

4

APLICACIONES DE SALES INORGÁNICAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES PROCEDENTE DE LA REFINACIÓN DE ACEITES Y GRASAS

(Application of inorganic salts in the treatment of industrial wastewater from the refining of oils and fats)

Gema Eliana Briones Ponce¹, Gabriel Alfonso Burgos Briones², Ernesto Alonso Rosero Delgado³, Carlos Antonio Moreira Mendoza⁴

¹ Universidad Técnica de Manabí, Instituto de Postgrado, Maestría de Ingeniería Química, Portoviejo, Ecuador. gbrionesponce@gmail.com ORCID: 0000-0001-7314-1400

² Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Dept. de Procesos Químicos, Ecuador. gburgos@utm.edu.ec ORCID: 0000-0002-1291-4083

³ Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Dept. de Procesos Químicos, Ecuador. eroseiro@utm.edu.ec ORCID: 000-0001-8878-8522

⁴ Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Dept. de Procesos Químicos, Ecuador. camoreiram@utm.edu.ec ORCID: 0000-0001-5980-0713

RESUMEN

Existen numerosos tipos de aguas y aguas residuales (las aguas de abastecimiento, efluentes industriales consistentes en suspensiones coloidales, aguas residuales contaminadas con macromoléculas orgánicas disueltas o las emulsiones de aceite en agua (O/W)) susceptibles de ser tratadas mediante coagulación, una operación dirigida a la consecución de la desestabilización de los contaminantes mediante su interacción con un reactivo (generalmente, sales de Al (III)). A fin de evaluar la remoción de materia orgánica en la fase de pretratamiento de dichas aguas residuales, se realizaron pruebas de coagulación, floculación y sedimentación usando sales inorgánicas como el Sulfato de Aluminio y Policloruro de Aluminio utilizando diferentes dosis de cada coagulante, y variando el pH de 5 a 9, se prepararon disoluciones con las sales de aluminio en concentración del 30% p/v. Con la adición de 25 ml de Sulfato de Aluminio por cada 500 ml de aguas residuales y ajustando a pH 7, se logró remover un 96.40 % turbidez en el agua



residual, obteniendo una disminución del 92.72 % de aceites y grasas presentes en el agua residual.

PALABRA CLAVE

Turbidez, coagulante, floculante, residuos industriales

ABSTRACT

There are numerous types of water and wastewater (supply water, industrial effluents consisting of colloidal suspensions, wastewater contaminated with dissolved organic macromolecules, or oil-in-water (O / W) emulsions) capable of being treated by coagulation, an operation aimed at achieving the destabilization of pollutants through their interaction with a reagent (generally, Al (III) salts). In order to evaluate the removal of organic matter in the pretreatment phase of said wastewater, coagulation, flocculation and sedimentation tests were carried out using inorganic salts such as Aluminum Sulfate and Aluminum Polychloride using different doses of each coagulant, and varying the pH 5 to 9, solutions were prepared with the aluminum salts in a concentration of 30% w / v. With the addition of 25 ml of Aluminum Sulfate for every 500 ml of wastewater and adjusting to pH 7, it was possible to remove 96.40% turbidity in the wastewater, obtaining a 92.72% decrease in the oils and fats present in the wastewater.

KEYWORD

Turbidity, coagulant, flocculant, industrial waste

INTRODUCCIÓN

Las actividades productivas requieren de una gran cantidad de agua en sus procesos productivos para la elaboración de sus productos, y es imprescindible ya que debe cumplir con ciertos



parámetros de calidad. Después de que el agua es usada en un proceso industrial, esta queda con una elevada carga contaminante. Por ello se ha exigido que las industrias que cuenten con plantas de tratamiento de aguas para disminuir la carga orgánica antes de ser vertidas. Las características de las aguas residuales, conocidas también como efluentes industriales, pueden diferir tanto en sus parámetros, así como en sus concentraciones, dependiendo del enfoque o visión de la industria. El impacto de los vertidos industriales depende no sólo de sus características comunes, sino que además pueden ser evaluados por parámetros de medición tales como demanda bioquímica de oxígeno (DBO)₅ y la demanda química de oxígeno (DQO), mismos que evalúan contenidos de sustancias orgánicas e inorgánicas (Vidales Olivo, Leos Magallanes & Campos Sandoval, 2010).

Algunos de los contaminantes que más problemas causan en el tratamiento de aguas residuales, son las grasas y aceites, la presencia de grasas y aceites en los efluentes industriales no sólo provocan problemas en el tratamiento de éstas, sino que también dan lugar a la contaminación del suelo y los cuerpos de agua donde éstas son descargadas (Vidales Olivo, Leos Magallanes & Campos Sandoval, 2010).

Estas aguas residuales, antes de su tratamiento, se caracterizan por su intenso color entre marrón y violeta oscuro hasta negro, y su intenso olor. Posee un alto grado de contaminación orgánica con una relación de DQO/DBO₅ entre 2,5 y 5 (difícilmente degradables), así como un alto contenido en polifenoles y materia sólida. Su pH es ligeramente ácido, son de fácil fermentación y elevada turbidez, con una alta conductividad eléctrica, y contienen grasas emulsionantes (Osorio Robles, Toros Rojo & Sánchez Bas, 2010).

Las grasas y aceites que son altamente estables, inmiscibles con el agua, proceden de desperdicios alimentarios en su mayoría, a excepción de los aceites minerales que proceden de otras actividades. Al ser inmiscibles con el agua, van a permanecer en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas. Estas natas entorpecen cualquier tipo de tratamiento, biológico o físico-químico, por lo que es recomendable que las grasas y aceites sean eliminados en los

primeros pasos del tratamiento de las aguas residuales (Vidales Olivo, Leos Magallanes & Campos Sandoval, 2010).

