



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i1.1667>

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de investigación

Aplicación 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

Aplicação de sais inorgânicos no tratamento de águas residuais industriais da refinação de óleos e gorduras

Marjorey Jomaira Toapanta-Casco^I

mtoapanta3363@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-0904-2779>

Nelson Iván Cisneros-Pérez^{III}

nelson.cisnero@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-8500-3806>

María Gabriela Roldan-Muentes^{II}

mroldan9952@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-9738-8790>

Carlos Antonio Moreira-Mendoza^{IV}

carlos.moreira@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-5980-0713>

Correspondencia: mtoapanta3363@utm.edu.ec

***Recibido:** 30 de noviembre de 2020 ***Aceptado:** 20 de diciembre de 2020 * **Publicado:** 09 de enero de 2021

- I. Investigador Independiente, Carrera de Ingeniería Química, Facultad de las Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas: Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- II. Investigador Independiente, Carrera de Ingeniería Química. Facultad de las Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas: Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- III. Ingeniero Químico, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Departamento de Procesos Químicos, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- IV. Magister en Gestión Ambiental, Ingeniero Químico Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Departamento de Procesos Químicos, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.

Resumen

En esta investigación se evaluó la eficacia de las sales inorgánicas en la remoción de turbidez en aguas residuales con alto contenido de grasas, misma que se efectuó utilizando Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) y Sulfato de Hierro II ($FeSO_4$). Se determinaron las dosis óptimas por medio de coagulación-floculación aplicando el método del test de jarra. En la experimentación se utilizaron soluciones del 35% p/v de ambos compuestos, se valoraron tres niveles de pH (4, 7 y 9) y cuatro dosis de coagulante (20ml, 25ml, 30ml y 35 ml) en 500 ml de agua residual con cada uno de los compuestos evaluados. Los resultados de los valores óptimos que proporciona el programa estadístico Statgraphic Centurión 19 utilizando un diseño factorial multinivel indica que con un volumen de 31,92 ml de sulfato de aluminio en 500 ml de aguas residual y pH 8,59 se obtiene un 92,79% de remoción, mientras que para el sulfato de Hierro II con un volumen de 35 ml en 500 ml de agua residual y pH 8,04 se logra obtener un 34,18% de remoción, evidenciándose que, efectivamente el Sulfato de Aluminio posee un efecto coagulante mayor que el sulfato de hierro y es favorable su uso como agente coagulante en el tratamiento de este tipo de agua residuales.

Palabras claves: Agua residual; grasas y aceites; tratamiento; sales inorgánicas.

Abstract

In this investigation the effectiveness of inorganic salts to eliminate turbidity in wastewater with high fat content was evaluated, same that was done using Aluminum Sulfate ($Al_2(SO_4)_3$) and Iron (II) Sulfate ($FeSO_4$). The optimal doses were determined by means of coagulation-flocculation applying the Jar-Test method. In the experimentation, solutions of 35% w/v of both compounds were used, three pH levels (4, 7 and 9) and four dosages of coagulant (20ml, 25ml, 30ml and 35 ml) were evaluated in 500 ml of wastewater with each of one of the compounds evaluated. The results of the optimal values provided by the statistical program Statgraphic Centurion 19 using a multilevel factorial design indicate that, with a volume of 31.92 ml of aluminum sulfate ($Al_2(SO_4)_3$) in 500 ml of wastewater and a pH of 8.59, a removal of 92.79% is obtained, while for Iron (II) Sulfate ($FeSO_4$) with a volume of 35 ml in 500 ml of wastewater and a pH of 8.04, a removal of 34.18% is obtained, showing that, effectively Aluminum Sulfate has a greater coagulating effect than iron sulfate and its use as a coagulating

agent in the treatment of this type of wastewater is favorable.

Keywords: Wastewater; fats and oils; treatment; inorganic salts.

Resumo

Esta investigação avaliou a eficácia da aplicação de sais inorgânicos na remoção da turbidez em águas residuais com alto teor de gordura, o que foi realizado usando Sulfato de Alumínio ($[\text{Al}]_2(\text{SO}_4)_3$) e Sulfato de Ferro (II) (FeSO_4). As doses ótimas foram determinadas por meio de coagulação-floculação aplicando o método do Jar-Test. Na experimentação, foram utilizadas soluções de 35% p/v de ambos compostos, três níveis de pH (4, 7 e 9) e quatro doses de coagulante (20ml, 25ml, 30ml e 35ml) em 500ml de água residual com cada um dos compostos avaliados. Os resultados dos valores ótimos fornecidos pelo programa estatístico Statgraphic Centurion 19 usando um planejamento fatorial multinível indicam que com um volume de 31,92 ml de Sulfato de Alumínio ($[\text{Al}]_2(\text{SO}_4)_3$) em 500 ml de efluente e um pH de 8,59 obtém-se uma remoção de 92,79%, enquanto para o Sulfato de Ferro (II) (FeSO_4). Com um volume de 35 ml em 500 ml de água residuais e um pH de 8,04 obtém-se uma remoção de 34,18 %, demonstrando que o sulfato de alumínio tem maior efeito coagulante do que o sulfato de ferro e sua utilização como coagulante no tratamento desse tipo de efluente é favorável.

