



Vol 15, N° 3
Julio - Septiembre 2015

ISSN: 1317-2255
Deposito Legal: pp 20002FA828
Dep. legal ppi 201502ZU4642

Multiciencias

Multiciencias

R M Cs



Universidad del Zulia
Revista Arbitrada Multidisciplinaria



LUZ Punto Fijo

Núcleo LUZ-Punto Fijo
Programa de Investigación y Posgrado
Falcón-Venezuela

Multiciencias / Revista Arbitrada Multidisciplinaria del Núcleo LUZ-Punto Fijo

MULTICIENCIAS, Vol.15, N° 3, 2015 (256 - 264)

ISSN: 1317-2255 / Deposito Legal: pp 20002FA828 / Dep. legal ppi 201502ZU4642

Tratamiento de efluentes de una industria procesadora de harina mediante coagulación- floculación

Sedolfo Carrasquero*¹, Roselyn Cordero¹, Marielba Mas y Rubí¹, Luis Vargas²

¹ *Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (DISA), Escuela de Ingeniería Civil, Universidad del Zulia, Maracaibo, Estado Zulia. Venezuela*

² *Centro de Investigación del Agua (CIA), Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Maracaibo, Estado Zulia. Venezuela*

scarrasquero@fing.luz.edu.ve

Resumen

Se evaluó la eficiencia de un tratamiento de coagulación, floculación y sedimentación, utilizando los coagulantes: sulfato de aluminio (SA), cloruro de calcio (CC) y bentonita (BT) como coadyuvante. Este estudio se realizó utilizando efluentes provenientes de una industria procesadora de harina de trigo. Los tratamientos se llevaron a cabo mediante la realización de corridas exploratorias con dosis de coagulantes que oscilaron entre 20 y 500 mg/L. El experimento se condujo mediante un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos (SA, CC, SA+BT, CC+BT). El tratamiento con SA+BT permitió alcanzar una remoción de turbidez y color de 99,5 y 95,7%, utilizando como dosis óptima de coagulante, 80 mg/L, mientras que el tratamiento con CC+BT permitió alcanzar una remoción de turbidez y color de 99,6 y 88,6%, utilizando como dosis óptima de coagulante 150 mg/L, evidenciándose una disminución en la dosificación del coagulante debido a la acción de la bentonita.

Palabras clave: aguas residuales; coagulación-floculación; procesadora de harinas; tratamiento fisicoquímico.

Wastewater treatment of a flour processing industry by coagulation-flocculation

Abstract

The efficiency of physicochemical treatment of coagulation, flocculation, and sedimentation was evaluated, using coagulants as aluminum sulphate (AS), calcium chloride (CC) and bentonite (BT) as adjuvant. This study was carried out using wastewater from a processing wheat flour industry. The treatments were carried out by performing exploratory runs with coagulant dose ranging between 20 and 500 mg/L. The experiment was conducted using a completely randomized design with four treatments (AS, CC, AS + BT, CC + BT). The treatment with AS + BT enabled achieving color and turbidity removal 99.5 and 95.7%, using optimal coagulant dose of 80 mg/L, whereas the CC + BT treatment allowed to reach a removal turbidity and color of 99.6 and 88.6%, using as the optimal dose of coagulant 150 mg/L, showing a decrease in the dosage of the primary coagulant due to the action of bentonite.

Keywords: coagulation-flocculation; flour processing industry; physicochemical treatment; wastewater.

Introducción

Las aguas residuales procedentes de las industrias procesadoras de harina se caracterizan por presentar concentraciones de sólidos totales y materia orgánica que sobrepasan los límites establecidos por la normativa venezolana para la descarga en cuerpos de agua, contemplados en el Decreto 883 [19]. Una cantidad excesiva de sólidos es peligrosa para los peces y otras formas de vida acuática por la obstrucción de los órganos respiratorios (branquias), reducción de la intensidad de la radiación luminosa y modificación de las cadenas alimenticias [18]. De igual manera, este tipo de efluentes suele presentar una baja relación de biodegradabilidad ($DBO_{5,20}/DQO_T$), por lo que requiere de la utilización de procesos fisicoquímicos para su tratamiento.

Los procesos de coagulación y floculación son una parte importante del tratamiento de aguas residuales. La coagulación es el proceso de acondicionamiento de partículas suspendidas para promover su aglomeración y producir partículas más grandes que pueden ser más fácilmente eliminadas en los procesos de tratamientos posteriores [25]. La floculación conduce a la formación de una estructura más grande que sedimenta con facilidad. Este proceso se utiliza comúnmente para eliminar la materia orgánica en suspensión y el color. Los coagulantes comúnmente utilizados son el sulfato de aluminio, las sales de hierro, las sales de calcio y los policloruros de aluminio [8].

