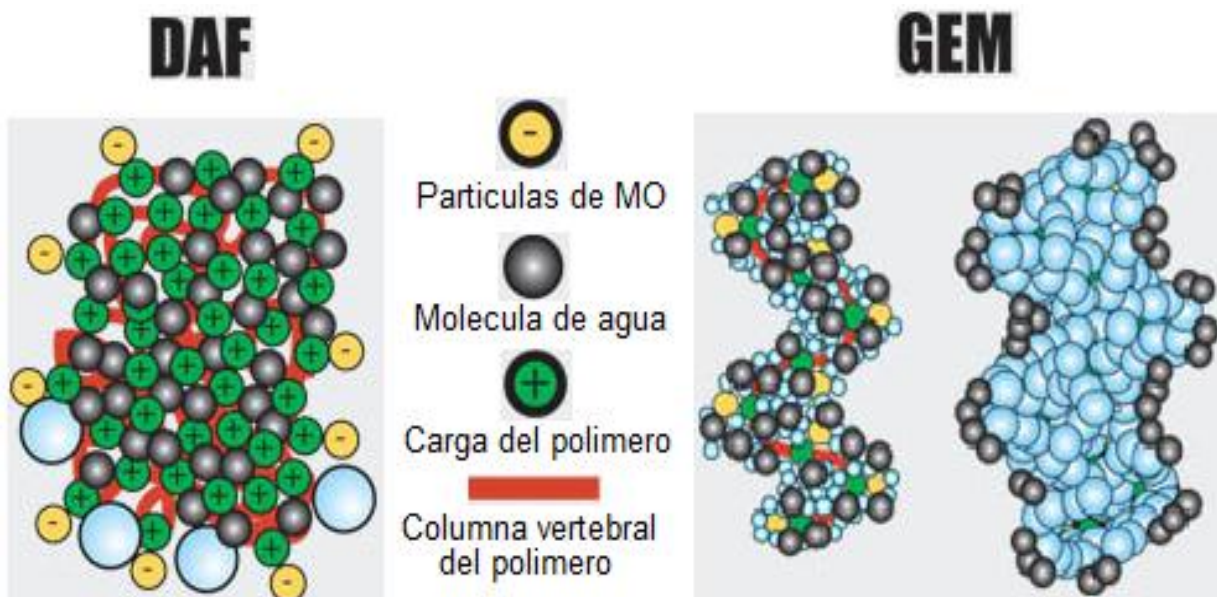


Figura 10. . Formación de flocs en los tubos del DAF y en los cabezales LSGM del sistema GEM.  
Fuente: (CLEAN WATER TECHNOLOGY, 2011).

La formación de flocs con la tecnología DAF demanda un uso menos eficiente de químicos, debido a que la reacción de los polímeros con la carga contaminante es muy baja ya que la columna vertebral del polímero a lo largo del equipo se mantiene aglomerada y no permite atraer la mayor cantidad de partículas, por tal razón el DAF tiende a producir lodos más húmedos puesto que la cadena polimérica retiene las moléculas de agua y hacen ineficiente el proceso de floculación/flotación.

A diferencia del DAF, la formación de flocs en el sistema GEM se da por la implementación de la tecnología de hidrociclón por medio de los cabezales (LSGM), la cual es la encargada de mezclar el aire dentro del 100% de la corriente de agua residual, para desenrollar la columna vertebral de los polímeros esto con el fin de usar la superficie total del polímero y de esta manera atraer mayor cantidad de partículas residuales. Estos resultados se dan en un menor espacio, usando de manera más eficiente los agentes químicos y produciendo lodos más secos permitiendo darle un mejor manejo como residuo sólido y logrando una reducción de costos de transporte y operación.

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1 MATERIALES Y EQUIPOS

En la Tabla 5 se listan algunas características de los productos químicos utilizados para el tratamiento de aguas residuales generadas en el procesamiento de subproductos avícolas, mediante la técnica de floculación/flotación. Estos son presentaciones comerciales de agentes floculantes y coagulantes. Ver fichas técnicas en el Anexo 1.

Tabla 5. Características de los agentes químicos

<b>POLIMEROS</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>
Superfloc C-572	Es un polímero líquido de mediano peso molecular y moderada densidad de carga. Que actúa de manera eficaz como coagulante primario y agente neutralizante de carga en los procesos de separación líquido-sólido en una amplia gama de industrias.
Superfloc C498	Es un floculante de carga catiónica media-alta para ser utilizado en procesos de clarificación de agua y deshidratación de lodos.
Superfloc A130HMW	Es un aditivo floculante de carga aniónica utilizado para optimizar las condiciones de clarificación de aguas potables y residuales.

Los equipos y materiales utilizados en el desarrollo experimental del proyecto se listan en la Tabla 6.

Tabla 6. Materiales y equipos utilizados en la experimentación.

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
Material volumétrico	Equipo piloto de floculación/flotación GEM
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Termómetro
K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	pH-metro
Agua destilada	Oxitop
Papel filtro	Medidor multiparámetro
	Turbidímetro
	Estufa
	Horno
	Embudo Buchner
	Espectrofotómetro UV-Vis
	Titulador FAS



## 4.2 EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA PROPORCIÓN DE MEZCLA DE LAS AGUAS RESIDUALES

La evaluación se hizo por medio de la preparación de tres aguas con diferentes características. Estas se obtuvieron mediante mezcla de las corrientes F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub>, F<sub>4</sub>, F<sub>5</sub> y F<sub>6</sub> con el fin de evaluar el efecto de la carga contaminante presente en los diferentes vertimientos.

La composición de los tipos de agua a tratar se muestra en la Tabla 7. Las corrientes que se emplearon en las preparaciones fueron aquellas que presentaron el mayor contenido de sólidos disueltos.

Tabla 7. Porcentajes de las corrientes para la preparación de aguas de interés.

Tipo de agua (TA)		1	2	3
Corriente	F <sub>2</sub> , %	3.33	–	–
	F <sub>3</sub> , %	16.66	14.28	–
	F <sub>4</sub> , %	8.33	14.28	–
	F <sub>6</sub> , %	71.66	71.42	100
Volumen total, L		6000	7000	5000

La Figura 9 muestra el aspecto general del mezclado de los tipos de agua a tratar. En el tanque se reguló el pH de la mezcla resultante con el fin de mejorar la acción de los agentes químicos que participan en el proceso de floculación.



Figura 11. Tanque de homogenización con recirculación para mezclado de corrientes con aguas contaminadas a tratar.

Para cada tipo de agua preparada (1 – 3), se desarrollaron pruebas de jarras consistentes en la adición de diferentes mezclas de agentes aniónicos y catiónicos en diferentes concentraciones. Las condiciones en las pruebas de jarras que

aportaron los mejores resultados para cada tipo de agua, se eligieron para ser evaluadas a escala piloto en el equipo GEM.

### 4.3 EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA MEZCLA DE FLOCULANTES CATIONICOS Y ANIÓNICOS SOBRE LA FORMACIÓN DE FLOCS EN LAS MEZCLAS DE AGUAS RESIDUALES

Para la evaluación del efecto de la mezcla de coagulantes y floculantes, se desarrollaron pruebas de jarras con los tipos de agua (1 – 3) y se adicionaron los agentes químicos a diferentes dosificaciones. Por cada tipo de agua se realizaron 5 pruebas, cada una con una mezcla de polímeros diferente. Con las diferentes dosificaciones que se utilizaron se buscó modificar las características físicas y químicas del polímero empleado para la floculación y posterior flotación.