Palavras chave: Águas residuais; gorduras e óleos; tratamento; sais inorgânicos.

Introducción

El agua es un elemento natural indispensable para el desarrollo de la vida y de las actividades humanas. Las industrias usan agua potable para la elaboración de sus productos, y es imprescindible ya que debe estar en condiciones muy buenas, es decir, que tenga una calidad para ser usada en sus procesos. Después de que el agua es usada en un proceso industrial, esta queda con una elevada carga contaminante. Por ello se ha exigido a los empresarios que sus industrias cuenten con planta tratadora de aguas residuales para disminuir en parte dicha contaminación. 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 (DBO₅) y la demanda química de oxígeno (DQO), mismos que evalúan contenidos de sustancias orgánicas e inorgánicas.(Osorio Robles et al., 2010)

Los efluentes residuales de las distintas actividades industriales pueden tener una composición más o menos constante, o estar sujeta a variaciones cualitativas y/o cuantitativas considerables, según los horarios de funcionamiento, la demanda del mercado o la posible influencia estacional en la producción. Los componentes de dichos vertidos se pueden clasificar según el método de tratamiento dentro de esta se encuentra los elementos insolubles separados físicamente como las materias grasas flotantes (grasas y aceites.(Espigarez García et al., 1985) La contaminación del agua por aceites y grasas es un caso típico de las aguas residuales procedentes de procesos industriales y la descarga este efluente contribuye a la polución del medio ambiente.

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, 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.(Briones Ponce et al., 2020)

La eficiencia de los tratamientos de las aguas residuales depende de uno de los procesos más importantes que se lleva a cabo, como es el de coagulación y floculación. El proceso de coagulación–floculación consiste en añadir al agua o agua residual determinados aditivos químicos con el objetivo de favorecer la sedimentación de materia coloidal no sedimentable o aumentar la rapidez de sedimentación por la formación de flóculos. La eliminación de estas partículas puede realizarse mediante la adición de los compuestos químicos llamados coagulantes que logran desestabilización en la partícula coloidal, las cuales están cargadas eléctricamente y presentan una doble capa eléctrica que le da estabilidad al sistema.(Cabrera Bermúdez et al., 2009). En el cual se emplean agentes coagulantes y floculantes de origen natural o sintético(a base de aluminio), por ende las sales inorgánicas (sulfato de aluminio y hierro) son de uso convencional cada una con distintas características, la sal de aluminio neutraliza parte de la carga de la partícula coloidal, sin

embargo la sal de hierro tiene una desventaja sobre las sales de aluminio forman un flóculos más pesado, de mayor velocidad de asentamiento y pueden trabajar en un rango de pH mucho más amplio.(Reyes & Carvajal, 2016)

Las aguas residuales son comúnmente tratadas mediante procesos biológicos. No obstante, en el caso específico de las aguas residuales industriales, los procesos fisicoquímicos son una alternativa viable, eficiente y económica para tratarlas. La predicción de la dosis óptima de coagulante es un factor crucial, ya que las regulaciones existentes en cuanto a los niveles residuales de coagulantes en aguas distribuidas son cada vez más estrictas. En este sentido, la prueba de jarras es el método comúnmente empleado para determinar la dosis apropiada de coagulante que debe utilizarse. Los procesos de coagulación son aptos no solo para remover partículas, también son capaces de remover patógenos que se encuentran unidos a dichas partículas, mejorando significativamente la calidad del agua y, en consecuencia, la salud humana (Llano et al., 2014)

La adición de coagulantes a base de sales metálicas, es una técnica usada en procesos de purificación de aguas. Las partículas presentes en todo tipo de agua, generalmente están cargadas negativamente; si a estas partículas se les elimina esta carga, la repulsión entre ellas disminuye y se da lugar a la formación de flóculos (floculación) que precipitan a mayor velocidad de sedimentación, esto se da por adición de iones apropiados a la disolución, cuanto mayor es la carga del polielectrolitos, mejor es su poder coagulante, lo cual trae como consecuencia el mejoramiento de la calidad del efluente, al aplicar coagulante al agua residual se mejora la eficiencia en la eliminación de partículas de menor diámetro denominadas coloides.(Rodríguez Jiménez & Gallego Suarez, 2019)

