

Optimización de las condiciones de tratamiento de aguas residuales de una Industria alimenticia por coagulación Química

Optimization of wastewater treatment conditions of a food Industry by Chemical coagulation

LAGUNAS-BERNABÉ, Ignacio†*, LOA-ARJONA, Jocelyn y BARRIOS-AGUILAR, José Jaime

Tecnológico de Estudios Superiores de Jilotepec-División de Ingeniería Química

ID 1^{er} Autor: Ignacio, Lagunas-Bernabé / ORC ID: 0000-0001-6018-6079, Researcher ID Thomson: I-2780-2018, CVU CONACYT ID: 97810

ID 1^{er} Coautor: Jocelyn, Loa-Arjona / ORC ID: 0000-0002-7224-9791, Researcher ID Thomson: H-1072-2018, CVU CONACYT ID: 904417

ID 2^{do} Coautor: José Jaime, Barrios-Aguilar / ORC ID: 0000-0003-0389-4292, Researcher ID Thomson: O-7307-2018, CVU CONACYT ID: 904437

Recibido 09 Abril, 2018; Aceptado 28 Junio, 2018

Resumen

El presente proyecto se realizó derivado de la problemática que existió en una empresa del ramo alimenticio ubicado en Juventino Rosas, Gto., el cual cuenta con una planta de tratamiento de aguas, basado en coagulación/floculación, pero el tratamiento es simple y el agua tratada no cumplía con las normas ambientales para su descarga. Se realizó la optimización de la mezcla de sustancias químicas para el tratamiento de aguas residuales generadas, aplicando diseños estadísticos experimentales fraccionados 2^{4-1} y 2^{5-1} , siendo los principales factores: cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), hipoclorito de sodio (NaClO), cloruro férrico (FeCl_3) y tiempo de mezclado (minutos), además se empleó sulfato de aluminio, aplicado a lotes de 10 L de agua residual. Las variables de respuesta fueron turbiedad, % de remoción y demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Estas condiciones de operación han permitido reducir la carga de materia orgánica de 90 a 95 % en lotes de 1000 a 2000 L de agua residual, además de cumplir con la norma NOM-003-SEMARNAT-1997.

Coagulación, Sulfato de Aluminio, DBO

Abstract

This project was made based on the problem that existed in a company of the food industry located in Juventino Rosas, Gto., Which has a water treatment plant, based on coagulation/flocculation, but the treatment is simple and the water treated did not meet environmental standards for discharge. The optimization of the chemical mixture for the treatment of generated wastewater was carried out, applying fractional experimental statistical designs 2^{4-1} and 2^{5-1} , the main factors being: lime ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), sodium hypochlorite (NaClO), ferric chloride (FeCl_3) and mixing time (minutes), aluminum sulfate was also applied, applied to lots of 10 L of residual water. The response variables were turbidity, % removal and biochemical oxygen demand (BOD). These operating conditions have allowed reducing the organic matter load from 90 to 95% in batches of 1000 to 2000 L of residual water, in addition to complying with the NOM-003-SEMARNAT-1997 standard.

Coagulation, Aluminum Sulfate, BOD

Citación: LAGUNAS-BERNABÉ, Ignacio, LOA-ARJONA, Jocelyn y BARRIOS-AGUILAR, José Jaime. Optimización de las condiciones de tratamiento de aguas residuales de una Industria alimenticia por coagulación Química. Revista de Energía Química y Física. 2018. 5-15: 12-16.

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: lagunas.ix07@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor

Introducción

El tratamiento del agua residual es un conjunto de operaciones unitarias y procesos que se realizan, con el fin de remover sus contaminantes y lograr que sus características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas cumplan las especificaciones contenidas en las normas que regulan los organismos nacionales e internacionales. El agua residual debe ser tratada debido a la presencia agentes nocivos para la salud tales como: sólidos suspendidos, materiales colorantes, microorganismos, materia orgánica, gases disueltos, minerales y otros (Amuda, 2006).

En la actualidad las empresas tienden a utilizar plantas de tratamiento de aguas primario, secundario y terciario, estableciendo variables fisicoquímicas que den como resultado el dimensionamiento de su tamaño, nivel de sofisticación tecnológica o la calidad actual del agua tratada. Necesitando introducir cambios en sus procesos para garantizar los parámetros como pH, alcalinidad, sólidos suspendidos y control microbiológico. Mejorando así el proceso en la obtención de aguas residuales en el que el costo beneficio sea obtener calidad del agua tratada y cumplir con legislación gubernamental que dé como resultado la no generación de enfermedades o problemas de salud pública.