Las diferentes mezclas poliméricas utilizadas presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Dosificación de agentes químicos para cada tipo de agua.

Polímero	Tipo de agua (TA)														
	1					2					3				
	Concentración, ppm														
	Ensayos					Ensayos					Ensayos				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
<b>Superfloc C-572</b>	30	30	30	30	<b>20</b>	30	20	20	30	<b>25</b>	30	30	30	40	<b>50</b>
<b>Superfloc C498</b>	20	20	10	15	<b>15</b>	35	35	20	20	<b>30</b>	20	30	15	30	<b>20</b>
<b>Superfloc A130HMW</b>	10	20	10	15	<b>15</b>	30	20	10	20	<b>15</b>	20	20	15	15	<b>10</b>

Para cada tipo de agua se seleccionó la mezcla polimérica que promovió la mayor cantidad y formación de floccs en las pruebas de jarras considerando también el aspecto económico (menor consumo de agentes químicos). Las mezclas seleccionadas para los ensayos piloto se resaltan en la Tabla 8 (negrilla). De nuevo, estas condiciones fueron llevadas al equipo GEM para desarrollar las pruebas piloto.

## 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 5.1 EFECTO DE LA PROPORCION DE MEZCLA DE AGUA CONTAMINANTE

**5.1.1 Agua Tipo 1.** La Dosificación de agentes químicos utilizados en esta prueba se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Dosificación de agentes químicos agua Tipo 1.

Jarra	Coagulante [ppm]	Floculante Catiónico [ppm]	Floculante Aniónico [ppm]
1	30	20	10
2	30	20	20
3	30	10	10
4	30	15	15
5	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>15</b>

La Figura 10 muestra el resultado de las pruebas de jarras para el agua Tipo 1 con diferentes dosificaciones de agentes químicos. En la jarra 1, aunque se nota formación de flocs, estos poseen características débiles de flotación. En la jarra 2 se nota mayor consistencia en el floc y se nota una reducción más evidente de la turbidez de la muestra. Con base en estos resultados preliminares, se procedió a realizar el primer ensayo piloto en el equipo GEM con la respectiva dosificación de agentes químicos. Una vez terminado el ensayo se realizaron nuevamente pruebas de jarras en estas pruebas inicialmente se aumentó la dosificación pero los resultados fueron similares a los de baja dosificación por tanto, se concluyó que el incremento de la dosis de químicos genera mayor consumo de reactivos y no mejora los resultados de flotabilidad y remoción.

Posteriormente se cambió la dosificación presentando resultados parecidos pero con la ventaja de utilizar menor cantidad de agentes químicos. Bajo esta condición, las jarras 3, 4 y 5 presentaron mejores efectos en la muestra de agua residual

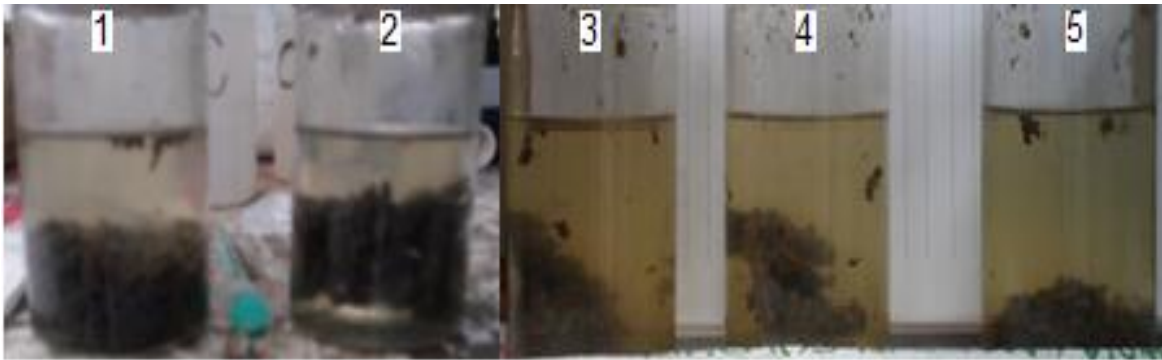


Figura 12. Pruebas de jarras agua Tipo 1.

Con base en estos resultados preliminares, se procedió a realizar 2 ensayos piloto en el equipo GEM. El primero con las condiciones determinadas en la jarra 2 y el segundo con las condiciones determinadas en la jarra 5.

Una vez definidas las dosificaciones encontradas en las jarras, se procedió a ajustar los parámetros operacionales del equipo por medio de las tablas de dosificación de agentes químicos (Ver Anexo 2). Estos datos se usaron para ajustar la variable de operación del equipo (revoluciones de las bombas dosificadoras de agentes químicos), de manera que la mezcla de químicos corresponde a la dosificación determinada en las pruebas de jarras.

El equipo se puso en funcionamiento hasta que se alcanzaron condiciones estables (aproximadamente 20–30 min). Al cabo de este tiempo se tomó una muestra del efluente entregado en la operación floculación/flotación para ser analizada física y químicamente en el laboratorio.

**5.1.2 Agua Tipo 2.** La dosificación de agentes químicos utilizados en esta prueba se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Dosificación de agentes químicos agua Tipo 2.

Jarra	Coagulante [ppm]	Floculante Catiónico [ppm]	Floculante Aniónico [ppm]
1	30	35	30
2	20	35	20
3	20	20	10
4	30	20	20
5	25	30	15

Las mejores condiciones determinadas en las pruebas de jarras y que se ensayaron en el equipo fueron las determinadas en la jarra 5 debido a que con esta dosificación se obtuvieron los mejores resultados frente a los criterios de

formación de flocs y turbiedad del agua. La Figura 11 muestra los resultados en las pruebas de jarras.



Figura 13. Pruebas de jarras agua Tipo 2

Para esta agua residual, se realizó el mismo número de pruebas de jarras modificando la dosificación de agentes químicos. Se definió que la dosificación de la jarra 5 (25 ppm de coagulante, 30 ppm de floculante catiónico y 15 ppm de floculante aniónico), fue la que mejores resultados presentó frente a los criterios de formación de flocs y turbiedad del agua.

Posteriormente se procedió a ajustar los parámetros operacionales del equipo con las tablas de dosificación de agentes químicos (Ver Anexo 2). de manera que dosifique el químico con la cantidad equivalente a la dosificación determinada en las pruebas de jarras y finalmente tomar la muestra del efluente esto con el fin de analizarla en el laboratorio.

**5.1.3 Agua Tipo 3.** La dosificación de agentes químicos utilizados en esta prueba se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Dosificación de agentes químicos agua Tipo 3.

Jarra	Coagulante [ppm]	Floculante Catiónico [ppm]	Floculante Aniónico [ppm]
1	30	20	20
2	30	30	20
3	30	15	15
4	40	30	15
5	<b>50</b>	<b>20</b>	<b>10</b>

La dosificación de agentes químicos que mejores resultados mostró mediante la prueba de jarras fue la jarra 5 (50 ppm de coagulante, 20 ppm de floculante catiónico y 10 ppm de floculante aniónico). Cabe destacar que fue la que mayor consumo de coagulante requirió para obtener buenos resultados en la formación de flocs y turbiedad del agua (ver Figura 12).



Figura 14. Pruebas de jarras agua Tipo 3

Con las mejores condiciones obtenidas en las pruebas de jarras se realizaron las pruebas piloto en la unidad GEM y se tomaron las muestras para el análisis.