El sulfato de aluminio (SA), conocido como alumbre, es uno de los coagulantes más usados en el tratamiento convencional de aguas residuales y naturales, además de su efectividad tiene otras ventajas como bajo costo, facilidad de uso y disponibilidad (Caldera et al., 2011). El sulfato de hierro (II) también llamado sulfato ferroso usado en el tratamiento de agua es un polvo de color verde muy soluble y tiene una masa volumétrica aparente próxima a 900 kg/m³. Su contenido en hierro es de aproximadamente 19%, por su naturaleza ácida, el pH de una solución al 10% es de 2,8 aproximadamente, por esta razón, para su almacenamiento y preparación se usa material plástico (Vargas, 2004). Cada coagulante tiene un rango específico de pH donde tiene la mínima

solubilidad y ocurre la máxima precipitación dependiendo también las características químicas del agua. (Díaz Claros, 2014)

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la eficacia en la remoción de la turbidez que se presenta en el agua residual al adicionar sales inorgánicas, (Sulfato de Aluminio y Sulfato de Hierro (II) en el tratamiento de aguas residuales provenientes de una empresa refinadora de aceites y grasas, haciendo uso del método Test de Jarra, donde se evaluaron condiciones como el pH, dosificación óptima de coagulantes, considerando como variables de respuesta a, la turbidez el porcentaje de remoción. Previo al proceso de coagulación- floculación, al agua usada en la experimentación inicialmente se le realizó la caracterización fisicoquímica.

Materiales y métodos

Muestreo

Las muestras de aguas residuales fueron tomadas de una empresa refinadora de aceites y grasas, el cual se realizó de forma manual en envases plásticos con capacidad de 40 litros necesarios para la caracterización del agua (inicial y final) y la realización de la experimentación. Los mismos se llevaron a cabo en los laboratorios de Química y control de Calidad del Agua de la Universidad Técnica de Manabí.

Caracterización Fisicoquímico del agua residual

Lo parámetros que se analizaron al agua residual se encuentran tabulados en la Tabla 1, la caracterización del agua residual se realizó aplicando métodos estandarizados, de tal manera que nos proporcionen información sobre la composición inicial del agua residual.

Tabla 1: Caracterización fisicoquímica del agua residual proveniente de la refinación de aceites y grasas.

Parámetros	Unidad de expresión	de Resultados	Métodos de análisis
DQO	mg/l	7180	Espectrofotometría
DBO5	mg de O ₂ /l	3898	Respirométrico
Sólidos Totales	mg/l	1720	Gravimétrica a 105 °C

Aplicación de sales inorgánicas en el tratamiento de aguas residuales industriales procedente de la refinación de aceites y grasas

Solidos Totales	mg/l	570.69	Electrométrico
Disueltos			
Solidos Suspendidos	mg/l	1149.31	Por diferencia
Turbidez	NTU	1088	Método de Turbidímetro
pH		12.4	Electrométrico
Grasas	mg/l	32.4	Método de Soxhlet

Fuente: Los Autores

DQO: Demanda Química de Oxígeno. DBO5: Demanda Biológica de Oxígeno. NTU: Unidades nefelométricas de Turbidez.

Preparación de la solución coagulante

Se prepararon las soluciones coagulantes sulfato de Aluminio y sulfato de Hierro, ambas soluciones se prepararon a concentraciones de, 35 g/l H_2O .

Proceso coagulación-floculación

Para dicho proceso se aplicó el método Test de Jarra, en vasos de precipitado con capacidad de 1000 ml cada una, se añadieron volúmenes crecientes de los coagulantes 20ml, 25ml, 30ml y 35ml en 500 ml de agua cruda residual para ambas disoluciones (sulfato de Aluminio y Sulfato Hierro II), durante cada una se realizaron corridas exploratorias con dosificaciones diferentes de coagulantes y con variaciones distintas de pH 4, 7 y 9 unidades, para las regulación de pH se usó Ácido clorhídrico puro procurando no alterar las propiedades del agua cruda residual, por medio un gotero se colocaron 39 gotas exactos para pH 4, 35 gotas pH 7 y 33 gotas pH 9, el proceso de la Coagulación-Floculación se efectúa con una agitación rápida de 200 rpm durante 2 minutos y una agitación lenta de 60 rpm durante 15 minutos, al final de las corridas experimentales se midieron los valores de turbiedad, valores que nos permite conocer la dosis y pH adecuado para el tratamiento del agua residual, además del porcentaje de remoción máximo de los parámetros fisicoquímicos.