Una de sus principales características, es que las grasas son el componente de las aguas residuales que tiene una mayor tendencia a oxidarse. Esto provoca que, al llegar a los reactores biológicos, fijen rápidamente el oxígeno disuelto disponible, pudiendo ocasionar situaciones de anoxia puntuales que podrían propiciar la proliferación de microorganismos filamentosos. Además, las grasas y aceites tienen tendencia a flotar, debido a que su densidad es inferior a la del agua, lo que genera capas en la superficie de los reactores biológicos, dificultando la transferencia de oxígeno.

El tratamiento de las aguas residuales, incluyendo las producidas por la industria procedentes de la refinación de aceites y grasas sigue una serie de procesos físicos, químicos (pretratamiento primario) y que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua.

Se entiende como pretratamiento primario a la etapa en la cual se remueven los sólidos sedimentables y suspendidos mediante el empleo de cribas, desarenadores, sedimentadores, trampas de grasas y aceites, flotación y, algunas veces, sedimentación auxiliada con coagulación-floculación. Este último proceso es comúnmente utilizado para aumentar la sedimentación de partículas suspendidas (Arias-Lizárraga & Méndez-Gómez, 2014).

El proceso de coagulación y floculación aplicado de forma usual en el pretratamiento consiste en la desestabilización de las partículas suspendidas, provocando colisión entre ellas, adhesión, incremento de tamaño, aglutinación, aumento de densidad y, como consecuencia, sedimentación. Una vez sedimentadas las partículas, pueden ser removidas con facilidad.

Existe una amplia variedad de sustancias orgánicas e inorgánicas que pueden usarse como coagulantes y floculantes en el pretratamiento de las aguas residuales, siendo el alumbre (sulfato de aluminio) y las sales de hierro (cloruro férrico) las más utilizados. En el caso de las sustancias inorgánicas, los polímeros sintéticos (usualmente poliacrilamidas) son los más empleados, debido a su fácil obtención en el mercado y bajo costo.



De acuerdo con la teoría de la doble capa eléctrica y la regla de Schultze-Hardy se plantea que los agentes coagulantes deben tener cargas positivas contrarias al ion determinante del potencial en la partícula en las aguas residuales (generalmente negativas) y por supuesto a mayor carga tendrá mejores características coagulantes.

Entre las variables fundamentales que afectan el proceso se encuentran el tipo de coagulante, la dosis en que se emplea, pH del medio y el tiempo de la agitación que se emplea en la mezcla del coagulante y el agua residual (Gutiérrez, Caldera, Oñate & Rodríguez, 2011).

Entre los agentes coagulantes más utilizados por sus características físico químicas, se encuentran la alúmina ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$), y el policloruro de aluminio. La primera es muy usada pues presenta algunas ventajas en cuanto a costo y disponibilidad, además de que se obtienen buenos resultados frente a aguas residuales de procesos similares a los valorados en el presente trabajo en los rangos de pH que recomienda la literatura entre 4,5-8, pero la literatura recomienda que las dosis requeridas del agente coagulante deben obtenerse por experiencias de ensayos de laboratorio en las pruebas de jarra (Vaillancourt *et al.*, 2008).

Se plantea que para romper la estabilidad de las partículas coloidales y poderlas separar, es necesario realizar tres operaciones (Arias-Lizárraga & Méndez-Gómez, 2014). Estas son la coagulación, la floculación y la decantación o flotación posterior.

La floculación trata la unión entre los flóculos ya formados con el fin de aumentar su volumen y peso de forma que pueden decantar. Consiste en la captación mecánica de las partículas neutralizadas dando lugar a un entramado de sólidos de mayor volumen. De esta forma, se consigue un aumento considerable del tamaño y la densidad de las partículas coaguladas, aumentando por tanto la velocidad de sedimentación de los flóculos (Lorenzo-Acosta, 2006).

El proceso de coagulación floculación se estudiado a nivel de laboratorio, realizando las pruebas de jarra al agua residual. En este estudio se emplean dos coagulantes, el sulfato de alúmina y el Poli cloruro de aluminio, por lo que se estudió la influencia del pH, tipo de coagulante y dosis de coagulante en la eficiencia del proceso de tratamiento físico químico realizado.

Se evaluó la turbidez como parámetro de respuesta en cada caso, pudiendo evaluarse la eficacia del proceso determinando el porcentaje de remoción, usando la ecuación que se expresa a continuación:

$$\% \text{ de Remoción} = \frac{Turb\ I - Turb.\ F}{Turb\ I} * 100 \quad (I)$$

La turbidez es la expresión de la propiedad óptica de la muestra que causa que los rayos de luz sean dispersados y absorbidos en lugar de ser transmitidos en línea recta a través de la muestra. La turbiedad mide el nivel de transmitancia de luz en el agua, y sirve como una medida de la calidad del agua con relación a materia suspendida coloidal residual (Trujillo *et al.*, 2014). La turbiedad en el agua puede ser causada por la presencia de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos tanto orgánicos como inorgánicos, con un ámbito de tamaños desde el coloidal hasta partículas macroscópicas, dependiendo del grado de turbulencia. Puede ser medida con un turbidímetro del tipo nefelométrico que se basa en el efecto de Tyndall.

La unidad de turbiedad es definida "como la obstrucción óptica de la luz, causada por una parte por millón de sílice en agua destilada", la unidad nefelométrica de turbidez (NTU) equivale a 7,5 ppm de SiO₂.