## **5.2 EFECTO DE LA MEZCLA DE FLOCULANTES CATIÓNICOS Y ANIÓNICOS SOBRE LA FORMACIÓN DE FLOCS EN LAS MEZCLAS DE AGUAS RESIDUALES**

Varias combinaciones de coagulante y floculante se usaron en un intento de mejorar la eliminación de la materia orgánica y las partículas suspendidas presentes en el agua residual. Con base en los resultados obtenidos en las pruebas preliminares, se fue ajustando las dosificaciones de químicos hasta lograr las mejores condiciones de formación y flotación de flocs.

La Figura 13 muestra un ejemplo de los resultados obtenidos para el agua Tipo 1



Figura 15. Resultados del tratamiento de floculación- flotación para el agua Tipo 1

La Tabla 12 muestra las dosificaciones óptimas de agentes químicos para lograr la mejor formación de flocs y remoción de turbiedad de cada uno de los 3 tipos de agua con los que se realizaron los ensayos piloto.

Tabla 12. Dosificaciones optimas de agentes químicos para los 3 tipos de agua.

Tipo de Agua	Coagulante [ppm]	Floculante Catiónico [ppm]	Floculante Aniónico [ppm]
1	20	15	15
2	25	30	15
3	50	20	10

Con base en la Tabla 12 las diferencias de consumo de agentes químicos en las tres aguas son evidentes, debido a las características de los vertimientos con los que se prepararon.

### 5.3 CARACTERISTICAS FISICAS Y QUÍMICAS DE LOS EFLUENTES TRATADOS

Con los resultados obtenidos en las pruebas piloto en el equipo GEM, se realizaron estudios analíticos para determinar la variación de algunas variables de interés como el pH, turbiedad, solidos suspendidos totales SST, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO) con el fin de

determinar la remoción de carga contaminante en las diferentes mezclas de aguas residuales variando la dosificación de agentes químicos y su aspecto físico.

En la Tabla 13 se muestra la caracterización física y química de los diferentes tipos de agua tratados a escala piloto mediante la técnica de flotación/floculación en el equipo GEM con las condiciones determinadas en los ensayos de jarras previamente.

Tabla 13. Caracterización física y química de los diferentes tipos de agua.

Parámetro	Tipo de agua					
	1		2		3	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
pH	6.34	6.53	6.44	6.51	6.3	6.43
Turbiedad, NTU	2043	63	888	54	1280	36
SST, mg/l	6082.6	506.6	1794.6	326.6	2449.3	506.6
DBO <sub>5</sub> Total, mg/l	9500	2700	4000	2900	4600	2050
DBO <sub>5</sub> Soluble, mg/l	2000	1400	3100	2900	2500	2000
DQO Total, mg/l	17180.3	2773.1	3899.6	2429.4	7275.3	1690.1
DQO Soluble, mg/l	5205.0	2564.0	3593.5	2970.3	3995.5	3256.6

**5.3.1 pH.** El valor de pH muestra un ligero aumento luego del tratamiento debido a la adición de los agentes químicos (floculante y coagulante) necesarios para la formación de flocs.

**5.3.2 Turbiedad.** En el parámetro de turbiedad se resalta notoriamente la relación que existe entre la dosificación de agentes químicos y el porcentaje de remoción de turbiedad para cada una de las aguas preparadas. En el agua Tipo 3 se logró una remoción de turbiedad de 97.2% mayor que la remoción de las aguas Tipo 1 y 2 (96.9% y 93.9% respectivamente).

Los resultados de porcentajes de remoción obedecen a dos factores. Inicialmente la carga orgánica contaminante sedimentable, en suspensión y disuelta para los tres tipos de agua la cual es diferente debido a las características de los vertimientos generados en el procesamiento de subproductos avícolas como se mencionan en la Tabla 1 y la selección de la mejor dosificación de agentes químicos definida en la Tabla 12.



Para el caso del agua Tipo 1, la cual presenta una mayor carga sólidos, se observó que la dosificación de coagulante y floculante fue menor, este hecho se justifica debido que al existir una mayor concentración de sólidos, el efecto de arrastre de partículas generado por los flocs se hace más significativo, incrementando la eficiencia del proceso de flotación de partículas, lo que permite señalar que el proceso es bastante eficiente para la remoción de material sólidos, y esta eficiencia es mayor para aguas con altas cargas sólidas, con las cuales el consumo de aditivos en el tratamiento es menor.

**5.3.3 Sólidos suspendidos totales.** Es uno de los más importantes debido a la relación que existe entre la dosificación de insumos químicos y la concentración de contaminantes en el agua. Esto se refleja en los porcentajes de remoción de SST asociados a la diferencia de concentración de entrada y salida al sistema de floculación/flotación.

En aguas coaguladas y floculadas la remoción de sólidos suspendidos totales es alta para las tres muestras analizadas, las considerables eficiencias del proceso se deben a las características del material presente en el agua y a sus elevadas concentraciones, este hecho permite que el sistema de floculación/flotación trabaje de manera eficaz, en otras palabras, cuando la carga sólida del agua es alta, la eficiencia del proceso tiende a ser mayor, debido al arrastre que se ocasiona en el ascenso de los flocs formados, lo cual representa una mejora en el proceso. Por otra parte si la concentración de sólidos es baja, el arrastre del flocs durante la flotación es menor.

Se puede notar que la remoción de los sólidos suspendidos totales depende del tipo de agua. Para el agua Tipo 1 se logró una remoción de SST de 91.7% mayor que la remoción del agua Tipo 2, 81.8% debido a que la mezcla de las corrientes que preparan el agua Tipo 2 no contiene una considerable concentración de sólidos suspendidos procedentes del agua generada en el procesamiento de las vísceras. Por otra parte la remoción de carga orgánica contaminante más baja en este parámetro se presentó con el agua Tipo 3, 79.3% aunque no deja de ser importante, este resultado se presentó porque esta agua contiene la menor cantidad de material en suspensión.

**5.3.4 Demanda biológica de oxígeno DBO.** La medición y análisis de la carga contaminante biodegradable por medio de la DBO<sub>5</sub> total, permite demostrar la eficiencia del proceso de floculación/flotación para la remoción de materia orgánica sedimentable y en suspensión. Los resultados presentados en la Tabla 13 muestran como disminuye la DBO<sub>5</sub> total de las tres aguas a su paso por el sistema de tratamiento.

En este parámetro se ve nuevamente la influencia que tiene el tipo de agua ya que la presencia de material orgánico y demás partículas presentes en el agua junto con la dosificación adecuada, son los factores más importantes que definen el resultado del agua residual a su paso por el sistema de tratamiento.

Para el agua Tipo 1 la variación de  $DBO_5$  entre la entrada y salida es mayor que para el agua Tipo 2 y 3 logrando como resultado una remoción de  $DBO_5$  de 71.6%. Esta remoción está vinculada con la remoción de SST puesto que al remover la mayor cantidad de material en suspensión directamente se está reduciendo el valor de la DBO debido al arrastre de la materia orgánica biodegradable presente en el agua. Por otra parte al analizar los resultados del agua 2 y 3, la carga contaminante en estas muestras no difieren mucho a la entrada pero sus porcentajes de remoción son desiguales logrando remociones de  $DBO_5$  de 27.5% y 55.4% respectivamente, este hecho se da porque el agua Tipo 3 contiene mayor cantidad de materia orgánica biodegradable sedimentable y en suspensión.