El sulfato de aluminio y el cloruro de calcio son coagulantes utilizados en el tratamiento de aguas residuales industriales, son de fácil manejo, preparación y aplicación [1, 15, 16]. De igual manera, la bentonita es una arcilla natural que posee excelentes propiedades coloidales, de bajo costo y es utilizada como coadyuvante de coagulación en aguas residuales para producir un flóculo más compacto con mayor velocidad de sedimentación y menor dosificación del coagulante primario [4,5].

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la eficiencia de un tratamiento fisicoquímico utilizando coagulantes comerciales de fácil adquisición y dosificación como el sulfato de aluminio, el cloruro de calcio, y la bentonita en un efluente proveniente de una industria procesadora de harina.

Metodología

Muestreo del agua residual

El agua residual industrial proviene de una empresa dedicada a la producción y distribución de harina de trigo ubicada en el Estado Zulia, Venezuela. La captación del efluente se realizó a través de un muestreo aleatorio simple de manera manual tomando el agua residual

de la tanquilla de la empresa en recipientes de plástico limpios con capacidad de 20 y 25 L.

Caracterización del agua residual

La caracterización del efluente se realizó aplicando métodos estandarizados [3]. Los parámetros fisicoquímicos que se midieron en la caracterización fueron los siguientes: pH (4500-H⁺B), DQO (5210-B), DBO_{5,20} (5210-B), turbidez (2130-B), sólidos totales (ST) (2540-B), sólidos suspendidos totales (SST) (2549-D), nitrógeno total Kjeldahl (NTK) (4500-N_{org}B), nitritos (N-NO₂⁻) (4500-B), nitratos (N-NO₃⁻) (4500-E) y alcalinidad total (2320-B).

Montaje y operación del tratamiento fisicoquímico

El tratamiento fisicoquímico se llevó a cabo con el uso del equipo de prueba de jarra, un equipo con un agitador múltiple de seis paletas de velocidad variable (Phipps y Bird Inc, Modelo No. 300), con una mezcladora rápida a 100 revoluciones por minuto (rpm) durante 1 minuto, luego una mezcla lenta a 30 rpm durante 20 minutos y se finalizó el proceso con la fase de sedimentación, en la cual se dejó el agua en reposo durante un lapso de 30 minutos [12, 13]. Después del período de sedimentación, se procedió a captar una muestra del sobrenadante en un punto situado aproximadamente 2 cm por debajo de la parte superior del nivel de líquido de cada vaso de precipitado.

La fase experimental se llevó a cabo en dos etapas con un total de cuatro tratamientos, en la primera etapa se analizó la acción de los coagulantes químicos individuales (sulfato de aluminio y cloruro de calcio), mientras que en la segunda etapa se llevó a cabo la combinación de los coagulantes con la bentonita como coadyuvante.

Determinación de la dosis óptima de los coagulantes

Durante cada experimento se realizaron corridas exploratorias con diferentes dosis de coagulantes, para así conocer la dosis óptima definitiva que permita la obtención de la máxima remoción de los parámetros fisicoquímicos. Los parámetros de control predeterminados para cada tratamiento fueron turbidez,

color y pH. En función a estos resultados, se determinó el resto de las variables fisicoquímicas: DQO y ST.

Preparación de la solución coagulante

a) Sulfato de aluminio y cloruro de calcio

El rango de concentraciones estudiado para el sulfato de aluminio (Scharlau) osciló entre 80 y 200 mg/L, de acuerdo a lo sugerido por Hanan [9], las pruebas fueron llevadas a cabo sin ajustar el pH, ya que el mismo es efectivo en intervalos de 4 a 7 unidades.

El cloruro de calcio (Riedel-de Haën) se dosificó en un rango de concentraciones entre 150-500 mg/L [14] y las pruebas de coagulación se realizaron sin ajustar el pH del efluente. Cabe destacar que la solución madre a partir de la cual fueron agregadas las dosis de los diferentes tipos de coagulantes fue 10% p/v.

b) Bentonita

De acuerdo a estudios previos, los antecedentes permitieron definir que 200 mg/L era la dosis óptima de bentonita, en combinación con las dosis de los coagulantes: cloruro de calcio y sulfato de aluminio, con la finalidad de obtener una menor dosificación del coagulante primario [5].

Diseño experimental.

El experimento se condujo mediante un diseño completamente al azar, con un total de cuatro tratamientos, donde se seleccionó el más eficiente. Los resultados de las remociones de las variables color, turbidez, ST y DQO de las mejores pruebas obtenidas, se compararon mediante un análisis de varianza y separación de medias a través de la prueba de Tukey, utilizando el programa estadístico Statistix versión 8.0.