El objetivo del trabajo consistió en evaluar el proceso de coagulación-floculación a nivel de laboratorio para las aguas residuales de una industria local procesadora de aceites y grasas, por medio de la prueba de jarras, se evaluaron las condiciones de pH, concentraciones adecuadas y tiempo de sedimentación; para un óptimo proceso de coagulación y floculación. Igualmente, se caracterizó la materia prima y la concentración final de grasas y aceites al mejor tratamiento realizado, en orden de discernir la posibilidad de reutilizar el agua residual.

METODOLOGÍA

Materiales y Método

La investigación se realiza en el Laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Química de la Universidad Técnica de Manabí donde se realizaron las pruebas de coagulación floculación del agua residual que ingresa a la PTAR (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales) de la empresa La Fabril, S.A. ubicada en Montecristi, Manabí, Ecuador.

Caracterización fisicoquímica del agua residual

Para conocer la composición inicial del agua residual, se realizó la caracterización general de la misma. Los procedimientos analíticos y fundamentos de los métodos utilizados son reportados en la Tabla 1.

Tabla 1
Caracterización fisicoquímica del agua residual

Ensayo Realizado	Métodos Utilizados	Resultados
DQO mg/l	Espectrofotometría	5630
DBO ₅ (mg de O ₂ /l)	Respirométrico	3120
Solidos Totales mg/l	Gravimétrica a 103-105 °C	2850
Solidos Disueltos mg/l	Electrométrico	1232
Solidos Suspendidos mg/l	Por diferencia	1618
Turbidez NTU	Método del Turbidímetro	1707
pH (unidades)	Electrométrico	6.14
Grasas mg/l	Extracción por	1650

Todos los análisis efectuados se realizaron en el laboratorio de la carrera de Ingeniería Química de la UTM (Universidad Técnica de Manabí), empleando los métodos standard de análisis de guas y aguas residuales.

Evaluación del proceso de coagulación y floculación.

El ensayo consistió en la adición de dosis crecientes de los coagulantes en las muestras de agua cruda, para su posterior determinación la turbidez cuyo resultado nos permitirán seleccionar el rango de efectividad de los mismos, se debe tomar en cuenta también las condiciones de pH (Llano, Cardona, Ocampo & Ríos, 2014) con el mejor comportamiento observado en conjunto con las disoluciones, para esto se empleó los equipos de test de jarra utilizados comúnmente en los tratamientos de aguas residuales donde se efectúan los procesos de coagulación y floculación con una agitación rápida (Arias Hoyos *et al.*, 2017), de 200 rpm por 2 minutos y una agitación lenta de 60 rpm por 15 minutos, para el proceso se ocupó un test de Jarra cuatro vasos de precipitación de 1000 ml.

Una vez que se desestabilizaron las partículas estas son decantadas y se toma el sobrenadante de la muestra para realizar los análisis de Sólidos en Suspensión, DBO5, turbidez, etcétera, que en este caso se evaluó la turbidez, la conductividad y el pH final de la disolución.

Los coagulantes utilizados son el Sulfato de Aluminio también conocido como sulfato de alúmina $Al_2(SO_4)_3$, y el Policloruro de Aluminio (Vargas-Camareno & Romero-Esquivel, 2006), se experimentó por separado con los coagulantes de interés en muestras donde inicialmente se reguló el pH, con hidróxido de sodio al 0.1 molar y ácido sulfúrico 0.1 molar para ajustarlo en el rango de 5-9 (Reina Travez, 2015), dicho proceso nos proporciona resultados sobre el comportamiento de los coagulantes en función a la concentración de los mismos y la influencia de las condiciones del pH.

El trabajo consistió en realizar el proceso de coagulación-floculación a escala de laboratorio utilizando diferentes dosis de cada coagulante además de variar el pH de 5 a 9 unidades (tabla 2). Se prepararon disoluciones en concentraciones óptimas obtenidos bibliográficamente, se trabajó con sulfato de aluminio en solución del 30% p/v, y policloruro de aluminio en solución del 30% p/v (Gutiérrez, Caldera, Oñate & Rodríguez, 2011).

Análisis Estadístico.

Se planificó un diseño factorial multinivel que consiste en 75 corridas para cada coagulante en 5 niveles, equivalentes a 25 corridas experimentales con tres réplicas en cada caso, los tratamientos realizados se detallan en la Tabla 2.

Las variables de respuesta es la turbidez (NTU), los datos (pH y turbidez) fueron obtenidos mediante el empleo del equipo pH metro modelo Hach y un turbidímetro modelo Hach 21000A este permite realizar medidas de turbidez de forma rápida y confiable

Los datos experimentales obtenidos después de realizar las pruebas fueron procesados mediante el software Statgraphic Centurión XVI.I. los cuales nos permitieron determinar las dosis optimas de coagulante y pH del proceso.

Tabla 2
Condiciones experimentales de los tratamientos realizados

Variable dependiente	Niveles				
pH Inicial	Dosis de coagulante mL/0.5 L AR				
5	20	25	30	35	40
6	20	25	30	35	40
7	20	25	30	35	40
8	20	25	30	35	40
9	20	25	30	35	40

RESULTADOS

Experimento 1: Usando Sulfato de Aluminio.

Se define que la dosis ideal del coagulante Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$ experimentalmente es de 25 ml cuando se trabaja con un pH = 7, esto se puede observar en la Tabla 3 en la cual se

expresan los datos en porcentaje de remoción, equivalente a la eficacia en el proceso de coagulación, y en las Figuras 1 y 2 se pueden visualizar estos resultados.