La medición y análisis de la carga contaminante biodegradable por medio de la  $DBO_5$  soluble, permite demostrar la eficiencia del proceso de floculación/flotación para la remoción de materia orgánica disuelta. Los resultados presentados en la Tabla 13 muestran como disminuye la  $DBO_5$  soluble de las tres aguas a su paso por el sistema de tratamiento.

La remoción de la materia orgánica disuelta implica la transformación química de esta, de manera que la medición por separado de materia orgánica total y disuelta permite ver la eficiencia por separado del proceso de remoción de la  $DBO_5$ . Este hecho debe ser tenido en cuenta si se tiene en cuenta que el proceso de tratamiento que se está evaluando, es un proceso físico y químico en el cual típicamente no se logran remociones significativas de DBO soluble, pero en el caso del proceso de flotación la adición de aire al agua permite que se logre cierto grado de mineralización de la materia orgánica soluble presente en el agua residual.

El cambio de la  $DBO_5$  soluble en el agua durante el tratamiento se ve afectado debido a que el proceso de floculación/flotación consiste básicamente en la remoción del material en suspensión, este hecho se confirma con los resultados obtenidos. Para el caso del agua Tipo 1 el porcentaje de remoción paso de ser el 71.6% para  $DBO_5$  total a ser del 30% para  $DBO_5$  soluble, el agua Tipo 2 el porcentaje de remoción paso de ser el 27.5% para  $DBO_5$  total a ser del 6.5% para  $DBO_5$  soluble y para el agua Tipo 3 el porcentaje de remoción paso de ser el 55.4% para  $DBO_5$  total a ser del 20% para  $DBO_5$  soluble. Este hecho se puede

explicar teniendo en cuenta que el proceso que se evaluó es un proceso físico químico en el cual se dosifican coagulantes y floculantes para clarificar el agua y adicionalmente se suministra aire para lograr la flotación de los flocs y estimular la oxidación de la materia orgánica presente en el agua residual, de manera que la principal destreza del proceso es la remoción de material particulado.

**5.3.5 Demanda química de oxígeno DQO.** La DQO se analizó de la misma manera que la  $DBO_5$ , aunque en los dos parámetros se evalúa tanto lo suspendido como lo disuelto, la diferencia en el estudio se hace para analizar la eficiencia del proceso por separado y estudiar los resultados de remoción de la materia orgánica degradada mediante procesos biológicos y procesos químicos.

Los resultados presentados en la Tabla 13 muestran como disminuye la DQO total de las tres aguas a su paso por el sistema de tratamiento. Es de esperar que el proceso sea muy eficiente para la remoción de materia orgánica sedimentable y en suspensión, pero no así para la remoción de materia orgánica disuelta, pues esta no puede ser coagulada, floculada y sometida a flotación por encontrarse disuelta en el agua. En el agua Tipo 1 se logró una remoción de DQO total de 83.9% mayor que la remoción de las aguas Tipo 2 y 3, 37.7% y 76.8% respectivamente.

La mayor disminución de DQO total se presenta para el agua Tipo 1 (agua residual resultante de la mezcla de los distintos efluentes del proceso), es decir que la mezcla de las aguas residuales favorece el proceso de remoción de materia orgánica, posiblemente a causa del alto contenido de material particulado, que favorece la formación de núcleos de partículas cada vez de mayor tamaño en la medida que flotan del tanque a la superficie.

Por otra parte se puede ver que la remoción de DQO total para las aguas Tipo 1 y 3 no difiere demasiado, cabe aclarar que desde el punto de vista de la carga contaminante la remoción de DQO es muy superior para el tratamiento de agua Tipo 1. Este hecho se puede justificar debido a la formación de flocs de mayor tamaño que incrementan la aglomeración de partículas y maximizan la separación agua/sólido.

En el análisis de la DQO soluble realizado a las diferentes muestras, la coagulación, floculación y flotación corresponden a un proceso físico y químico, pero no implica la oxidación o degradación de materia orgánica disuelta, por tal razón, es de esperar que la remoción de DQO total sea muy superior a la remoción de DQO soluble, hecho que se confirma con los resultados presentados en la Tabla 13. La remoción de DQO para el agua Tipo 1 pasó de ser el 83,9 %

para DQO total, a ser del 50,7% para DQO soluble, para el agua Tipo 2 pasó de ser el 37.7 % para DQO total, a ser del 17.3% para DQO soluble, para el agua Tipo 3 pasó de ser el 76.8 % para DQO total, a ser del 18.5% para DQO soluble, confirmando el hecho que el sistema tiene como función principal la remoción de partículas, pero que también se realiza un proceso de oxidación que facilita la remoción de la DQO soluble.

## 6. CONCLUSIONES

Se demostró con los análisis de las muestras de los tres tipos de agua residual, que la mezcla de las corrientes define la eficiencia del sistema de tratamiento sobre la remoción de carga orgánica contaminante durante el proceso de floculación/flotación, debido a que la mezcla de las aguas define el nivel de contaminación presente en la muestra de agua.

El sistema de tratamiento GEM, es un equipo de fácil operabilidad y adaptabilidad que permite diversas variaciones de flujo y remoción de altas y bajas cargas contaminantes, que comparado con otros sistemas de tratamiento tradicionales, permite obtener mayor reducción de costos, lodos y químicos en el tratamiento aguas residuales generadas por la industria.

Los resultados mostraron que después del tratamiento de las diferentes muestras de agua residual, el pH tiende a subir sin generar cambios significativos que conduzcan a una previa estabilización del pH antes de la prueba, por tal razón se puede concluir que la adición de agentes químicos no tiene fuerte incidencia en el aumento del pH del agua residual ya que presenta un pequeño incremento (menor a 0,2 unidades de pH).

Se comprobó por medio del análisis de laboratorio que los valores de pH tuvieron poco efecto sobre el tratamiento con el equipo GEM por tal razón, el proceso de floculación/flotación podría trabajar de forma eficaz en una amplia gama de valores de pH.

A pesar de las diferencias que existen en el contenido de material en suspensión de las muestras, se observó que la turbiedad es uno de los parámetros que presenta el mayor porcentaje de remoción en los tres tipos de agua tratada por tal razón, podemos concluir que el sistema GEM tiene la capacidad de lograr remociones del 93.9% de turbiedad como mínimo para el caso del agua tipo dos, remoción del 96.9% de turbiedad para el caso del agua tipo uno y el porcentaje más alto para el agua tipo tres con una remoción del 97.2% de turbiedad.

Para optimizar el uso de los agentes químicos, la variable “mezcla de corrientes de agua residual” es la que define cuál de las posibles mezclas es la que promueve la mayor formación de flocs y a su vez la más alta tasa de remoción de carga contaminante.

Los sólidos suspendidos en cada corriente son el parámetro que permite valorar la importancia que tiene la variación de las mezclas de las corrientes contaminantes frente a la dosificación de agentes químicos debido a los altos niveles de remoción entre la entrada y salida que no son inferiores a un 79.3% de SST.

La remoción de SST es alta en las tres muestras de agua, logrando los mejores resultados para el agua 1, para las aguas 2 y 3 los resultados no cambian de manera significativa y se presenta una gran remoción de carga contaminante porque las muestras de agua contienen elevadas cantidades de material en suspensión y es lo que permite que el sistema de floculación/flotación trabaje de manera eficiente sin importar la mezcla de las aguas pero si la dosificación de agentes químicos.

Al analizar y comparar los cambios de la DBO total y DBO soluble en el agua durante el tratamiento, se demuestra que el proceso de descontaminación consiste básicamente en la remoción de material particulado, este hecho justifica el por qué la remoción de DBO<sub>5</sub> total es mayor que la remoción de DBO<sub>5</sub> soluble en los tres tipos de agua.