La coagulación es un proceso en el que las partículas cargadas en la suspensión coloidal se neutralizan mediante colisiones con otros iones, produciendo un aglomerado seguido de sedimentación, siendo este la función de un agente químico coagulante (Rao, 2015). Por ejemplo, se ha usado ampliamente durante años el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ (conocido como alumbre), como un agente coagulante para el tratamiento de aguas residuales. El mecanismo de coagulación ha sido sujeta a continua revisión (Borchate *et.al.*, 2014; Yang *et.al.*, 2016), está generalmente aceptado que la coagulación empieza primero mediante una reducción neta de la superficie de carga donde las partículas coloidales, previamente estabilizadas mediante repulsiones electrostáticas, pueden acercarse lo suficiente como para que las fuerzas de Van der Waals actúen y permitan su agregación (Mousa y Hadi, 2016).

La reducción de la carga superficial es consecuencia de la disminución del potencial de repulsión de la doble capa eléctrica por la presencia de electrolitos que tienen carga opuesta. En el municipio de Juventino Rosas, Guanajuato (México), existe una empresa del ramo alimenticio (dulcería y confitados), que requiere optimizar su formulación por el método de coagulación-floculación, para el tratamiento de sus aguas residuales que poseen una alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO), presencia de colorantes orgánicos diversos y con variaciones en el pH. El presente proyecto realizó la optimización de las condiciones de coagulación existentes a través de diseños estadísticos experimentales, que permitieron maximizar la remoción de contaminantes orgánicos.

Metodología

1. Evaluación de las descargas de agua residual

Se realizó un monitoreo del agua residual generado en los meses de septiembre a diciembre de 2017, siendo los parámetros que la empresa solicitó seguir: pH (se empleó un potenciómetro portátil), color (se registró el tipo de color residual y su frecuencia de ocurrencia), y grados Brix ($^{\circ}Bx$, mide la cantidad de sólidos solubles, se empleó un refractómetro portátil VELAQUIN con rango de medición de 0 a 50°) como indicadores del grado de contaminación de estas aguas.

2. Optimización de las condiciones de coagulación con diseños estadísticos experimentales

En una primera etapa, se aplicó un diseño factorial fraccionado 2^{4-1} resolución IV (Tabla 1) con dos réplicas, aplicando como factores las condiciones de tratamiento propuestas por la empresa: cal ($Ca(OH)_2$), hipoclorito de sodio ($NaClO$), cloruro férrico ($FeCl_3$) y tiempo de mezclado (minutos). El volumen a tratar fue de 10 L por cada tratamiento.

Factor	Nivel bajo	Nivel alto
Ca(OH) ₂	200 g/L	300 g/L
NaClO	1 mL	2 mL
FeCl ₃ (solución 30% m/v)	20 µL	30 µL
Tiempo de mezclado	10 min	15 min

Tabla 1 Factores y niveles diseño factorial fraccionado 2⁴¹
Fuente: Elaboración Propia

Adicionalmente se aplicó un diseño factorial 2⁵⁻¹ fracción ½ con resolución V, donde el factor adicional fue sulfato de aluminio (alumbre), con la finalidad de mejorar el proceso de coagulación de materia orgánica y eliminación de colorantes, debido a que la mezcla empleada por la empresa, no eliminaba la materia orgánica ni los colorantes residuales. Los niveles de los factores para este experimento son los mismos de la Tabla 1, más el sulfato de aluminio con niveles 5 y 10 g/L, aplicado a lotes de 10 L de agua residual.

Las variables de respuesta fueron: a) turbiedad medido en unidades UNT, medido con un espectrofotómetro UV-Visible a 860 nm, con referencia a la NMX-AA-038-SCFI-2001, para la curva de calibración se empleó formazina en un rango de 0 a 40 UNT (Cabrera *et al.*, 2009); b) % de remoción de materia orgánica empleando las mediciones turbidimétricas conforme a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ remoción} = \frac{\text{turbidez inicial} - \text{turbidez final}}{\text{turbidez inicial}} * 100 \quad (1)$$

Y como tercera variable de respuesta se midió la DBO por diferencia de oxígeno disuelto antes y después de los tratamientos empleando un medidor DBO HANNA (Rao, 2015). Los resultados fueron analizados con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, empleando el software MINITAB v. 16.

Resultados

1. Caracterización de las aguas residuales

Para el parámetro de pH, el rango antes de realizar el tratamiento fue de 7-9, sin embargo, después del tratamiento el rango de pH cambio de 11-12, esto se explica por la adición de hidróxido de calcio como componente de la mezcla de agentes coagulantes.

Para el caso del color, entre un 60 a 70 % de frecuencia el color café fue el característico de las aguas residuales generadas, y en un 20-30 % le seguía el color verde, estos colores se deben al uso de colorantes para productos relacionados con estos colores. En cuanto a los grados Brix, 89.5 % de las mediciones indicaban un rango de 1-5 °Bx, lo que indica un bajo nivel de sólidos solubles presentes, relacionado con el contenido de azúcares.