Resultados y Discusión

Caracterización del efluente proveniente de la industria procesadora de harina

El efluente industrial se caracterizó por presentar un valor promedio de pH de 6,62 unidades (Tabla 1). Dicho valor es similar al reportado por Banuraman *et al.* [7], Harzouli *et al.* [10], Parmar *et al.* [17], y Shabe *et al.* [22], quienes efectuaron con éxito un tratamiento fisicoquímico de coagulación – floculación en aguas

residuales industriales con valores de pH que oscilaron entre 6,00 y 6,90 unidades. Con respecto a los parámetros físicos color y turbidez, el valor promedio obtenido de color aparente fue de 175 UC y de turbidez fue 212 NTU. Shabe *et al.* [22], y Banuraman *et al.* [7], aplicaron un tratamiento fisicoquímico en aguas residuales industriales consideradas de elevada turbiedad, valores promedios de 235 y 207 NTU, respectivamente.

La concentración promedio de materia orgánica biodegradable obtenida durante la caracterización del efluente fue de 157 mg/L, mientras que la concentración de materia orgánica total medida como DQO_T fue 744,50 mg/L. El cociente DBO_{5,20}/DQO_T del efluente de caracterizado fue de 0,21, por lo tanto la biodegradabilidad del efluente industrial es baja de acuerdo al criterio de Ahn *et al.* [2].

La caracterización fisicoquímica del agua residual proveniente de la industria procesadora de harina reflejó que la misma no cumple con la normativa ambiental para descarga a cuerpos de agua y redes cloacales en referencia a los parámetros: DQO, DBO_{5,20}, sólidos totales y sólidos suspendidos totales, por lo que se hace necesario la realización de un tratamiento para que el efluente pueda cumplir la normativa existente [19].

Tabla 1. Características fisicoquímicas del efluente proveniente de la industria procesadora de harina

Parámetro	Unidad de expresión	Valor (media ± DE)	Descarga a cuerpos de agua
pH	---	6,62 ± 0,20	6 - 9
DQO _T	mg/L	744,53 ± 16,84	350
DBO _{5,20}	mg/L	157,50 ± 23,33	60
Turbidez	NTU	212,00 ± 9,90	---
Color aparente	UC-PtCo	175,00 ± 20,00	500
ST	mg/L	1740,0 ± 105,60	---
SST	mg/L	420,00 ± 73,75	80
NT	mg/L	7,41 ± 1,35	40
N-NO ₂ ⁻ + N-NO ₃ ⁻	mg/L	ND	10
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	175,00 ± 35,36	---
PT	mg/L	1,27 ± 0,01	10

DE: desviación estándar, n=3. n= número de mediciones realizadas. ND = no detectable. Limite de detección 1 mg/L

Tratamiento fisicoquímico del efluente de la industria procesadora de harina.

Tratamiento con sulfato de aluminio (T1).

Durante cada una de las corridas se utilizaron dosis aleatorias de coagulante pudiéndose observar que los valores obtenidos oscilaron entre 1,4 y 8,3 unidades nefelométricas de turbidez (NTU) para la turbidez residual y entre 10 y 40 unidades de color Pt-Co (UC) para el color residual, con porcentajes de remoción de color entre 77,1 y 88,6%, mientras que para la remoción de turbidez se observaron pocas fluctuaciones en los porcentajes de remoción obtenidos, los cuales se encuentran en un rango comprendido entre 96,1 y 99,3% (Figura 1 y 2).

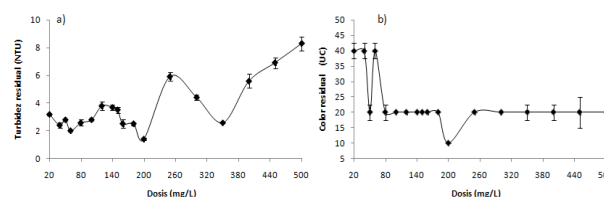


Figura 1. Turbidez residual (a) y color residual (b) con sulfato de aluminio en el tratamiento del efluente de la industria procesadora de harina

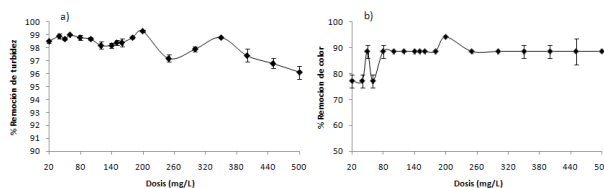


Figura 2. Porcentajes de remoción de turbidez (a) y color (b) con sulfato de aluminio en el tratamiento del efluente de la industria procesadora de harina

Los resultados obtenidos se encuentran cercanos a los reportados por Parmar *et al.* [17], quienes obtuvieron valores de remoción de turbidez de 90% con dosis de sulfato de aluminio que variaron entre 25 a 500 mg/L en el tratamiento de aguas residuales de una industria láctea.