Por medio de los análisis de laboratorio se pudo comprobar que el proceso presenta un porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> total superior al 27.5% para todas las muestras analizadas, mientras que el porcentaje de remoción de la DBO<sub>5</sub> soluble no supera el 30%. Este hecho se puede explicar teniendo en cuenta que el proceso que se evaluó es un proceso físico químico en el cual se dosifican coagulantes para clarificar el agua y adicionalmente se suministra aire para lograr la flotación de los flocs livianos y estimular la oxidación de la materia orgánica presente en el agua residual, de manera que la principal destreza del proceso es la remoción de material particulado, este hecho justifica el por qué la remoción de DBO<sub>5</sub> total es mayor que la remoción de DBO<sub>5</sub> soluble.

La remoción de la DQO total fue superior a la remoción de la DQO soluble para los diferentes tipos de agua debido a las características de las mismas, este hecho confirma que el sistema de tratamiento de floculación/flotación GEM es el encargado de la remoción de la carga contaminante en suspensión y disuelta, lo que favorece directamente el tratamiento posterior en la laguna de oxidación.

La remoción de DQO pasó de ser el 83,2 % para DQO total, a ser del 50,7 para DQO soluble confirmando el hecho de que el sistema tiene como función principal la remoción de partículas, pero que también se realiza un proceso de oxidación que facilita la remoción de la DQO soluble.

En esta investigación se demostró que el consumo de agentes químicos depende en gran parte del tipo de agua que se desea tratar y el tipo de mezcla que se requiere para que los polímeros tengan la capacidad de reaccionar eficientemente y alcanzar el máximo rendimiento de manera que se puedan obtener elevados niveles de remoción en los diferentes parámetros que se midieron en los tres tipos de aguas.

El proceso de floculación/flotación es superior en dos aspectos, menos tiempo de pretratamiento y más eficacia de pretratamiento. Estas ventajas se atribuyen a las cualidades del sistema de flotación de partículas, es decir cuanto menor sea el tamaño de las burbujas, los materiales más contaminantes se eliminan y proceso de flotación de burbujas ahorra el uso de coagulante y mejora la eficacia y la eficiencia del tratamiento.

Por medio de esta investigación se pudo concluir que los mecanismos de la formación de flóculos aireados implican muchos fenómenos que se producen simultáneamente como la interacción entre los agentes químicos y la carga contaminante presente en las muestras de agua, el desenrollado de las cadenas poliméricas, la generación de burbujas debido a la inyección de aire y en general la remoción del material contaminante. Por tal razón la implementación de este tipo de tecnologías puede mejorar los sistemas de tratamiento de aguas de diferentes industrias.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- AGUILA, Felix. D. Harina de plumas: Hidrólisis enzimática vs método convencional. (En línea). (22 de 05 de 2011). Recuperado el 02 de 05 de 2013. Disponible en <http://www.engormix.com/MA-balanceados/fabricacion/articulos/harina-de-plumas-t3392/801-p0.htm>
- ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. Bogota: Mc Graw Hill, (2000).
- BARRENECHEA, M. A. Tratamiento de agua para consumo humano, capítulo 4 coagulación. (2004). Recuperado el 19 de 05 de 2013, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual/tomol/cuatro.pdf>
- CÁRDENAS, Y. A. tratamiento de agua coagulación floculación. (04 de 2000). Recuperado el 05 de 05 de 2013, disponible en <http://www.frm.utn.edu.ar/archivos/civil/Sanitaria/Coagulaci%C3%B3n%20y%20Floculaci%C3%B3n%20del%20Agua%20Potable.pdf>
- CLEAN WATER TECHNOLOGY, I. (2011). (En línea). Recuperado el 28 de febrero de 2013, Disponible en: <http://www.cleanwatertech.com/gem.html>
- COLIC, Miroslav & MORSE, Wade. The development and application of centrifugal. En: International Journal of Environment and Pollution. (2007).
- COLIC, Miroslav; ACHA, Eric; LECHTER, Ariel. Advanced Pretreatment Enables MBBR Treatment of High. Water Environment Federation. (2009).
- DA ROSA, Jailton. RUBIO, Jorge. The FF (flocculation–flotation) process. En: Minerals Engineering. 19 October 2004.
- GOHARY F, TAWFIK A, MAHMOUD U. Comparative study between chemical coagulation/ precipitation (C/P) versus coagulation/dissolved air flotation (C/DAF) for pre-treatment of personal care products (PCPs) wastewater. En: Desalination. 25 de noviembre 2009.
- HIDRITEC. Recuperado el 21 de 01 de 2014, de <http://www.hidritec.com/hidritec/parametros-de-caracterizacion-del-agua> (2011)



HIDRITEC. Recuperado el 21 de 01 de 2014, de <http://www.hidritec.com/hidritec/tratamiento-de-aguas-residuales-y-disminucion-de-dqo> (2011)

KIURI, H. Development of dissolved air flotation technology from the first generation to the newest (third) one (DAF in turbulent flow conditions). *Water Science & Technology*. (2001).

LÓPEZ, M. E. Tratamiento biológico de aguas residuales aplicable a la industria avícola. (20 de 04 de 2007). Recuperado el 02 de 05 de 2013, de <http://www.engormix.com/MA-avicultura/manejo/articulos/tratamiento-biologico-aguas-residuales-t1481/124-p0.htm>

MORSE, Dwain. E., MATHERLY, Thomas. G., & MORSE, Wade. O. (2008). Patente nº 6964740. EE.UU.

NARDI I.R, FUZI T.P, NERY V. Performance evaluation and operating strategies of dissolved-air flotation system treating poultry slaughterhouse wastewater. En: *Resources, Conservation and Recycling*. 27 July 2007.

NERY A, NARDI B, DAMIANOVIC C, POZZI C, AMORIM D, ZAIAT C. Long-term operating performance of a poultry slaughterhouse wastewater treatment plant. En: *Resources, Conservation and Recycling*. 24 July 2006.

OLIVEIRA, Cristiane, RODRIGUES, R.T. & RUBIO, Jorge. A new technique for characterizing aerated flocs in a flocculation–microbubble flotation system. En: *International Journal of Mineral Processing*. 15 July 2010.

OLIVEIRA, Cristiane, & RUBIO, Jorge. A short overview of the formation of aerated flocs and their applications in solid/liquid separation by flotation. En: *Minerals Engineering*. 5 October 2012.

RICCI, O. E. (19 de 06 de 2012). Harina de Sangre. Recuperado el 02 de 05 de 2013, de <http://www.engormix.com/MA-avicultura/industria-carnica/articulos/harina-sangre-t4049/471-p0.htm>

SALAGER, Jean., & FORGIARINI, Ana. Fundamentos de la flotacion. (en línea) (2007). Recuperado el 05 de 05 de 2013, disponible en <http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/335a.pdf>

SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE. <http://www.ambientebogota.gov.co/>. Recuperado el 23 de 05 de 2013, de Boletín Legal Ambiental, Normatividad, Vertimientos:[https://190.27.245.106/BLA/boletinlegal/norma\\_menu.php8](https://190.27.245.106/BLA/boletinlegal/norma_menu.php8) (2010)

SUAREZ, Sonia J. M. (2009). Pre-treatment of hospital wastewater by coagulation–flocculation and flotation. *Bioresource Technology*.