Diseño experimental

Los datos se obtuvieron mediante el empleo del programa estadístico Statgraphic Centurion 19, se realizó el diseño experimental Factorial Multinivel que consiste en 36 corridas experimentales con 3 niveles de variación pH, y 4 niveles de dosificación con cada uno de los coagulantes, sulfato

de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) y sulfato de Hierro ($FeSO_4$), en total se realizaron 12 corridas experimentales y dos replicas, como se muestra en la Tabla 2. Las variables de respuestas son la turbidez y el porcentaje de remoción, la medición de la turbidez se efectuó mediante el uso del Turbidímetro modelo Hach 21000A. Una vez terminadas las experimentaciones y tratados los resultados estadísticamente se pudo conocer los valores de pH y dosificación óptima para la acción efectiva de los coagulantes obtenidos según el programa.

Tabla 2: Diseño de experimento método Test de Jarra- Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) y Sulfato de Hierro II ($FeSO_4$).

Variación pH	Dosificación de la solución coagulante (ml)			
4	20ml	25ml	30ml	35ml
7	20ml	25ml	30ml	35ml
9	20ml	25ml	30ml	35ml

Fuente: Los Autores

Una vez obtenidos los datos óptimos de pH y dosificación en función de las variables respuesta, se comprobaron estos realizando una última corrida para verificar la eficiencia de dichos valores.

Resultados y Discusión

Resultados del sulfato de Aluminio

En la tabla 3. Se muestran los porcentajes de remoción promedio para el tratamiento con sulfato de Aluminio. Por medio de pruebas preliminares realizadas se determina el comportamiento que tiene el Sulfato de Aluminio como coagulante donde se define que a pH de 7 y un volumen de 35 ml se obtiene un porcentaje de remoción del 97.35% siendo este la más eficiente. Los análisis de datos con Statgraphic Centurión 19 nos proporciona el valor del rendimiento óptimo para este coagulante con un volumen de 31,92 ml y pH de 8,59 mostrando un porcentaje de remoción del 92,79% (Tabla 4).

Tabla 3: Porcentaje de remoción de los tratamientos con Sulfato de Aluminio.

Dosis de coagulante (ml)	20	25	30	35
pH Inicial	%Remoción			
	Promedio			
4	36.27	47.87	61.98	40.35
7	22.58	87.86	95.48	97.35
9	18.45	96.78	95.20	96.93