En la Figura 3 se muestra el pH obtenido luego del proceso de coagulación-floculación. Se observa que a medida que se incrementó la dosis de coagulante, el pH disminuyó de 6 unidades hasta 4,8 unidades con dosis que oscilaron entre 0 y 200 mg/L. Song *et al.* [23]

también reportaron una disminución en los valores de pH en aguas residuales de una curtiembre tratadas por coagulación con sulfato de aluminio, en la cual el pH del agua residual disminuyó de 5,1 a 4,5 unidades.

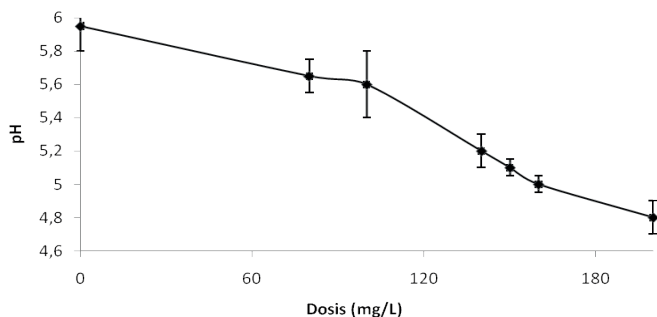


Figura 3. Valores de pH a diferentes dosis de sulfato de aluminio en el tratamiento del efluente de la industria procesadora de harina

Baltazar y Caprari [6] indicaron que los incrementos en las concentraciones de sulfato de aluminio provocan una disminución en los valores de pH debido a la formación de productos de hidrólisis con carga positiva como $[Al(OH)]^{+2}$ y $[Al_8(OH)_{20}]^{+4}$, los cuales se adsorben sobre las partículas cargadas negativamente reduciendo la carga y cambiando su signo.

En este mismo orden de ideas, Romero [20] expone que cuando se adiciona sulfato de aluminio a un agua residual se requieren aproximadamente 0,5 mg/L de alcalinidad por cada mg/L de sulfato de aluminio agregado, cabe destacar que la disminución de pH puede atribuirse a que el efluente no presentó suficiente alcalinidad para neutralizar los ácidos y debido a esto el pH disminuyó drásticamente. La disminución del pH exigiría el suministro de sustancias como hidróxido de sodio, hidróxido de calcio ó carbonato de sodio, con el fin de neutralizar la acidez presente en el agua tratada antes de verterla en el sistema de alcantarillado o descargarla a un cuerpo de agua. Otra opción consiste en ajustar el pH previo al proceso de coagulación para obtener un pH neutro o ligeramente inferior en el efluente [21].

Tratamiento con cloruro de calcio (T2).

En la Figura 4a se muestran los valores de turbidez residual y los porcentajes de remoción de turbidez. Se observó que el mayor porcentaje de remoción de turbidez se obtuvo cuando la dosis fue de 200 mg/L (Figura 5a). Los valores de color residual y los porcentajes de

remoción de color se muestran en las Figura 4b y 5b. Se observa que el mayor porcentaje de remoción de color se obtuvo cuando la dosis fue de 250 mg/L.

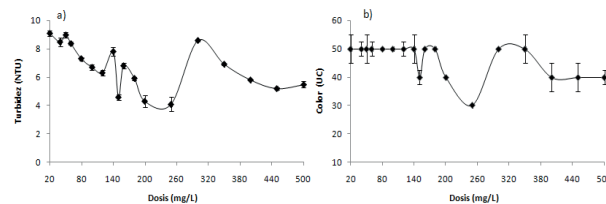


Figura 4. Turbidez residual (a) y color residual (b) con cloruro de calcio en el tratamiento del efluente de la industria procesadora de harina.

Los valores de pH obtenidos luego del proceso de coagulación-floculación se muestran en la Figura 6. Se puede observar que a medida que se incrementó la dosis de coagulante, no hubo una variación significativa en el pH y el mismo se mantuvo estable con dosis que oscilaron entre 0 y 500 mg/L.

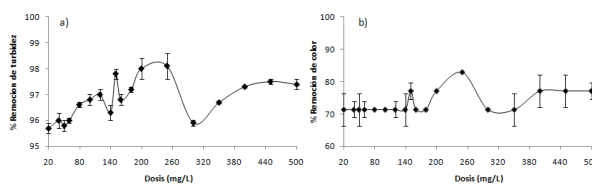


Figura 5. Porcentajes de remoción de turbidez (a) y color (b) con cloruro de calcio en el tratamiento del efluente de la industria procesadora de harina.