Se observa que el comportamiento de la curva es descendente, al utilizar una dosis alta de coagulante con relación a la cantidad de agua, se producirá una ruptura del floculó, ocasionando un aumento de la turbidez.

Dentro del porcentaje de eficiencia se logró determinar que se obtiene un valor de eficiencia mucho mayor a valores de dosificación a los 25 ml de $Al_2 (SO_4)_3$.

Tabla 3
Resultados promedios del porcentaje de remoción Usando Sulfato de Aluminio

Dosis Sulfato de Aluminio (mL/0.5 L)	20	25	30	35	40
pH Inicial	% Remoción Promedio				
5	94.97	95.99	95.88	95.07	95.01
6	95.17.	95.98	96.03	95.58	95.25
7	94.81	96.40	96.27	95.71	95.05
8	95.27	96.05	96.09	95.75	95.69
9	94.84	95.99	95.90	95.68	94.93

De los resultados obtenidos (Tabla 3) podemos deducir que:

- El proceso de coagulación–floculación con Sulfato de Aluminio se debe realizar a pH cercanos a la neutralidad.
- Este proceso es afectado con el aumento de la dosis de coagulante, aumentando la turbidez con la correspondiente disminución del % de remoción.
- El pH final disminuye ligeramente cuando se incrementa la dosis de coagulante respecto a cada valor de pH inicial.
- Los mejores resultados se obtienen a pH 7 y dosis de 25 mg/L

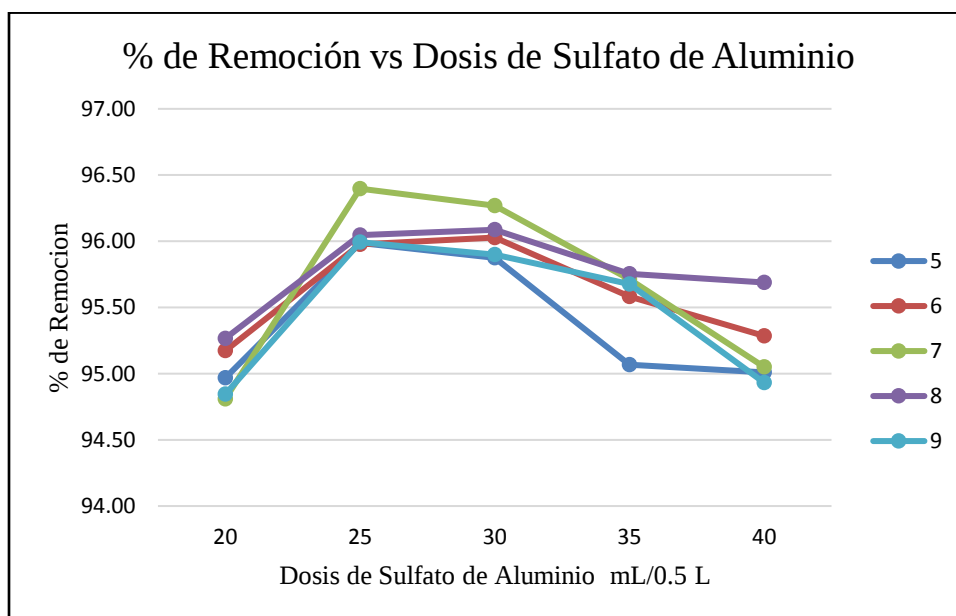


Figura 1. Porcentaje de Remoción vs Dosis de Sulfato de Aluminio

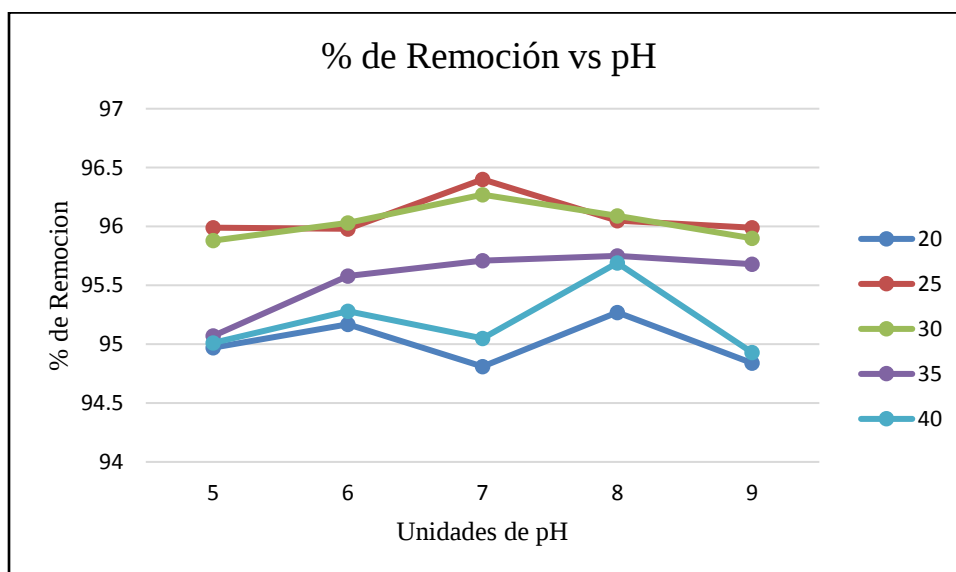


Figura 2. Porcentaje de Remoción vs pH

Los resultados experimentales al ser procesados por el Statgraphic versión 4.1 se encontró el modelo matemático que se ajustaba al modelo de regresión no lineal donde son significativas las dos variables independientes (dosis y pH inicial), los modelos representan el análisis experimental de la turbidez y el porcentaje de remoción.