2. Análisis de las condiciones de coagulación por diseños experimentales

Los métodos tradicionales de coagulación, por lo general emplean un tipo de agente coagulante, pero la empresa usuaria en particular empleaba una mezcla de agentes coagulantes y floculantes, que durante tres años no le favorecía en el correcto tratamiento de sus aguas residuales, lo que en una primera etapa se propuso aplicar un diseño experimental para corregir la formulación coagulante-floculante.

En el primer diseño factorial 2⁴⁻¹, el Gráfico 1 muestra que se obtuvo una remoción en promedio del 90 % de materia orgánica, haciendo notar que la mejor combinación de factores fue: cal (300 g/L), hipoclorito de sodio (2 mL), cloruro férrico (20 µL) y un tiempo de mezclado de 10 minutos. Estas condiciones igualmente se replicaron para la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno (Gráfico 2), el cual en promedio se logró 21.5±0.04, en comparación con los 68.7±0.4 mg/L de O₂ que registraba con el tratamiento original de coagulación.

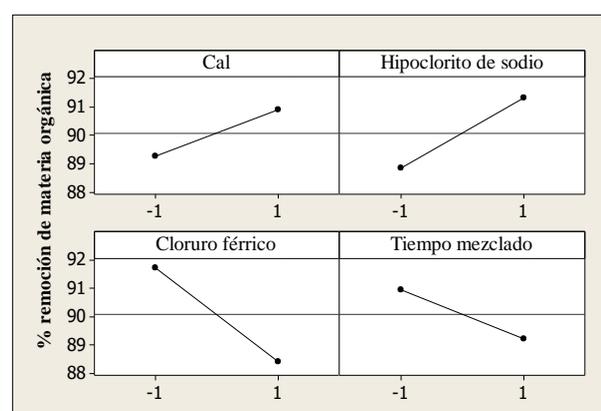


Gráfico 1 Efectos principales para % de remoción de contaminantes.

Fuente: Elaboración Propia

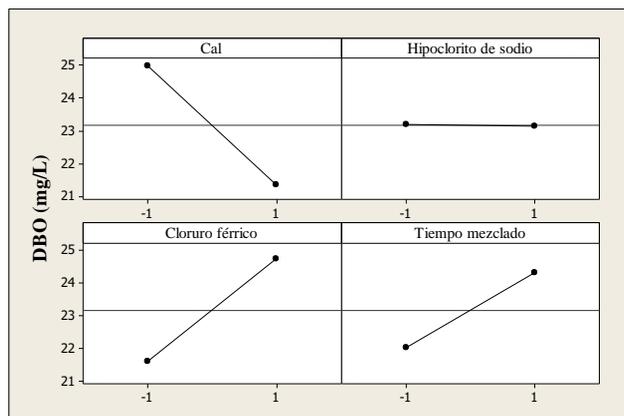


Gráfico 2 Efectos principales para DBO (mg/L O₂) residual después del tratamiento

Fuente: Elaboración Propia

Como propuesta adicional, se determinó agregar sulfato de aluminio (alumbre) para evaluar su impacto en la reducción de materia orgánica y su impacto en la DBO (Farajnezhad y Gharbani, 2012).

La Grafica 3 muestra que se logró reducir en promedio hasta 90.5 % la presencia de materia orgánica, estadísticamente no hubo diferencias con el tratamiento sin alumbre (Grafico 1), pero en cuanto a la reducción de la DBO (Grafico 4), fue significativa la adición de alumbre para mejorar la reducción de DBO, el cual fue en promedio de 17 mg/L, que comparado con la norma mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, el cual establece como límite máximo 20 mg/L, se considera que la adición de sulfato de aluminio mejoró la eliminación de materia orgánica de las aguas residuales generadas.

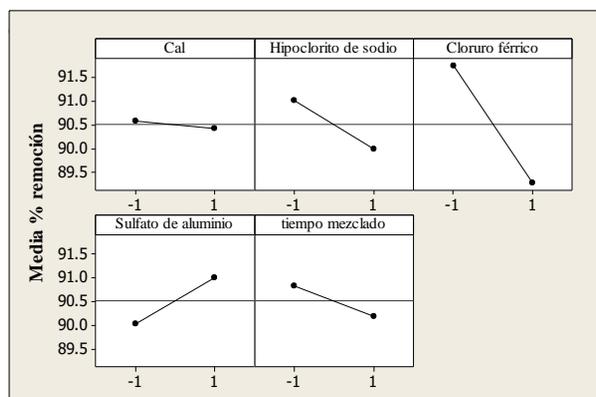


Gráfico 3 Efectos principales para % de remoción de contaminantes.