Fuente: Los Autores

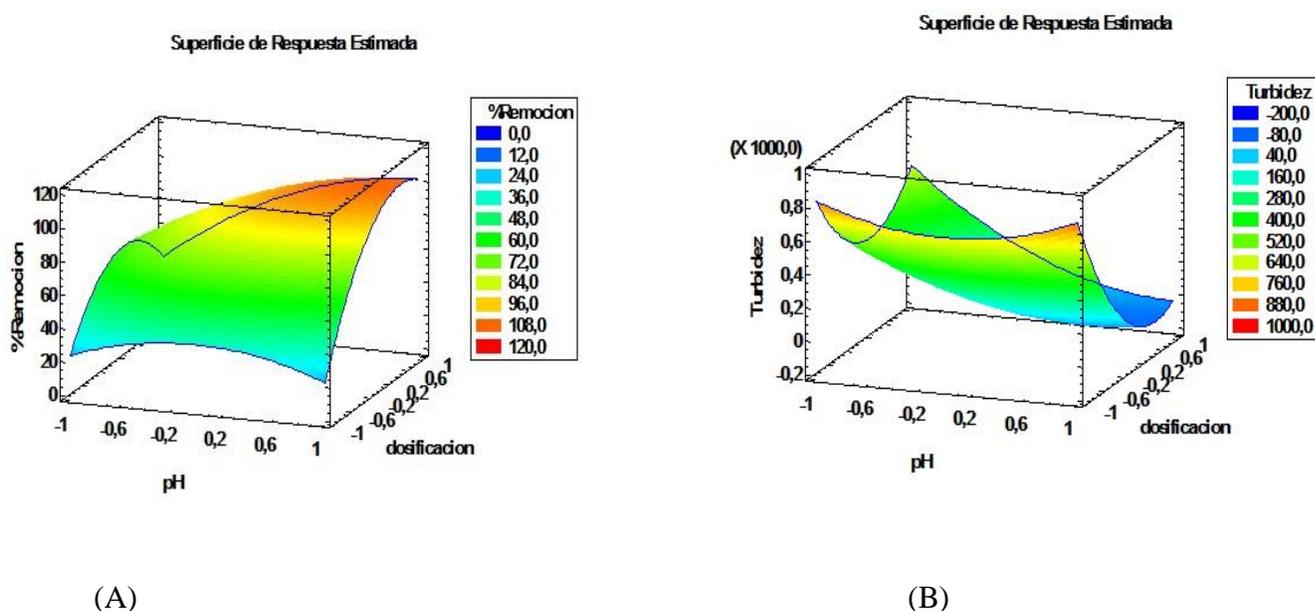


Figura 2: (A) representa el porcentaje de remoción y (B) representa la turbidez (variables de respuesta) en función a dos factores: pH y dosificación. Por colorimetría se pronostica que a mayor dosificación y pH el porcentaje de remoción es mayor. Y para (B) a mayor pH y dosificación la turbidez reduce considerablemente.

Analizadas las superficies de respuesta, estadísticamente la regresión cuadrada muestra un valor R de 0,782604 de varianza en el % de remoción y 0,782594 de varianza de turbidez, con una confiabilidad del 95%, siendo el que mejor se ajusta a los datos.

De acuerdo a la metodología de la superficie de respuesta, estima eficientemente valores óptimos para cada variable analizada, los resultados se muestran en la tabla 4.

Tabla 4: Resultados de Dosis Optimas: Remoción y Turbidez (Sulfato de Aluminio).

Factor	Bajo	Alto	Óptimo	Óptimo Remoción	Óptimo	Óptimo Turbidez
pH	-1,0	1,0	0,842417	8,59	0,842391	8,50
Dosificación	-1,0	1,0	0,590826	31,92	0,590869	31,93

Fuente: Los Autores

Los análisis de datos experimentales para el Sulfato de Aluminio establecen un modelo matemático, el modelo de regresión no lineal ajustado a los datos donde se muestran significativas las variables independientes (pH y dosificación), se genera modelos de regresión para el Porcentaje de Remoción y Turbidez.

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\% \text{Remoción} = 93,6554 + 14,8604 * \text{pH} + 24,706 * \text{Dosificación} - 14,3338 * \text{pH}^2 + 15,7173 * \text{pH} * \text{Dosificación} - 32,1112 * \text{Dosificación}^2 \quad (1)$$

$$\text{Turbidez} = 69,0445 - 161,671 * \text{pH} - 268,8 * \text{Dosificación} + 155,938 * \text{pH}^2 - 171,013 * \text{pH} * \text{Dosificación} + 349,375 * \text{Dosificación}^2 \quad (2)$$

Resultados del Sulfato de Hierro II

En la tabla 5 se muestran los porcentajes de remoción promedio para el tratamiento con sulfato de Hierro II. De igual manera mediante pruebas preliminares se define que a pH de 9 y un volumen de 35 ml se obtiene un porcentaje de remoción del 36.33% siendo este la más eficiente para este caso. Así mismo los análisis de datos con Statgraphic Centurion 19 nos proporciona el valor del rendimiento óptimo para este coagulante con un volumen de 35ml y pH de 8,04 se logra la remoción del 34,18% (Tabla 6).

Tabla 5: Porcentaje de remoción de los tratamientos con Sulfato de Hierro II.

Dosis de coagulante (ml)	20	25	30	35
pH Inicial	%Remoción Promedio			
4	16.36	22.18	31.49	23.10
7	24.11	23.84	29.32	29.77
9	12.16	15.47	24.29	36.33