$$\text{Turbidez} = 64,9762 + 1,21333 * \text{pH} - 0,478667 * \text{Dosis} + 4,83048 * \text{pH}^2 - 1,51333 * \text{pH} * \text{Dosis} + 16,1505 * \text{Dosis}^2 \quad (\text{II})$$

$$\text{Remoción} = 96,1787 - 0,0666667 * \text{pH} + 0,0322667 * \text{Dosis} - 0,277714 * \text{pH}^2 + 0,0846667 * \text{pH} * \text{Dosis} - 0,94019 * \text{Dosis}^2 \quad (\text{III})$$

Con un coeficiente de regresión R de 0,7531 y del 95 % de confiabilidad para el valor óptimo de pH, y un coeficiente de regresión R de 0,70283 y del 95 % de confiabilidad para el valor óptimo de dosis del sulfato de aluminio, la superficie respuesta para el pH y el porcentaje de remoción se aprecian en las Figuras 3 y 4, respectivamente.

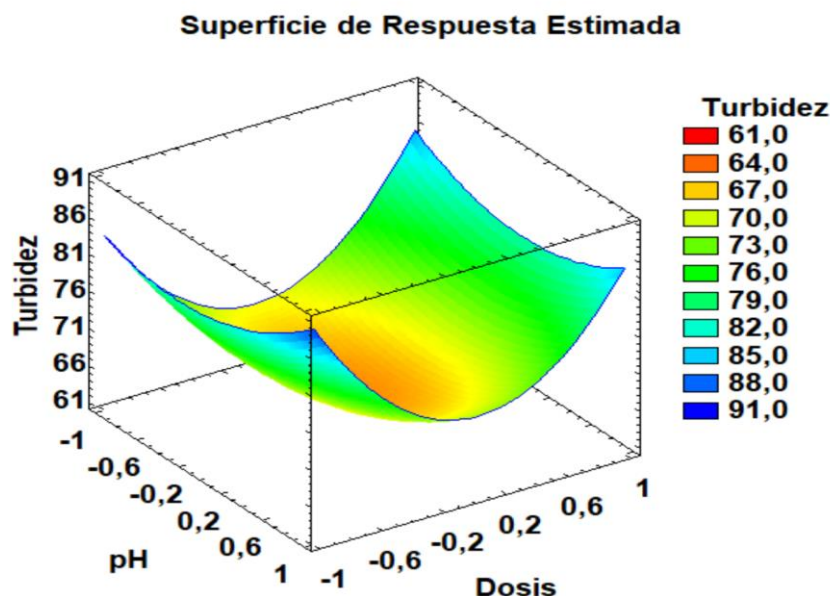


Figura 3. Superficie de Respuesta de la Turbidez

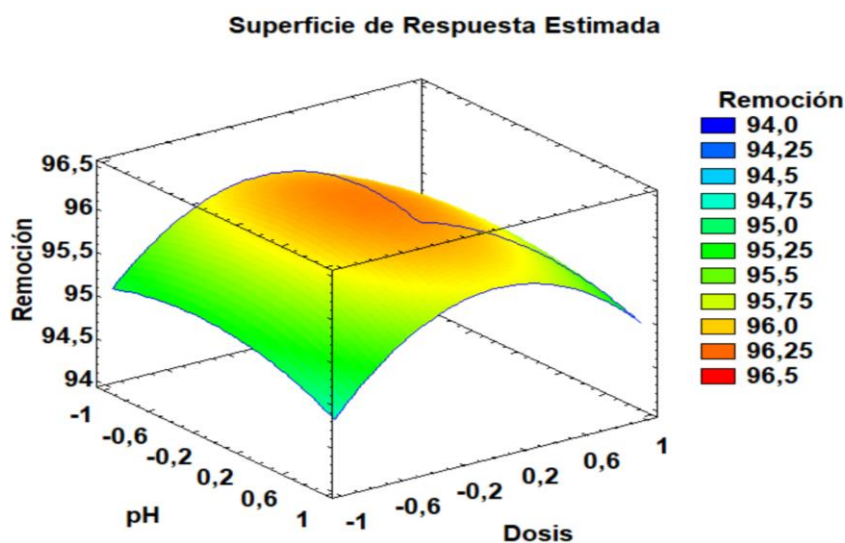


Figura 4. Superficie de Respuesta de la Remoción

Las dosis optimadas definidas por la superficie de respuestas para cada variable analizada utilizando Sulfato de Aluminio la podemos evidenciar en la Tabla 4.

Tabla 4
Resultados de Dosis Óptimas

Factor	Bajo	Alto	Óptimos Turbidez	Optimo Remoción
pH	-1	1	-0.12442 7.25	-0.1176 7.23
Dosis	-1	1	0.00904 29.9	0.0122 29.88

Experimento 2: Usando Policloruro de aluminio.