VARGAS, Lidia. Tratamiento de agua para consumo humano. (en línea). (2004). Recuperado el 03 de 05 de 2013, de <http://cdam.minam.gob.pe:8080/bitstream/123456789/109/10/CDAM0000012-9.pdf>

VARGAS, L. (2009). Recuperado el 03 de 05 de 2013, de <http://cdam.minam.gob.pe:8080/bitstream/123456789/109/10/CDAM0000012-9.pdf>

VÁZQUEZ ROSSAINZ David. Estudio de Factibilidad para la Construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la UDLA-P. Cholula, Puebla, México. 2003. Universidad de las Américas Puebla. Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil.

WANG, Lawrence. K., SHAMMAS, Nazih. K., & SELKE, William. A. *Flotation Technology*. New York: Humana Press, (2010).

## 8. ANEXOS

### ANEXO 1. Fichas técnicas de los productos químicos utilizados para el tratamiento de aguas residuales


#### COAGULANTE

## FICHA TÉCNICA

---

### SUPERFLOC C-572

POLIELECTROLITO CATIONICO



Tratamientos Químicos Industriales  
Soluciones Ambientales Confiables

#### DESCRIPCION

**EL SUPERFLOC C-572** es un polímero líquido de mediano peso molecular y moderada densidad de carga. Que actúa de manera eficaz como coagulante primario y agente neutralizante de carga en los procesos de separación líquido-sólido en una amplia gama de industrias.

#### ESPECIFICACIONES TECNICAS

Apariencia	Líquido viscoso
Color	Ámbar claro
% Sólidos Totales	49 - 51
Densidad 25°C (gr/cc)	1.14 – 1.18
pH (Directo)	4.0 – 7.0
Solubilidad en agua	100%
Viscosidad brookfield 25°C	175-400

#### MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Debe almacenarse preferiblemente bajo cubierta a temperaturas entre 10 - 40°C. manipúlese utilizando elementos de seguridad como guantes, protector facial y peto, etc. En caso de contacto, con la piel, lavar con abundante agua. Siga las recomendaciones y procedimientos de seguridad de su compañía para el manejo de este producto

#### APLICACIONES Y GUIA DE USO

**EL SUPERFLOC C-572** se debe dosificar en el sistema utilizando una bomba de desplazamiento positivo resistente a la corrosión. Para lograr la mayor eficacia, añada agua de dilución hasta lograr una relación de al menos 10:1. los mejores resultados se obtienen dispersando la corriente de alimentación y promoviendo una alta turbulencia para lograr un mezclado rápido más allá del punto de aplicación. Se pueden usar en: clarificación de agua según norma ANSI/NSF 60. Como ayuda de clarificación de licores y jugos de azúcar según aprobación FDA (21 CFR 173.5)


#### EMPAQUE

Tambor plástico y/o isotanque de 240 Kilos netos.

#### SERVICIO AL CLIENTE

Si usted requiere información adicional o asistencia técnica, comuníquese con nosotros al 6812320 – 316 445 16 57 o a nuestro e-mail: [tqi.com.co](mailto:tqi.com.co) o con nuestro representante más cercano.

Dirección: Calle 52 No 2GN - 37  
Tel. (57 2) 379 77 77 / Tel. (57 2) 379 88 88  
Cel. (57) 316 445 1657- (57) 321 8118283  
E-mail: [info@tratamientosquimicosindustriales.com](mailto:info@tratamientosquimicosindustriales.com)  
Cali - Colombia



# FLOCULANTE CATIONICO

## FICHA TÉCNICA



## SUPERFLOC C498

### DESCRIPCIÓN

EL SUPERFLOC C498 es un floculante de carga catiónica media-alta para ser utilizado en procesos de clarificación de agua y deshidratación de lodos.

### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Apariencia	Polvo blanco granular
Sólidos totales %	>=90
Acrilamida residual	0.1 % max.
Viscosidad estándar	3.0 – 3.8 Cp
% de carga	55

### APLICACIONES Y GUIA DE USO

EL SUPERFLOC C498 es un floculante con efectivo carácter poli electrolítico, el cual puede ser usado como un coagulante o ayudante de drenaje.

### NIVELES DE TRATAMIENTO

- Clarificación de lodos industriales y aguas municipales 1 – 25 lb/ton.
- Flotación de lodos y papeles finos 2-25 lb/ton
- Adelgazamiento de lodos municipales e industriales 0.5-25 lb/ton.
- Acondicionante de filtración en el proceso de deshidratación de lodos digeridos primarios en plantas de efluentes municipales 2 a 6 lb/ton. De materia seca.
- Clarificación de aguas residuales primarias y secundarias 0.5 – 20 ppm

### APLICACIÓN

Una solución madre de SUPERFLOC C498 puede ser introducida al sistema haciendo uso de una bomba de desplazamiento positivo y diluido en proporciones al menos de 10:1 con agua limpia para ser alimentada al sistema. Se debe evitar bombas centrífugas en la transferencia de polímeros

### MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Las soluciones de SUPERFLOC C498 no son mas corrosivas que el agua y los materiales recomendados para la construcción de recipientes incluyen el acero inox. La fibra de vidrio, el plástico, recubrimientos epoxicos o de vidrio. No utilice hierro, cobre ni aluminio, los derrames de polímero son muy escurridizos y se deben recoger por absorción en un material inerte antes de lavar con agua.

La vida útil de estos productos es de 12 meses cuando se almacenan en paquetes sin abrir, en atmósfera seca y a temperatura no superior a los 40 °C

### PRESENTACIÓN

Sacos por 25 Kg netos

### SERVICIO AL CLIENTE

Si usted requiere información adicional o asistencia técnica, comuníquese con nosotros al 6812320 – 316 445 16 57 o a nuestro e-mail: [info@tratamientosquimicosindustriales.com](mailto:info@tratamientosquimicosindustriales.com) o con nuestro representante más cercano.

Dirección: Calle 52 No 4N - 73  
Tel. (57 2) 681 23 20 / Fax: (57 2) 682 82 85  
Cel. (57) 316 445 1657- (57) 321 8118283  
E-mail: [info@tratamientosquimicosindustriales.com](mailto:info@tratamientosquimicosindustriales.com)  
Cali - Colombia



# FLOCULANTE ANIONICO

## FICHA TÉCNICA



### SUPERFLOC A130HMW

#### DESCRIPCIÓN

EL SUPERFLOC A130HMW es un aditivo floculante utilizado para optimizar las condiciones de clarificación de aguas potables y residuales así como de jugos de caña de azúcar

El SUPERFLOC A130HMW, es una poliacrilamida única de peso molecular y carga aniónica muy específicos, no tóxicos que cumple las normas FDA 21 CFR 173.5 para ser utilizado en aguas potables e ingenios azucarero.

#### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Apariencia	polvo amorfo blanco
% Sólidos totales	>=87.0
Viscosidad estándar (cp)	5.3 – 6.4
Insolubles (%)	<=2.0
Acrilamida residual	0 – 500 ppm

#### APLICACIONES Y GUIA DE USO

El SUPERFLOC A130HMW forma soluciones de alta viscosidad por lo cual debe prepararse en solución acuosa a una concentración máximas del 0.5% y utilizarse en solución al 0.1% o menos. Generalmente se recomienda una solución concentrada entre el 0.5 y el 1.0% con el objeto de disponer de una reserva permanente. Esta solución a su vez debe diluirse en otro tanque o en la línea justo antes de la aplicación a una concentración menor del 0.1%; Durante la adición del floculante al agua se debe tener mucho cuidado de no formar grumos difíciles de dispersar, ya que normalmente estos no se hidrolizan y pueden aumentar considerablemente el consumo o generar problemas en el proceso.