Fuente: Elaboración Propia

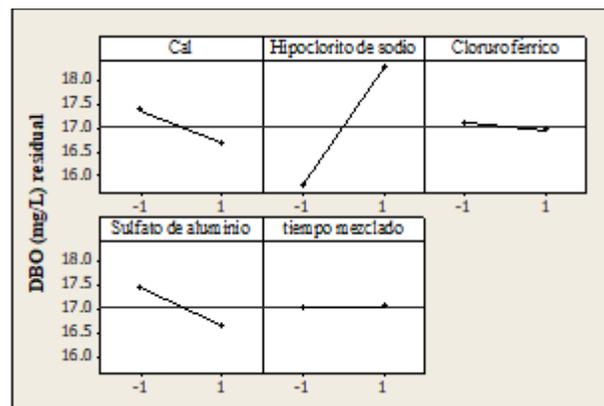


Gráfico 4 Efectos principales para DBO (mg/L O₂) residual después del tratamiento

Fuente: Elaboración Propia

Anexos

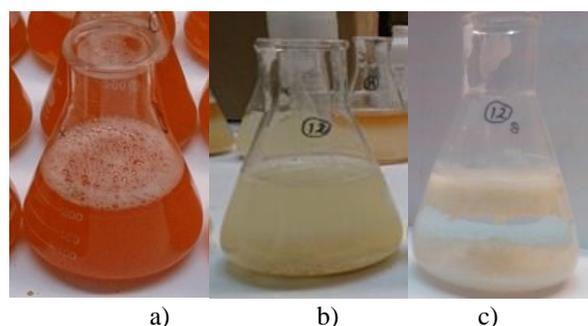


Figura 1 a) Muestra de agua antes de realizar tratamiento; b) aspecto del agua durante tratamiento; c) agua tratada final.

Fuente: Elaboración Propia

Agradecimiento

Se agradece al PRODEP-SEP por el financiamiento otorgado al proyecto general *Tecnologías para el aprovechamiento de residuos agroindustriales y remediación del agua*, con la Convocatoria 2017 “Apoyo para el Fortalecimiento de Cuerpos Académicos”.

Conclusiones

El uso del sulfato de aluminio, mejoró significativamente la disminución de la materia orgánica, presente en las aguas residuales. Se sugirió a la empresa usuaria aplicar las siguientes condiciones de tratamiento: cal (200 g/L), cloruro férrico ($\mu\text{L/L}$), hipoclorito de sodio (1 mL/L), sulfato de aluminio (10 g/L) y 10 minutos de agitación. Estas condiciones de operación han permitido reducir la carga de materia orgánica de 90 a 95 % en lotes de 1000 a 2000 L de agua residual, además de cumplir con la norma NOM-003-SEMARNAT-1997.

Referencias

Amuda, O.S. (2006). Coagulation/flocculation process in the treatment of abattoir wastewater. *Desalination*. 196(3), 22-31.

Borchate, S.S., Kulkarni, G.S., Kore, V.S., Kore, S.V. (2014). A review on applications of coagulation-flocculation and Ballast flocculation for water and wastewater. *Int. J. Inn. Eng. Tech.* 4(4),216-224.

Cabrera, B.X., Fleites, R.M., Contreras, M.A. (2009). Estudio del proceso de coagulación-floculación de aguas residuales de una empresa textil a escala laboratorio. *Tec. Quím.*, 26(3), 64-73.

Farajnezhad, H., Gharbani, P., (2012). Coagulation Treatment of Waste Water in Petroleum Industry Using Poly Aluminum Chloride and Ferric Chloride, *IJRRAS*, 2(13), 306- 310.

Mousa, K.M. and Hadi. H.J. (2016). Coagulation/flocculation process for produced water treatment. *Int. J. Curr. Eng. Tech.* 6 (2), 551-555.

Rao, L.N. (2015). Coagulation and Flocculation of Industrial Wastewater by Chitosan, *International J. Eng. Appl. Sci.*, 2, 2394-3661.

Secretaría de Economía. (2001). Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales y tratadas NMX-AA-028-SCFI-2001. 1-86.

Secretaría de Economía. (2001). Determinación de la turbiedad en aguas naturales, residuales y tratadas NMX-AA-038-SCFI-2001. 1-20.

SEMARNAT. (2003). NOM-003-SEMARNAT-1997, Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. 1-17.

Yang, T.Ch., Mori B.P., Yee, K.P.S., Yeong, T.W. (2016). Recent advancement of coagulation-flocculation and its application in wastewater treatment. *Ind. Eng. Chem. Res.* 55(16), 4363-4389.