Los resultados expresados en porcentajes de remoción son muy favorables con el Policloruro de Aluminio, siendo 25 ml la dosis que mayor índice de remoción se obtuvo, sin embargo, se considera que existe una diferencia de valores en las condiciones con el Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$,

Para este caso el comportamiento de la curva es descendente, tales valores resultan ser adecuados en cuanto a la reducción de la turbidez, sin embargo, en comparación con el Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$ se tienen valores inferiores en las condiciones establecidas

Tabla 5
Resultados promedios del porcentaje de remoción Usando Policloruro de Aluminio

Dosis Policloruro de Aluminio (mL/0.5 L)	20	25	30	35	40
pH Inicial	% Remoción Promedio				
5	95.04	95.04	95.01	94.87	94.80
6	94.94	94.88	95.00	95.00	94.90
7	95.06	95.31	94.96	94.82	94.58
8	94.90	95.06	94.77	94.71	94.61
9	94.84	94.71	94.58	94.50	94.35

De los resultados obtenidos (Tabla 5) podemos deducir que:

- El proceso de coagulación–floculación con Poli cloruro de aluminio se debe realizar a pH cercanos a la neutralidad.
- Este proceso es afectado con el aumento de la dosis de coagulante, aumentando la turbidez con la correspondiente disminución del % de remoción.
- El pH final disminuye ligeramente cuando se incrementa la dosis de coagulante respecto a cada valor de pH inicial.
- Los mejores resultados se obtienen a pH 7 y dosis de 25 mg/L

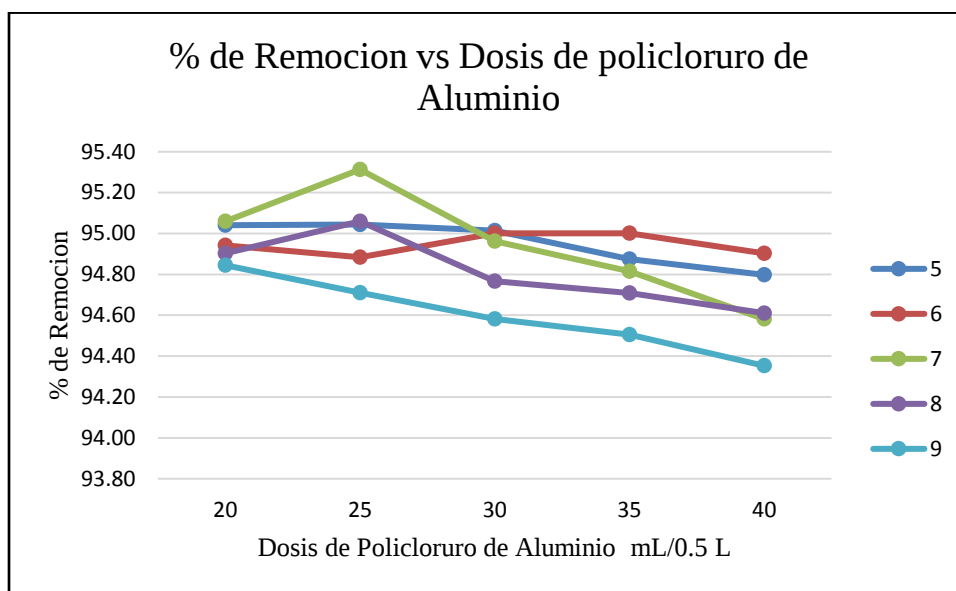


Figura 5. Porcentaje de Remoción vs Dosis de Policloruro de Aluminio

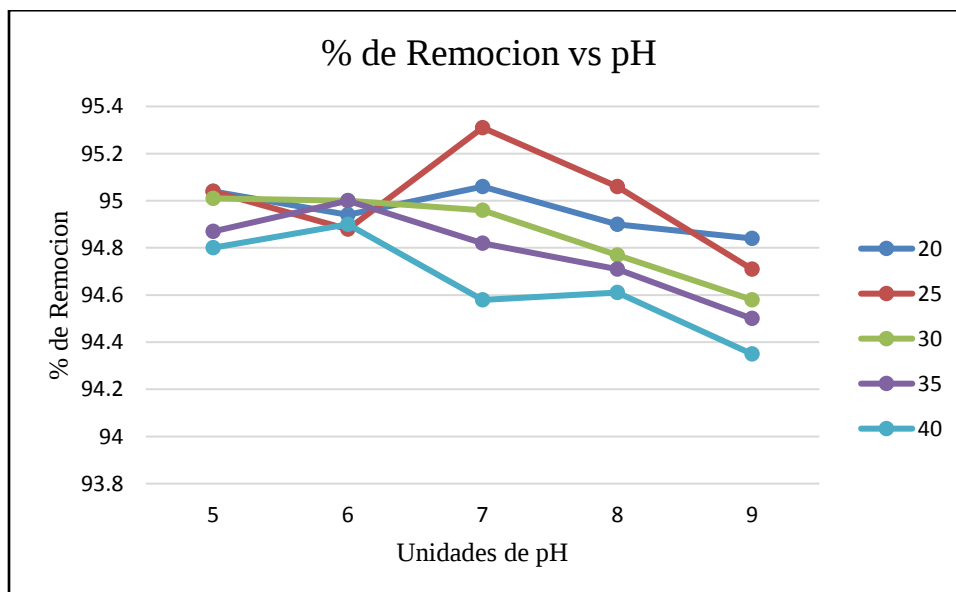


Figura 6. Porcentaje de Remoción vs pH

Los resultados experimentales para el Policloruro de Aluminio al ser procesados se estableció el modelo matemático que se ajustaba al modelo de regresión no lineal donde son significativas las

dos variables independientes (dosis y pH inicial), los modelos representan el análisis experimental de la turbidez y el porcentaje de remoción.

$$Turbidez = 85,841 - 2,89333 * pH - 2,86533 * Dosis + 2,64762 * pH^2 + 1,39733 * pH * Dosis + 1,45714 * Dosis^2 \text{ (IV)}$$

$$Remoción = 94,967 + 0,169467 * pH + 0,168133 * Dosis - 0,154095 * pH^2 - 0,0814667 * pH * Dosis - 0,0862857 * Dosis^2 \text{ (V)}$$

Con un coeficiente de regresión R de 0,7589 y del 95% de confiabilidad para el valor óptimo de pH, y un coeficiente de regresión R de 0,7595 y del 95% de confiabilidad para el valor óptimo de dosis del policloruro de aluminio, la superficie respuesta para el pH y el porcentaje de remoción se aprecian en el gráfico 5 y 6 respectivamente.