Fuente: Los Autores

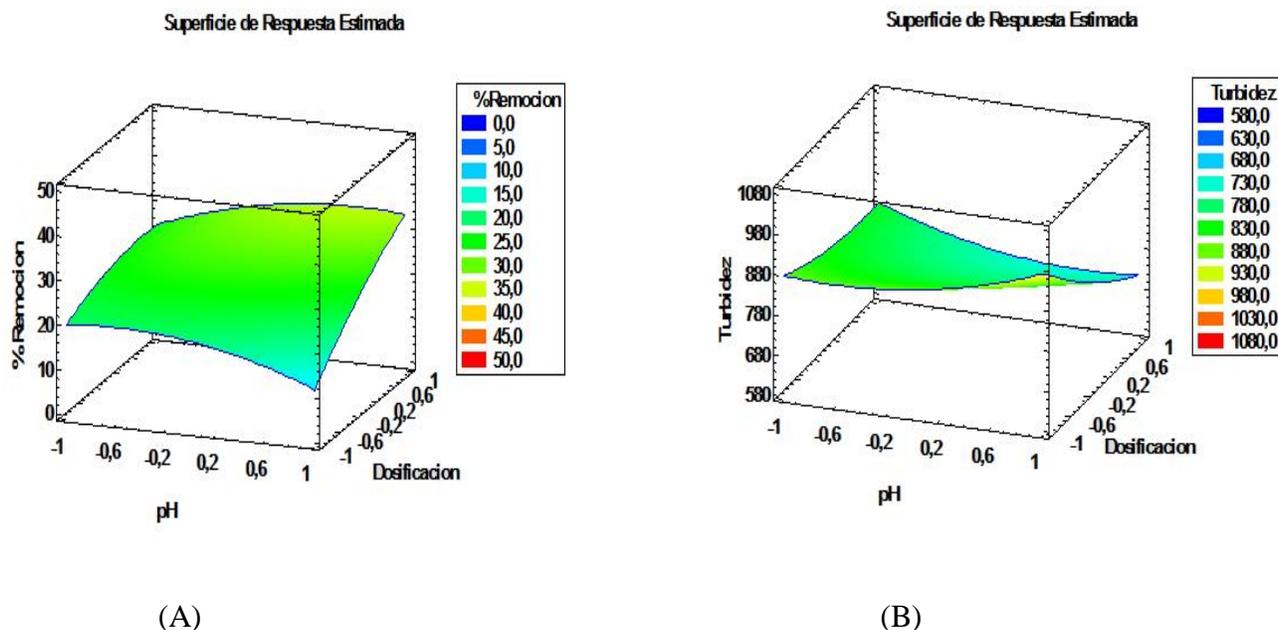


Figura 3: (A) % de remoción y (B) turbidez (variables de respuesta) en función a dos factores: pH y dosificación. Por colorimetría se observa que mayor pH y dosificación existe un porcentaje de remoción y una disminución de turbidez, pero no de manera eficiente.

Analizadas las superficies de respuesta, estadísticamente la regresión cuadrada muestra un valor R de 0,66381 de varianza en el % de remoción y 0,66381 de varianza de la turbidez, con una confiabilidad del 95%, siendo el que mejor se ajusta a los datos.

De acuerdo a la metodología de la superficie de respuesta, estima eficientemente valores óptimos para cada variable analizadas, los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 6: Resultados de Dosis Optimas: Remoción y Turbidez (Sulfato de Hierro II)

Factor	Bajo	Alto	Óptimo	Óptimo Remoción	Óptimo	Óptimo Turbidez
pH	-1,0	1,0	0,614274	8,04	0,614274	8,04
Dosificación	-1,0	1,0	1,0	35	1,0	35

Fuente: Los Autores

Se puede observar los parámetros que más cambios tuvieron son la turbidez cuyo valor optimo es de 78,4587 para el sulfato de Aluminio y el porcentaje de remoción de 92,79% a diferencia del Sulfato de Hierro II cuyo valor de Turbidez fue de 716,13 y el porcentaje de remoción de 34,18%. Los análisis de los datos experimentales para el Sulfato de Aluminio establecen un modelo matemático, el modelo de regresión no lineal ajustado a los datos donde se muestran significativas las variables independientes (pH y dosificación), se generan modelos de regresión para el porcentaje de remoción y turbidez.

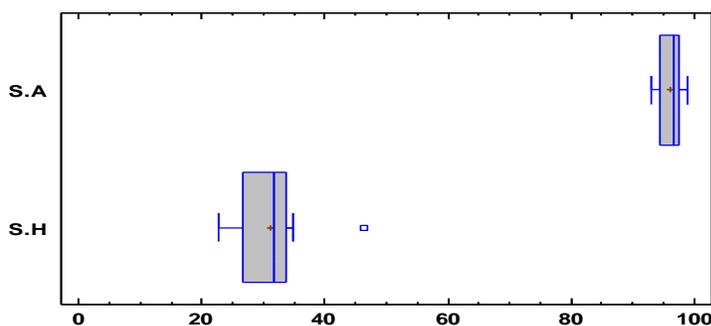
La ecuación del modelo ajustado es:

$$\% \text{ Remoción} = 27,7701 + 0,00765958 * \text{pH} + 6,91483 * \text{Dosificación} - 3,46967 * \text{pH}^2 + 4,25551 * \text{pH} * \text{Dosificación} - 1,81526 * \text{Dosificación}^2 \quad (3)$$

$$\text{Turbidez} = 785,861 - 0,0833333 * \text{pH} - 75,2333 * \text{Dosificación} + 37,75 * \text{pH}^2 - 46,3 * \text{pH} * \text{Dosificación} + 19,75 * \text{Dosificación}^2. \quad (4)$$

Realizando la comparación entre los valores óptimos de las sustancias utilizadas para la remoción de la turbidez en aguas procedentes de las industrias procesadoras de aceites y grasas se pudo comprobar que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las dos muestras, con un nivel de confianza del 95,0%, estableciendo que el Sulfato de Aluminio tiene mayor acción de remoción en este tipo de aguas. Los resultados se muestran en la figura 4.