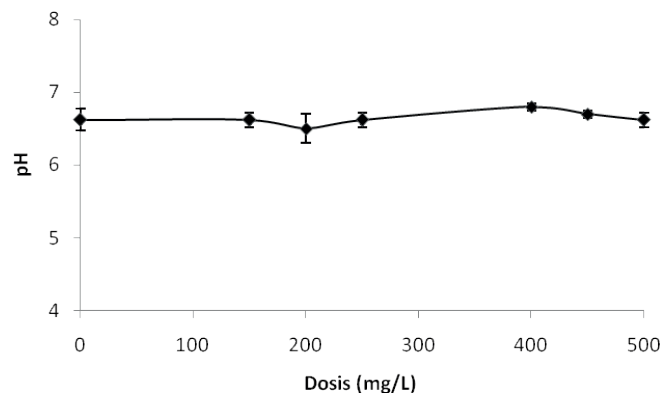


Figura 6. Valores de pH a diferentes dosis de cloruro de calcio en el tratamiento del efluente de la industria procesadora de harina

Tratamiento con sulfato de aluminio + bentonita (T3)

Durante la segunda etapa de la investigación, se aplicó el tratamiento con la arcilla bentonita como coadyuvante, la cual fue utilizada con una dosis fija de 200 mg/L, en la Figura 7 se observa que las concentraciones obtenidas de turbidez residual oscilaron entre 1,6 y 2,2 NTU y entre 10 y 20 UC para el color residual, con un porcentaje de remoción de color entre 88,6 y 94,3%, en cuanto a la remoción de turbidez y al igual que los tratamientos aplicados anteriormente, se observaron variaciones mínimas en los porcentajes de remoción obtenidos, los cuales se encontraron en un rango comprendido entre 99,0 y 99,2% (Figura 8).

Husain *et al.* [11] durante el tratamiento de aguas residuales industriales textiles trabajaron con dosis de sulfato de aluminio que oscilaron entre 0 y 250 mg/L, obteniendo remociones de color de 36% con una dosis de 200 mg/L, al combinar sulfato de aluminio con la arcilla bentonita, la remoción obtenida fue de 67,50% con dosis de bentonita que oscilaron entre 0 y 100 mg/L y una dosis de sulfato de aluminio de 100 mg/L.

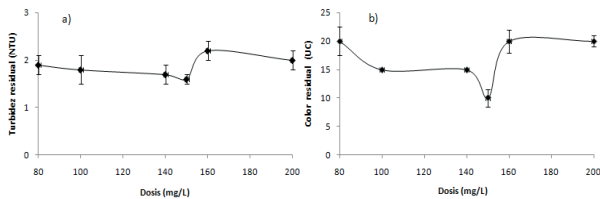


Figura 7. Turbidez residual (a) y color residual (a) porcentaje de remoción con sulfato de aluminio + bentonita en el tratamiento del efluente de la industria procesadora de harina.

A medida que se incrementó la dosis del coagulante, no hubo una variación significativa en el pH y el mismo se mantuvo estable con dosis que oscilaron entre 0 y 200 mg/L, con valores de pH entre 6,1 y 7,0 unidades (Figura 9). Es importante destacar que el efecto que se produce al utilizar bentonita como coadyuvante es un efecto sinérgico positivo en cuanto al pH, ya que no se observó el descenso del pH del tratamiento T1, utilizando sólo sulfato de aluminio. Este fenómeno también fue observado por Husain *et al.* [11], quienes utilizando sulfato de aluminio + bentonita obtuvieron un pH final de 6,6 unidades durante el tratamiento de aguas residuales textiles.

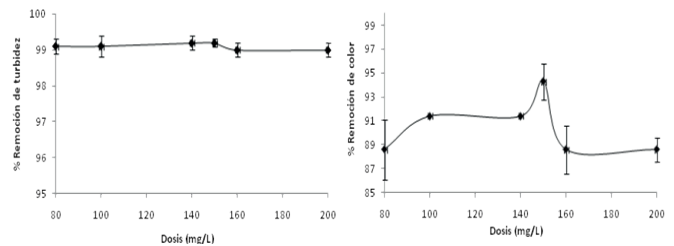


Figura 8. Porcentaje de remoción de turbidez (a) y color (b) con cloruro de calcio en el tratamiento del efluente de la industria procesadora de harina.

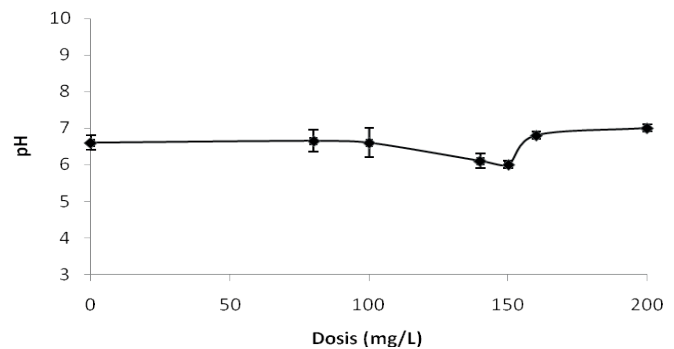


Figura 9. Valores de pH a diferentes dosis de sulfato de aluminio + bentonita en el tratamiento del efluente de la industria procesadora de harina.