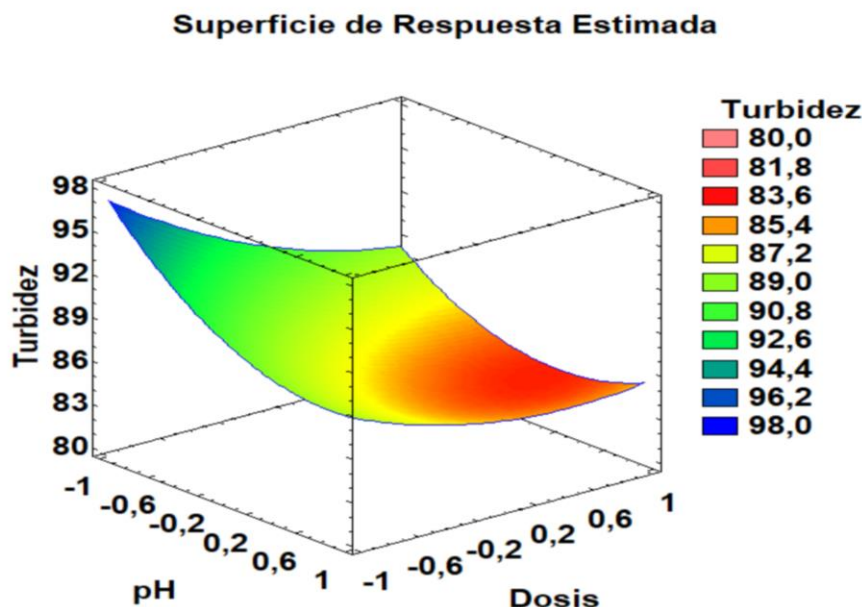


Figura 7. Superficie de Respuesta de la Turbidez

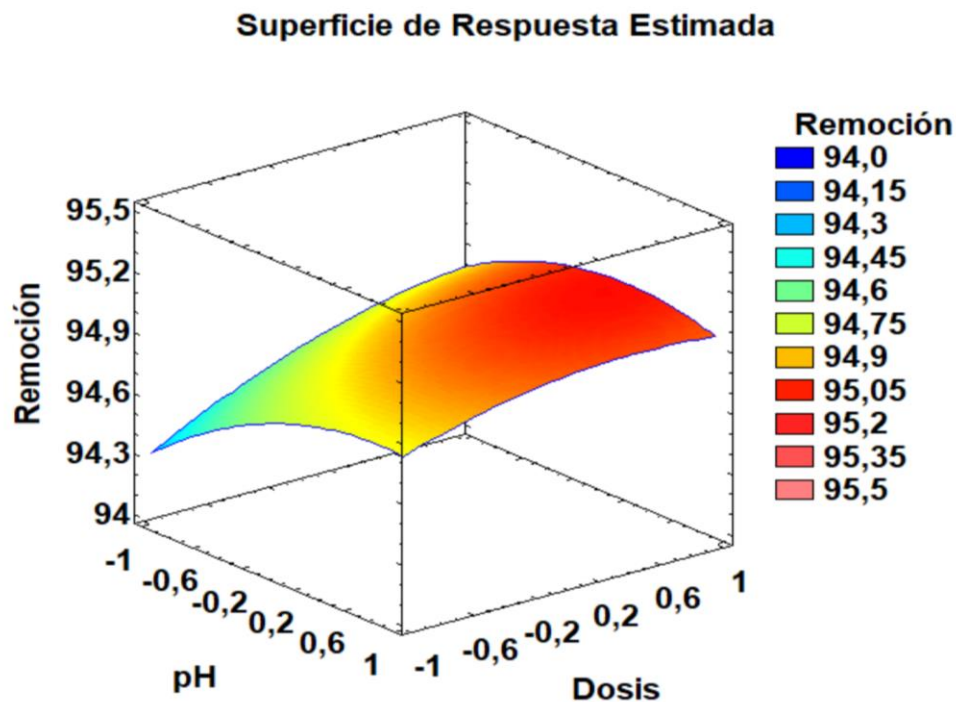


Figura 8. Superficie de Respuesta de la Dosis

Las dosis optimadas definidas por la superficie de respuestas para cada variable analizada utilizando Policloruro de Aluminio la podemos evidenciar en la Tabla 6.

Tabla 6
Resultados de Dosis Óptimas utilizando Sulfato de Aluminio

Factor	Bajo	Alto	Óptimos Turbidez		Óptimo Remoción	
pH	-1	1	0.3284	6.34	0.3355	6.33
Dosis mL/0.5L	-1	1	0.8258	21.74	08181	21.82



Una vez analizados los gráficos de la superficie de respuesta se determinó que para las condiciones óptimas de la turbidez de 64,89 NTU y un óptimo de 96,18 % de remoción, se pueden conseguir trabajando con un pH de 7.25 y la dosis de 29.9 mL/0.5 L de residual, mientras que para el sulfato de aluminio el óptimo de 84.18 NTU de turbidez y el 95.06 % de remoción se obtienen trabajando con un pH de 6.33 y 21.74 mL/0.5 L de residual.