Realmente esta es una etapa crítica en el uso de cualquier floculante. El agua para preparar las soluciones debe ser limpia, de bajo contenido de sólidos disueltos y libres de sólidos en suspensión.

#### ALMACENAMIENTO Y MANEJO

El SUPERFLOC A130HMW en polvo debe almacenarse en lugares secos. Cuando haya extraído el producto del empaque original debe cerrarse herméticamente para evitar absorción de al humedad exterior y degradación del producto.

El floculante SUPERFLOC A130HMW posee muy baja toxicidad oral y prácticamente ninguna característica de irritación de la piel, sin embargo se recomienda una razonable limpieza después del manejo del producto

Las soluciones de SUPERFLOC A130HMW tienen características resbaladizas por lo tanto se recomienda limpiar cualquier derrame accidental inicialmente con materias inertes tales como aserrín de madera, arena, etc. Y posteriormente lavar el área con abundante agua.

Siga las recomendaciones y procedimientos de seguridad de su compañía para el manejo de este producto.

Remítase a la hoja de seguridad MSDS para más detalles.

#### PRESENTACIÓN

Sacos por 25 Kg netos.

#### SERVICIO AL CLIENTE

Si usted requiere información adicional o asistencia técnica, comuníquese con nosotros al 6812320 – 316 445 16 57 o a nuestro e-mail: [info@tratamientosquimicosindustriales.com](mailto:info@tratamientosquimicosindustriales.com) o con nuestro representante más cercano.

Dirección: Calle 52 No 4N - 73  
Tel. (57 2) 681 23 20 / Fax: (57 2) 682 82 85  
Cel. (57) 316 445 1657- (57) 321 8118283  
E-mail: [info@tratamientosquimicosindustriales.com](mailto:info@tratamientosquimicosindustriales.com)  
Cali - Colombia



ANEXO 2. Tablas de dosificación de agentes químicos.

COAGULANTE

10 gpm Coagulant (C-1743) Calcs-Milliliters per Minute-(5%)								S.G.=1.16		Dilution Factor		5 of 100	
PPM	Mills.	PPM	Mills.	PPM	Mills.	PPM	Mills.	PPM	Mills.	PPM	Mills.	PPM	Mills.
1	0,6526	36	23,495	71	46,338	106	69,180	141	92,023	176	114,865	211	137,708
2	1,3053	37	24,148	72	46,990	107	69,833	142	92,675	177	115,518	212	138,360
3	1,9579	38	24,800	73	47,643	108	70,485	143	93,328	178	116,171	213	139,013
4	2,6106	39	25,453	74	48,296	109	71,138	144	93,981	179	116,823	214	139,666
5	3,2632	40	26,106	75	48,948	110	71,791	145	94,633	180	117,476	215	140,318
6	3,9159	41	26,758	76	49,601	111	72,443	146	95,286	181	118,128	216	140,971
7	4,5685	42	27,411	77	50,254	112	73,096	147	95,939	182	118,781	217	141,624
8	5,2211	43	28,064	78	50,906	113	73,749	148	96,591	183	119,434	218	142,276
9	5,8738	44	28,716	79	51,559	114	74,401	149	97,244	184	120,086	219	142,929
10	6,5264	45	29,369	80	52,211	115	75,054	150	97,897	185	120,739	220	143,582
11	7,1791	46	30,022	81	52,864	116	75,707	151	98,549	186	121,392	221	144,234
12	7,8317	47	30,674	82	53,517	117	76,359	152	99,202	187	122,044	222	144,887
13	8,4844	48	31,327	83	54,169	118	77,012	153	99,854	188	122,697	223	145,539
14	9,1370	49	31,980	84	54,822	119	77,665	154	100,507	189	123,350	224	146,192
15	9,7897	50	32,632	85	55,475	120	78,317	155	101,160	190	124,002	225	146,845
16	10,4423	51	33,285	86	56,127	121	78,970	156	101,812	191	124,655	226	147,497
17	11,0949	52	33,937	87	56,780	122	79,623	157	102,465	192	125,308	227	148,150
18	11,7476	53	34,590	88	57,433	123	80,275	158	103,118	193	125,960	228	148,803
19	12,4002	54	35,243	89	58,085	124	80,928	159	103,770	194	126,613	229	149,455
20	13,0529	55	35,895	90	58,738	125	81,580	160	104,423	195	127,265	230	150,108
21	13,7055	56	36,548	91	59,391	126	82,233	161	105,076	196	127,918	231	150,761
22	14,3582	57	37,201	92	60,043	127	82,886	162	105,728	197	128,571	232	151,413
23	15,0108	58	37,853	93	60,696	128	83,538	163	106,381	198	129,223	233	152,066
24	15,6634	59	38,506	94	61,348	129	84,191	164	107,034	199	129,876	234	152,719
25	16,3161	60	39,159	95	62,001	130	84,844	165	107,686	200	130,529	235	153,371
26	16,9687	61	39,811	96	62,654	131	85,496	166	108,339	201	131,181	236	154,024
27	17,6214	62	40,464	97	63,306	132	86,149	167	108,991	202	131,834	237	154,676
28	18,2740	63	41,117	98	63,959	133	86,802	168	109,644	203	132,487	238	155,329
29	18,9267	64	41,769	99	64,612	134	87,454	169	110,297	204	133,139	239	155,982
30	19,5793	65	42,422	100	65,264	135	88,107	170	110,949	205	133,792	240	156,634
31	20,2319	66	43,074	101	65,917	136	88,760	171	111,602	206	134,445	241	157,287
32	20,8846	67	43,727	102	66,570	137	89,412	172	112,255	207	135,097	242	157,940
33	21,5372	68	44,380	103	67,222	138	90,065	173	112,907	208	135,750	243	158,592
34	22,1899	69	45,032	104	67,875	139	90,717	174	113,560	209	136,402	244	159,245
35	22,8425	70	45,685	105	68,528	140	91,370	175	114,213	210	137,055	245	159,898