Tratamiento con cloruro de calcio + bentonita (T4)

En la Figura 10 se observa que los menores valores del parámetro de control color residual se obtuvieron con dosis entre 150 y 500 mg/L con un porcentaje de remoción de 82,9%. Para las dosis comprendidas entre 200 y 450 mg/L, el porcentaje de remoción de color fue de 77,1%. Al aplicar la bentonita como coadyuvante los valores de turbidez residual fueron menores que los obtenidos cuando se utilizó solo el coagulante cloruro de calcio, alcanzando porcentajes de remoción alrededor del 98% y una disminución en la dosis de coagulante primario a aplicar (Figura 11).

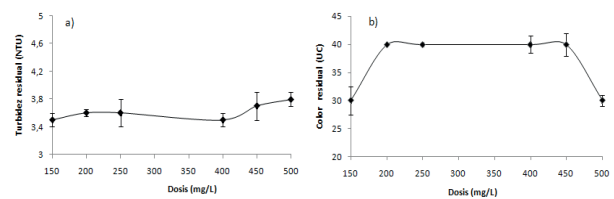


Figura 10. Turbidez residual (a) y color residual (b) con cloruro de calcio + bentonita en el tratamiento del efluente de la industria procesadora de harina.

En la Figura 12 se observa que a medida que la dosis de coagulante se incrementaba el pH no variaba y se mantuvo constante con valores de pH cercanos a 6,5 unidades. Resultados similares fueron obtenidos por Vanerkar *et al.* [24], quienes obtuvieron un pH de 6,7 unidades utilizando óxido de calcio + polielectrolito aniónico y catiónico durante el tratamiento de aguas residuales del procesamiento de alimentos.

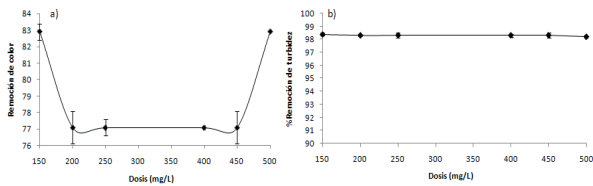


Figura 11. Porcentaje de remoción de turbidez (a) y color (b) con cloruro de calcio + bentonita en el tratamiento del efluente de la industria procesadora de harina.

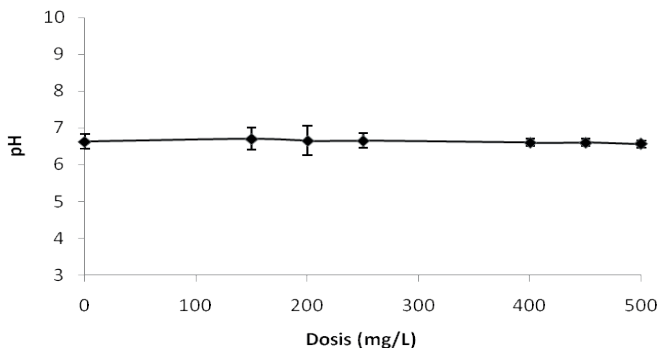


Figura 12. Valores de pH a diferentes dosis de cloruro de calcio + bentonita en el tratamiento del efluente de la industria procesadora de harina.

Comparación de la eficiencia del tratamiento fisicoquímico aplicado

En la Tabla 2 se observa que para el caso del sulfato de aluminio con una dosis óptima de 160 mg/L se obtuvo una concentración de DQO residual de 75,0 mg/L, siendo este el que generó la menor concentración de DQO. Para el tratamiento con cloruro de calcio la concentración de DQO fue de 252,5 mg/L.

Al combinar cada uno de los coagulantes con la bentonita como coadyuvante, se registró una concentración de DQO residual de 84,1 mg/L para el tratamiento con cloruro de calcio + bentonita, seguido del sulfato de aluminio con concentraciones de 278,7 mg/L.