Considerando las corridas que se hicieron por triplicado, se obtienen valores significativamente iguales y que la mejor eficiencia se dio al trabajar con sulfato de aluminio, llegando a un porcentaje de remoción de 96.40 %, obteniendo una disminución del 92.72 % de aceites y grasas presentes en el agua residual.

Con esto tenemos un porcentaje elevado de remoción de Turbidez y más eficiente que al producido en el trabajo de (Córdova Merino, 2019) en donde utilizaron sulfato de aluminio y tuna, alcanzaron un porcentaje de 88,76% con un pH de 7,25; esto indica que el pH influye en todo el proceso de floculación y coagulación.

De la misma manera tenemos un porcentaje de remoción igual al de (Gutierrez *et al.*, 2011) con un 96 % de remoción de turbiedad; obteniendo en el trabajo buenos resultados y una mayor eficiencia con respecto a la turbiedad y por ende la disminución de la carga orgánica contaminante del agua.

CONCLUSIONES

La experimentación realizada al proceso de coagulación y floculación a escala de laboratorio permitió determinar el tipo de coagulante, el pH y la dosis óptima a emplearse en el agua residual para obtener un óptimo de rendimiento con los coagulantes utilizados en la realización de la práctica de laboratorio.



No existen diferencias significativas desde el punto de vista estadístico entre los porcentajes de remoción de los dos coagulantes empleados, sin embargo, se pudo obtener una mayor remoción utilizando la alúmina que con el poli cloruro de aluminio a todos los valores de pH evaluados.

Los análisis realizados para cada coagulante utilizado en el estudio del proceso de coagulación–floculación permiten concluir que con el sulfato de alúmina a pH cercano a la neutralidad y dosis 25 mg/0.5 L, se obtienen los mejores resultados.

La prueba de jarras es una etapa importante en el proceso de tratamiento de aguas residuales, y requiere de especial seguimiento, ya que es una prueba de corta duración (45min) y permite mediante observación identificar el comportamiento de los coagulantes empleados, o que complementa los resultados de medición de parámetros en cada jarra. El correcto desarrollo y cálculo de parámetros en esta prueba permite establecer la dosis óptima a usar a nivel piloto o escala real en una PTAR.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias Hoyos, A., Hernández Medina, J. L., Valencia, C., Fernando, A., Sánchez, P., & Nazly Efridis. (2017). Tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio: uso del polvo de la semilla de la m. oleífera como coagulante natural. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(1), 29-39. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(15\)29-39](https://doi.org/10.18684/BSAA(15)29-39)
- Gutiérrez, E., Caldera, Y., Oñate, H., & Rodríguez, Y. (2011). Eficiencia del sulfato de aluminio durante el tratamiento de aguas residuales de una industria avícola. *Impacto Científico*, 6(2), 244–256. Disponible en: <https://biblat.unam.mx/es/revista/impacto-cientifico/articulo/eficiencia-del-sulfato-de-aluminio-durante-el-tratamiento-de-aguas-residuales-de-una-industria-avicola>
- Llano, B. A., Cardona, J. F., Ocampo, D., & Ríos, L. A. (2014). Tratamiento fisicoquímico de las aguas residuales generadas en el proceso de beneficio de arcillas y alternativas de uso de



- los lodos generados en el proceso. *Información Tecnológica*, 25(3), 73–82.
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000300010>
- Lorenzo-Acosta, Y. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *ICIDCA: Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar*, 15(2), 10–17. Disponible en:
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=2231/223120664002>
- Arias-Lizárraga, E. & Méndez-Gómez, D.M. (2014). Remoción de sólidos en aguas residuales de la industria harinera de pescado empleando biopolímeros. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 5(3), 115–124. Disponible en:
<http://www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/431>
- Reina Travez, J. (2015). *Evaluación de la eficiencia y cinética de remoción de materia orgánica en un reactor biológico aerobio horizontal con medio de soporte PET (politereftalato de etileno)* (tesis de grado). Escuela Politécnica Nacional, Ecuador. Disponible en:
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10550/1/CD-6244.pdf>
- Osorio Robles, F., Torres Rojo, J.C. & Sánchez Bas, M. (2010). *Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes: Aplicación de procesos industriales a la reutilización de aguas residuales*. Editorial Díaz de Santos. España.
- Trujillo, D., Duque, L.F., Arcila, J.S., Rincón, A., Pacheco, S., & Herrera, O.F. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación / floculación usando almidón de plátano. *Revista ION*, 27(1), 17–34. Disponible en:
<https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaion/article/view/4140>
- Vaillancourt, R., Dubé, P., Ceaulieu, C. & Tamigneaux, E. (2008). *Évaluation d'un procédé de coagulation-floculation au chitosane pour l'enlèvement du phosphore dans les effluents piscicoles*. Rapport final. SODIM. École de Technologie Supérieure, Montréal, Quebec, Canada. Disponible en:
https://sodim.org/images/stories/ancien_site/pdf/AutresEspeces/710,149_Chitosane_2.pdf



Vargas-Camareno, M., & Romero-Esquivel, L. (2006). Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica. *Tecnología En Marcha*, 19(4), 37–41. Disponible en: https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/37

Vidales Olivo, A., Leos Magallanes, M.Y., & Campos Sandoval, M.G. (2010). Extracción de Grasas y Aceites en los Efluentes de una Industria Automotriz. *Conciencia Tecnológica*, (40), 29–34. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94415759007>