Figura 4: Diagrama de caja y bigotes para la comparación entre Sulfato de Aluminio y Sulfato de Hierro II.
Gráfico Caja y Bigotes



Finalmente, con los datos de dosificación y pH ajustados mediante el programa estadístico Statgraphic Centurión 19, se ejecutó la prueba correspondiente, comprobando así la eficacia de los valores, los resultados se aprecian en las tablas 5 y 6.

Tabla 5: Caracterización fisicoquímica del agua residual final utilizando Sulfato de Aluminio.

Parámetros	Unidad de expresión	de Resultados	Métodos de análisis
DQO	mg/l	817	Espectrofotometría
DBO5	mg de O_2/l	454	Respirométrico
Solidos Totales	mg/l	2822.96	Gravimétrica a 105 °C
Solidos Disueltos	mg/l	2777	Electrométrico
Solidos Suspendidos	mg/l	45.96	Por diferencia
Turbidez	NTU	26.4	Método de Turbidímetro
pH		8.59	Electrométrico
Grasas	mg/l	10	Método de Soxhlet

Fuente: Los Autores

DQO: Demanda Química de Oxígeno. DBO5: Demanda Biológica de Oxígeno. NTU: Unidades nefelométricas de Turbidez.

Tabla 6: Caracterización fisicoquímica del agua residual final utilizando Sulfato de Hierro II

Parámetros	Unidad de expresión	de Resultados	Métodos de análisis
DQO	mg/l	1008	Espectrofotometría
DBO5	mg de O_2/l	556	Respirométrico
Solidos Totales	mg/l	3748.3	Gravimétrica a 105 °C
Solidos Disueltos	mg/l	2699	Electrométrico
Solidos Suspendidos	mg/l	1049.3	Por diferencia
Turbidez	NTU	112	Método de Turbidímetro
pH		8.03	Electrométrico
Grasas	mg/l	31.4	Método de Soxhlet

Fuente: Los Autores

DQO: Demanda Química de Oxígeno. DBO5: Demanda Biológica de Oxígeno. NTU: Unidades nefelométricas de Turbidez.

Se tienen varios criterios a considerar, si el agua va a ser destinada al consumo humano y uso doméstico, uso agrícola, riego, uso estético, uso industrial; como también, si ésta va a ser descargada al alcantarillado, cuerpos de agua dulce, cuerpos de agua marina. En el caso de descargas de efluentes al sistema de alcantarillado público, o a cuerpos de agua dulce o marina, existen diferentes parámetros en los que los valores de límites máximos permisibles corresponden

a promedios diarios. (Panchana & Neira, 2013). Un análisis de estudios sobre tratamiento de aguas residuales por filtración tangencial con membranas, muestra altas eficiencias en la separación de los componentes de interés como retirar la remoción de la turbiedad mediante la microfiltración y el tratamiento de agua salobre o con color mediante la nanofiltración (Muro et al., 2009) esto se puede llevar a través de un tratamiento terciario (osmosis inversa) para su reutilización en la planta según (Salas Colotta, 2003)

Los valores obtenidos de la caracterización fisicoquímica después del tratamiento con el Sulfato de Aluminio y Sulfato de Hierro II refleja valores satisfactorios dentro de los parámetros como lo es el DBO5 y DQO, mientras que valores de sólidos totales, disueltos tendieron a aumentar debido a la adición de estas sales en el proceso de test de jarra, se observa que existe una reducción significativa con respecto a sus condiciones iniciales.

Comparando los resultados obtenidos con otro estudio donde la aplicación de estas sales son altamente satisfactorias (Llano et al., 2014) detallan que los valores como turbidez y DQO Y DBO5 son altamente efectivos donde especifican que las condiciones óptimas para el desarrollo de su trabajo es a un pH de 9 y una concentración de 20 mg/l.

(Flórez Cogollo, 2011) indica que cada coagulante tiene un rango específico de pH donde tiene la mínima solubilidad y ocurre la máxima precipitación dependiendo de las características del agua. En el estudio realizado por (Vielman Ramírez, 2011) indica que el agua residual procedente de una fábrica de galletas después del tratamiento físico-químico con Sulfato de Aluminio se obtiene valores de remoción de turbidez de 25.6 NTU a un pH de 6.6 comparados con los del Sulfato de Ferroso no genero ningún cambio significativo en el porcentaje de remoción de las aguas residuales, en donde se puede concluir que el sulfato ferroso tiende a ser menos efectivo en la remoción de la turbidez, esto es debido a que el Sulfato de Aluminio forma flóculos ligeramente pesados a diferencia del Sulfato de Hierro que forma flóculos mucho más pesados generando más turbidez en el agua. (Azabache Liza, 2017).