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos obtenidos luego del tratamiento del efluente de la industria procesadora de harina. (Valor \pm desviación estándar, n=3)

Tratamiento	Dosis (mg/L)	DQO Residual (mg/L)	Color Residual (UC)	Turbidez Residual (NTU)
$Al_2(SO_4)_3$	160	75,0 \pm 6,0	25 \pm 5	3,2 \pm 0,2
$CaCl_2$	250	252,5 \pm 20,3	25 \pm 2,5	2,6 \pm 0,5
$Al_2(SO_4)_3$ + Bentonita	80	278,7 \pm 12,4	15 \pm 2,5	1,4 \pm 0,2
$CaCl_2$ + Bentonita	150	84,1 \pm 10,5	30 \pm 5	5,2 \pm 0,1

En la Tabla 3 se presentan los porcentajes de remoción de color, turbidez, DQO_T y sólidos totales. Del análisis estadístico realizado, se observó que al comparar el desempeño de los coagulantes individuales, el tratamiento con sulfato de aluminio presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) en la remoción de los parámetros fisicoquímicos (DQO y sólidos totales), siendo en este caso el sulfato de aluminio el coagulante que más remueve DQO con 89,9 %.

Tabla 3. Porcentajes de remoción del tratamiento del efluente de la industria procesadora de harina. (Valor \pm desviación estándar, n=3)

Tratamientos	Dosis (mg/L)	% Remoción			
		Color	Turbidez	DQO _T	Sólidos Totales
$Al_2(SO_4)_3$	160	85,7 \pm 7,1 ^b	98,5 \pm 1,0 ^a	89,9 \pm 0,02 ^a	34,5 \pm 0,0 ^a
$CaCl_2$	250	85,7 \pm 7,1 ^b	98,8 \pm 2,1 ^a	66,1 \pm 0,1 ^c	20,1 \pm 0,0 ^c
$Al_2(SO_4)_3$ + Bentonita	80	91,4 \pm 7,1 ^a	99,4 \pm 0,8 ^a	62,6 \pm 0,06 ^d	35,6 \pm 1,5 ^a
$CaCl_2$ + Bentonita	150	82,9 \pm 0,0 ^c	97,5 \pm 5,2 ^b	88,7 \pm 0,07 ^b	22,7 \pm 0,0 ^b

Nota: Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Conclusiones

El rango estudiado de concentración del sulfato de aluminio (80 – 200 mg/L) y el cloruro de calcio (150 – 500 mg/L) permitió alcanzar un porcentaje de remoción de turbidez de 99,6 y 99,7% para una turbiedad inicial de 212 NTU y un porcentaje de remoción de color de 95,7 y 88,6 %, utilizando como dosis óptima de coagulante 160 mg/L y 250 mg/L, respectivamente.

El tratamiento con sulfato de aluminio ocasionó una disminución del pH del agua residual tratada que exigiría un suministro de sustancias alcalinizantes como

con el fin de neutralizar la acidez presente en el agua tratada antes de verterla en el sistema de alcantarillado o descargarla a un cuerpo de agua.

El tratamiento con sulfato de aluminio + bentonita permitió alcanzar una remoción de turbidez y color de 99,5 y 95,7%, utilizando como dosis óptima de coagulante 80 mg/L, mientras que el tratamiento con cloruro de calcio + bentonita permitió alcanzar una remoción de turbidez y color de 99,6 y 88,6%, utilizando como dosis óptima de coagulante de 150 mg/L, evidenciándose una disminución en la dosificación del coagulante primario debido a la adición de la bentonita.

En cuanto a la remoción simultánea de los parámetros evaluados, el tratamiento fisicoquímico que produjo mejores resultados fue cuando se utilizó cloruro de calcio + bentonita obteniéndose una remoción de color de 82,9%, de turbidez de 97,5%, de DQO de 88,7%, de ST de 22,7% y un pH de 6,5 unidades.