## FLOCULANTE CATIONICO

10 gpm Cat & Ani Granular Calcs-Milliliters per Minute-(0.5%)								S.G.=1.03	Dilution Factor		1	of	200
PPM	Mills.	PPM	Mills.	PPM	Mills.	PPM	Mills.	PPM	Mills.	PPM	Mills.	PPM	Mills.
1	7,3502	36	264,606	71	521,861	106	779,117	141	1036,372	176	1293,628	211	1550,884
2	14,7003	37	271,956	72	529,211	107	786,467	142	1043,723	177	1300,978	212	1558,234
3	22,0505	38	279,306	73	536,562	108	793,817	143	1051,073	178	1308,328	213	1565,584
4	29,4006	39	286,656	74	543,912	109	801,167	144	1058,423	179	1315,679	214	1572,934
5	36,7508	40	294,006	75	551,262	110	808,518	145	1065,773	180	1323,029	215	1580,284
6	44,1010	41	301,357	76	558,612	111	815,868	146	1073,123	181	1330,379	216	1587,634
7	51,4511	42	308,707	77	565,962	112	823,218	147	1080,473	182	1337,729	217	1594,985
8	58,8013	43	316,057	78	573,312	113	830,568	148	1087,824	183	1345,079	218	1602,335
9	66,1514	44	323,407	79	580,663	114	837,918	149	1095,174	184	1352,429	219	1609,685
10	73,5016	45	330,757	80	588,013	115	845,268	150	1102,524	185	1359,779	220	1617,035
11	80,8518	46	338,107	81	595,363	116	852,618	151	1109,874	186	1367,130	221	1624,385
12	88,2019	47	345,457	82	602,713	117	859,969	152	1117,224	187	1374,480	222	1631,735
13	95,5521	48	352,808	83	610,063	118	867,319	153	1124,574	188	1381,830	223	1639,086
14	102,9022	49	360,158	84	617,413	119	874,669	154	1131,925	189	1389,180	224	1646,436
15	110,2524	50	367,508	85	624,764	120	882,019	155	1139,275	190	1396,530	225	1653,786
16	117,6025	51	374,858	86	632,114	121	889,369	156	1146,625	191	1403,880	226	1661,136
17	124,9527	52	382,208	87	639,464	122	896,719	157	1153,975	192	1411,231	227	1668,486
18	132,3029	53	389,558	88	646,814	123	904,070	158	1161,325	193	1418,581	228	1675,836
19	139,6530	54	396,909	89	654,164	124	911,420	159	1168,675	194	1425,931	229	1683,186
20	147,0032	55	404,259	90	661,514	125	918,770	160	1176,025	195	1433,281	230	1690,537
21	154,3533	56	411,609	91	668,864	126	926,120	161	1183,376	196	1440,631	231	1697,887
22	161,7035	57	418,959	92	676,215	127	933,470	162	1190,726	197	1447,981	232	1705,237
23	169,0537	58	426,309	93	683,565	128	940,820	163	1198,076	198	1455,332	233	1712,587
24	176,4038	59	433,659	94	690,915	129	948,171	164	1205,426	199	1462,682	234	1719,937
25	183,7540	60	441,010	95	698,265	130	955,521	165	1212,776	200	1470,032	235	1727,287
26	191,1041	61	448,360	96	705,615	131	962,871	166	1220,126	201	1477,382	236	1734,638
27	198,4543	62	455,710	97	712,965	132	970,221	167	1227,477	202	1484,732	237	1741,988
28	205,8045	63	463,060	98	720,316	133	977,571	168	1234,827	203	1492,082	238	1749,338
29	213,1546	64	470,410	99	727,666	134	984,921	169	1242,177	204	1499,432	239	1756,688
30	220,5048	65	477,760	100	735,016	135	992,271	170	1249,527	205	1506,783	240	1764,038
31	227,8549	66	485,111	101	742,366	136	999,622	171	1256,877	206	1514,133	241	1771,388
32	235,2051	67	492,461	102	749,716	137	1006,972	172	1264,227	207	1521,483	242	1778,739
33	242,5553	68	499,811	103	757,066	138	1014,322	173	1271,578	208	1528,833	243	1786,089
34	249,9054	69	507,161	104	764,417	139	1021,672	174	1278,928	209	1536,183	244	1793,439
35	257,2556	70	514,511	105	771,767	140	1029,022	175	1286,278	210	1543,533	245	1800,789

## FLOCULANTE ANIÓNICO

10 gpm Cat & Ani Granular Calcs-Milliliters perMinute-(0.25%)								S.G.=1.03	Dilution Factor		1	of	400
PPM	Mills.	PPM	Mills.	PPM	Mills.	PPM	Mills.	PPM	Mills.	PPM	Mills.	PPM	Mills.
1	14,7003	36	529,211	71	1043,723	106	1558,234	141	2072,745	176	2587,256	211	3101,767
2	29,4006	37	543,912	72	1058,423	107	1572,934	142	2087,445	177	2601,956	212	3116,468
3	44,1010	38	558,612	73	1073,123	108	1587,634	143	2102,146	178	2616,657	213	3131,168
4	58,8013	39	573,312	74	1087,824	109	1602,335	144	2116,846	179	2631,357	214	3145,868
5	73,5016	40	588,013	75	1102,524	110	1617,035	145	2131,546	180	2646,057	215	3160,568
6	88,2019	41	602,713	76	1117,224	111	1631,735	146	2146,246	181	2660,758	216	3175,269
7	102,9022	42	617,413	77	1131,925	112	1646,436	147	2160,947	182	2675,458	217	3189,969
8	117,6025	43	632,114	78	1146,625	113	1661,136	148	2175,647	183	2690,158	218	3204,669
9	132,3029	44	646,814	79	1161,325	114	1675,836	149	2190,347	184	2704,859	219	3219,370
10	147,0032	45	661,514	80	1176,025	115	1690,537	150	2205,048	185	2719,559	220	3234,070
11	161,7035	46	676,215	81	1190,726	116	1705,237	151	2219,748	186	2734,259	221	3248,770
12	176,4038	47	690,915	82	1205,426	117	1719,937	152	2234,448	187	2748,960	222	3263,471
13	191,1041	48	705,615	83	1220,126	118	1734,638	153	2249,149	188	2763,660	223	3278,171
14	205,8045	49	720,316	84	1234,827	119	1749,338	154	2263,849	189	2778,360	224	3292,871
15	220,5048	50	735,016	85	1249,527	120	1764,038	155	2278,549	190	2793,061	225	3307,572
16	235,2051	51	749,716	86	1264,227	121	1778,739	156	2293,250	191	2807,761	226	3322,272
17	249,9054	52	764,417	87	1278,928	122	1793,439	157	2307,950	192	2822,461	227	3336,972
18	264,6057	53	779,117	88	1293,628	123	1808,139	158	2322,650	193	2837,161	228	3351,673
19	279,3061	54	793,817	89	1308,328	124	1822,839	159	2337,351	194	2851,862	229	3366,373
20	294,0064	55	808,518	90	1323,029	125	1837,540	160	2352,051	195	2866,562	230	3381,073
21	308,7067	56	823,218	91	1337,729	126	1852,240	161	2366,751	196	2881,262	231	3395,774
22	323,4070	57	837,918	92	1352,429	127	1866,940	162	2381,452	197	2895,963	232	3410,474
23	338,1073	58	852,618	93	1367,130	128	1881,641	163	2396,152	198	2910,663	233	3425,174
24	352,8076	59	867,319	94	1381,830	129	1896,341	164	2410,852	199	2925,363	234	3439,875
25	367,5080	60	882,019	95	1396,530	130	1911,041	165	2425,553	200	2940,064	235	3454,575
26	382,2083	61	896,719	96	1411,231	131	1925,742	166	2440,253	201	2954,764	236	3469,275
27	396,9086	62	911,420	97	1425,931	132	1940,442	167	2454,953	202	2969,464	237	3483,975
28	411,6089	63	926,120	98	1440,631	133	1955,142	168	2469,653	203	2984,165	238	3498,676
29	426,3092	64	940,820	99	1455,332	134	1969,843	169	2484,354	204	2998,865	239	3513,376
30	441,0096	65	955,521	100	1470,032	135	1984,543	170	2499,054	205	3013,565	240	3528,076
31	455,7099	66	970,221	101	1484,732	136	1999,243	171	2513,754	206	3028,266	241	3542,777
32	470,4102	67	984,921	102	1499,432	137	2013,944	172	2528,455	207	3042,966	242	3557,477
33	485,1105	68	999,622	103	1514,133	138	2028,644	173	2543,155	208	3057,666	243	3572,177
34	499,8108	69	1014,322	104	1528,833	139	2043,344	174	2557,855	209	3072,367	244	3586,878
35	514,5111	70	1029,022	105	1543,533	140	2058,045	175	2572,556	210	3087,067	245	3601,578