Conclusiones

La aplicación de las sales inorgánicas en el proceso de coagulación-floculación realizados mediante el método Test de Jarra , resultaron eficientes en el caso del sulfato de Aluminio antes que el sulfato de Hierro II, el mismo no tuvo mayor impacto en el mejoramiento del agua residual, se

determinó que a pH de 8,59 y una dosificación de 31,92 ml /500 ml de agua residual se logró reducir significativamente la turbidez y el porcentaje de remoción de las grasas y aceites presentes en este tipo de aguas residual. Además de otros parámetros fisicoquímicos que fueron medidos inicialmente y al final de las pruebas, como es el caso del DQO y DBO5 que inicialmente se obtuvo 7180 mg/l y 3898 mg de O_2/l respectivamente, con la aplicación del coagulante que más eficiencia demostró (Sulfato de Aluminio) a las condiciones antes mencionadas redujeron considerablemente obteniéndose valores de 817 mg/l y 454 mg de O_2/l .

Los resultados obtenidos mediante la experimentación y el empleo del programa estadístico Statgraphic Centurión 19 en conjunto resultaron ser positivos.

Referencias

1. Albuquerque, F. (2018). Conceptos básicos de economía. <https://www.orkestra.deusto.es/images/investigacion/publicaciones/libros/colecciones-especiales/Conceptos-basicos-economia-enfoque-etico.pdf>
2. Arguello, J., y Soto, A. (2014). Diseño e implementación del plan de mejoramiento de las condiciones de higiene y seguridad industrial en Armalco S.A. (Tesis Tecnológica). Universidad distrital Francisco José de caldas, Bogotá, Colombia.
3. Cabezas, E., Naranjo, D., y Torres, J. (2018). Introducción a la metodología de la investigación científica. Sangolquí, Ecuador: Comisión Editorial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
4. Carro, J., Reyes, B., Rosano, G., Garnica, J., y Pérez, B. (2017). Modelo de desarrollo sustentable para la industria de recubrimientos cerámicos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(1), 131-139. doi. 10.20937/RICA.2017.33.01.12
5. Flórez, A. (2018). Diseño de plan de mejoramiento empresarial Informe final de investigación. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/11612/2018andreafllorez.pdf?sequence=1>
6. Francisco, N., y Rodríguez, C. (2007). Generalidades acerca de las técnicas de investigación cuantitativa. *Unitec*, 2(1), 9-39.

7. Gallusser, P. (2005). Creciente avance del teletrabajo como modalidad laboral. *La Trama de la Comunicación*, 10, 1-15.
8. Guadamillas, F. (1999). La implementación de una Estrategia de Mejora Continua. *AEDEM*, 16(1), 597-602
9. González, C., y Sánchez, I. (2017). Sustentabilidad y competitividad en empresas familiares restauranteras. *Revista Venezolana de Gerencia*, 22(79), 427-446.
10. Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F: McGraw-Hill.
11. Luna-Idrovo, S., Marín-Carangui, L., y Luna-Altamirano, K. (2020). Modelo de seguridad laboral como factor de impulso en el sector industrial de Cuenca-Ecuador. *Revista Polo del Conocimiento*, 5(1), 685-702, doi. 10.23857/pc.v5i1.1973
12. López, R. (2005). La Calidad Total en la Empresa Moderna. *Perspectivas*, 8(2), 67-81.
13. Proaño, D., Soler, V., Pérez, E. (2017). Metodología para elaborar un plan de mejora continua. *3Ciencias*, 6, 50-56. doi: 10.17993/3cemp.2017.especial.50-56
14. Puglla, R., Andrade, D., David, M., Vanegas, J. (2017). Análisis comparativo de las exportaciones e importaciones. *Killkana*, 1(3), 1-8.
15. Salkind, N. (1999). *Métodos de investigación*. México: Pearson Educación.
16. Sansores, E. (2017). La pequeña empresa bajo un contexto de crisis financiera: un análisis de su sobrevivencia. *SAPIENTIAE* 2(2), 87-109.
17. Seiler, R., y Vianco, A. (2017). *Metodología para generar indicadores de sustentabilidad de sistemas productivos*. Universidad Nacional de Río Cuarto. Argentina.

©2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).