Referencias

- [1] ADIN, A; SOFFER, Y; BEN, R (1998). Effluent pretreatment by iron coagulation applying various dose pH combinations for optimum particle separation. En: **Water Science and Technology**. 38(6): 27-34.
- [2] AHN, D; CHANG, W; YOON, T (1999). Dyestuff wastewater treatment using chemical oxidation, physical adsorption and fixed bed biofilm process. En: **Process Biochem**. 34:429-439.
- [3] AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). (2005). En: **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 21th Edition, American Public Health Association 1015 Fifteenth street, N.W. Washington, D.C. USA.
- [4] AWAD, M; LI, F; HONGTAO, W (2013). Application of natural clays and poly aluminium chloride (PAC) for wastewater treatment. En: **College of Environmental Sciences and Engineering**. 15(2): 287-291.
- [5] AYGUN, A; YILMAZB, T (2010). Improvement of Coagulation-Flocculation Process for Treatment of Detergent Wastewaters Using Coagulant Aids. En: **International Journal of Chemical and Environmental Engineering**. 1, (2): 99-101.
- [6] BALTAZAR, J; CAPRARI, J (2004). Efectividad del sulfato de aluminio, sulfato ferroso y polielectrolito catiónico sobre el tratamiento de efluentes de plantas de pintura. En: **Ingeniería Sanitaria y Ambiental (Buenos Aires)**. 74: 76-81.
- [7] BANURAMAN, S; MEIKANDAN, T (2013). Treatability study of tannery effluent by enhanced primary treatment. En: **International Journal of Modern Engineering Research**. 3(1): 119-122.
- [8] DE WOLFE, J; DEMPSEY, B; TAYLOR, M; POTTER, J (2003). En: **Guidance Manual for Coagulant Changeover**. American Water Works Association Press, Denver.
- [9] HANAN, A (2009). Upgrading of Wastewater Treatment Plant by the Use of Coagulation Flocculation Process. En: **Ain Shams Journal of Civil Engineering Egypt**. 2:57-63.
- [10] HAZOURLI, S; ZIATI, M; BENREDJEM, Z; DELIMI, R; BOUDIBA, L (2012). Analysis of wastewater loaded with paint before and after treatment of coagulation-flocculation. En: **Arabian Journal for Science and Engineering**. 37, 897-903.
- [11] HUSAIN, A; SAINI, P; JAVED, I (2013). Physico-chemical treatment of textile mill dye waste by coagulation & flocculation using alum with bentonite clay. En: **Journal of Chemical and Pharmaceutical Research**. 5, (2): 70-73.
- [12] KOOHESTANIAN, A; HOSSEINI, M; ABBASIAN, Z (2008). The Separation Method for Removing of Colloidal Particles from Raw Water. En: **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences**. 4, (2): 266-273.
- [13] MATTEI, M; GUIDA, M; DELLA ROCCA, C; MELLUSO, G; MERIC, S (2005). Optimization of alum-coagulation/flocculation for COD and TSS removal from five municipal wastewater. En: **International Journal on the Science and Technology of Desalting and Water Purification**. 21(1-3): 113-127.
- [14] MAZUMDER, D; MUKHERJEE, S (2011). Treatment of automobile service station wastewater by coagulation and activated sludge process. En: **International Journal of Environmental Science and Development**. 2 (1): 64-69.
- [15] ORESCANIN, V; KOLLAR, R; NAD, K; LOVRENCIC, I; MIKULIC, N (2012). Boat pressure washing wastewater treatment with calcium oxide and/or ferric chloride. En: **Arh Hig Rada Toksikol**. 63, 21-26.
- [16] ORORI, B; ETIÉGNI, L; RAJAB, M; OFOSU-ASIEDU, K; SITUMA, M (2005). Decolorization of a pulp and paper mill effluent in Webuye Kenya by a combination of electrochemical and coagulation methods. En: **Pulp and Paper Canada**. 106, (3): 21-26.
- [17] PARMAR, N; UPADHYAY, K (2013). Treatability Study of Pharmaceutical Wastewater by Coagulation Process.

- En: **International Journal of Chem Tech Research**. 5(5): 2278-2283.
- [18] RAMOS, R; SEPÚLVEDA, R; VILLALOBOS, F (2003). En: **El agua en el medio ambiente, muestreo y análisis**. Editorial Plaza y Valdés. Primera Edición.
- [19] REPÚBLICA DE VENEZUELA (1995). Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 5.021 E. En: **Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos..** Caracas, 18-12-1995.
- [20] ROMERO, J (2010). En: **Tratamiento de aguas residuales**. Tercera Edición. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- [21] RUBÍ, H; FALL, C; ORTEGA, R (2009). Pollutant removal from oily wastewater discharged from car washes through sedimentation-coagulation. En: **Water Science & Technology**, 59 (12): 2359-2369
- [22] SHABE, K; SALAH, S; JANBI, M (2011). Coagulation-flocculation process to treat pulp and paper mill wastewater by enugreek mucilage coupled with alum and polyaluminum chloride. En: **Al-Khwarizmi Engineering Journal**. 7, (3): 39-47.
- [23] SONG, Z; WILLIAMS, C; EDYVEAN, R (2004). Treatment of tannery wastewater by chemical coagulation. En: **Desalination**. 164, (3): 249-259.
- [24] VANERKAR, A; SATYANARAYAN, S; SATYANARAYAN, S (2013). Treatment of Food Processing Industry Wastewater by a Coagulation/Flocculation Process. En: **International Journal of Chemical and Physical Sciences**. 2, 63-72.
- [25] WANG, Y; GAO B; XU, X; XU, W; XU, G (2009). Characterization of floc size, strength and structure in various aluminum coagulants treatment. En: **Journal of Colloid and Interface Science**. 33(2): 354-359.



UNIVERSIDAD
DEL ZULIA

Multiciencias

Vol 15, N° 3

Edición por el Fondo Editorial Serbiluz.

Publicada en septiembre de 2015.

Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela

www.luz.edu.ve

www.serbi.luz.edu.ve

produccioncientifica.luz.edu.ve