



## ORIGINAL ARTICLE /ARTÍCULO ORIGINAL

### TEXTILE EFFLUENT TREATMENT BY COAGULATION-FLOCCULATION USING STARCH OF *TRITICUM AESTIVUM* L. AS AID IN THE PROCESS

### TRATAMIENTO DE EFLUENTES TEXTILES POR COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN UTILIZANDO ALMIDÓN DE *TRITICUM AESTIVUM* L. COMO AYUDANTE DEL PROCESO

Giovani Alatrística G<sup>1</sup>, Ana Sofía Quiroz Barrios<sup>1</sup> & Mary Butrón Sevillano<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de energía y medio ambiente (IEM), Universidad Católica San Pablo (UCSP), Quinta Vivanco s/n, Urb. Campiña Paisajista, Arequipa, Perú  
e-mail: iem@ucsp.edu.pe

The Biologist (Lima), 13(2), jul-dec: 297-312.

## ABSTRACT

Textile effluents from Franky & Ricky S.A (Arequipa-Peru) were treated using coagulation-flocculation process by the two commercial agents Perifloc and  $Al_2(SO_4)_3$ , and *Triticum aestivum* L. starch as an aid of the process. The treatment capacity was determined by the degree of removal of Chemical Oxygen Demand (COD), Biological Oxygen Demand ( $BOD_5$ ), Total Suspended Solids (TSS), pH, and light absorbance (Coloration level). Due to the variance of textile effluent COD,  $BOD_5$ , TSS and coloration, two different optimal doses were established for effluents with high and low coloration of dyes, being 18 and 12  $mg \cdot L^{-1}$  for Perifloc, and 150 and 50  $mg \cdot L^{-1}$  for  $Al_2(SO_4)_3$ , respectively. The use of *T. aestivum* starch showed good ability to support textile treatment process effluents when applied to half of the optimal dose of Perifloc at 0.5  $g \cdot L^{-1}$  for the case of effluents with high loading dye and 0.05  $g \cdot L^{-1}$  for low load, achieving good characteristics treated effluent for discharge to sewer systems according to the MPVs; however, good results were not achieved in its implementation over half of the optimal dose of the agent  $Al_2(SO_4)_3$ , being positive for treating effluents with low load dye effects, only achieving a minimum level of aid applied 0,05  $g \cdot L^{-1}$  starch about half the optimal dose (150  $mg \cdot L^{-1}$ ) corresponding to the treatment of effluents with high load textile dye.

**Keywords:** Alumin, Coagulation, Flocculation, Polyamines, Starch, Textil effluent, *Triticum aestivum*.

## RESUMEN

Se trataron efluentes textiles procedentes de la empresa Franky y Ricky S.A. (Arequipa-Peru) por procesos de coagulación-floculación utilizando los agentes comerciales Perifloc y  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  y almidón de *Triticum aestivum* L. como ayudante del proceso. Se determinó la capacidad de tratamiento mediante la determinación del grado de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO), Demanda bioquímica de oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ), Sólidos suspendidos totales (SST), pH, temperatura y absorbancia de luz (grado de coloración). Debido a las variación de DQO,  $\text{DBO}_5$ , SST y absorbancia de los efluentes textiles, se establecieron dosis óptimas de aplicación de los agentes coagulantes-floculantes para el tratamiento de efluentes con alta y baja carga de colorantes, siendo 18 y 12  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  las dosis para Perifloc, y 150 y 50  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  para  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , respectivamente. El uso de almidón de *T. aestivum* mostró buena capacidad de ayuda de proceso de tratamiento de efluentes textiles al ser aplicados sobre la mitad de la dosis óptima de Perifloc en dosis de 0,5  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  para el caso de efluentes con alta carga de colorantes y 0,05  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  para los de baja carga, logrando obtener efluentes tratados con buenas características para su descarga a los sistemas de alcantarillado según los VMAs; sin embargo, no se lograron buenos resultados en su aplicación sobre la mitad de la dosis óptima del agente  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , no teniendo efectos positivos para tratar efluentes con baja carga de colorantes, solo logrando un grado mínimo de ayuda al aplicar 0,05  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  de almidón sobre mitad de la dosis óptima (150  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) correspondiente para el tratamiento de efluentes textiles con alta carga de colorantes.

**Palabras clave:** Almidón, Alúmina, Coagulación, efluente textil, Floculación, poliaminas, *triticum aestivum*.

## INTRODUCCIÓN

Los efluentes de industria textil generalmente contienen compuestos inorgánicos de baja capacidad de degradación (Ding *et al.* 2010); Estos compuestos llegan al agua durante el proceso de teñido debido a que no todos los tintes aplicados se fijan a las fibras, lo cual sumado a los posteriores procesos de enjuague elevan la carga de tales compuestos en los efluentes (Moustafa 2008). El tratamiento de efluentes por Coagulación-Floculación es una de las alternativas más utilizadas en el tratamiento fisicoquímico de efluentes textiles, se reportan eficiencias de hasta 80 %, siendo los puntos de control clave el proceso de mezcla, formación de coágulos, flóculos y el proceso de sedimentación, para lo cual, un buen diseño de planta y pre-tratamiento de efluentes proyectan buena capacidad de remoción de agentes contaminantes (Laines *et al.* 2008, Véliz *et al.* 2010). Los agentes más

utilizados en el proceso de coagulación-floculación son las sales metálicas tales como el sulfato de aluminio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ), cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) y sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ), siendo el sulfato de aluminio el más utilizado en procesos de tratamiento de efluentes y también en la potabilización de agua (Arboleda 1983). Este compuesto al disociarse en agua sufre una serie de reacciones con los iones alcalinos presentes, formando iones complejos, polímeros e hidróxido de aluminio insoluble, los cuales pueden ser adsorbidos por las partículas coloidales suspendidas en el agua produciendo la desestabilización de sus cargas y favoreciendo la sedimentación de las mismas (Martinez 2003).

Otros agentes de coagulación-floculación utilizados son los polímeros poli-electrolitos de diferentes pesos moleculares y diferentes grupos funcionales; de acuerdo a la literatura y datos sobre de los productos con propiedad poli electrolítica, la mejor opción para el

tratamiento se exhibe en los materiales obtenidos derivados de almidón, poliacrilamidas y poliaminas, debido a que su amplia superficie permite la adsorción de sustancias problema de un extremo al otro de la molécula (Bajdur 2001).

Los ayudantes de floculación-coagulación no son exactamente agentes con acción floculante-coagulante y actúan de tal forma que sus moléculas son afines a la de la sustancia problema, dando mayor densidad a los coágulos generados al aplicar el agente floculante-coagulante, permitiendo de esta manera la formación de flóculos más pesados y densos que van a captar más sustancia problema y van a sedimentar con más rapidez permitiendo así un menor requerimiento de altura en los sedimentadores, menor tiempo de retención y menor cantidad de agente coagulante-floculante a utilizar (Kowal 1996, Graj 1994, Campos & Di Bernardo 1991).

Son diversos los coagulantes naturales de origen vegetal (almidones de papa, cactus, maíz, trigo y yuca) que han sido utilizados en la clarificación del agua por procesos de potabilización (Campos & Di Bernardo 1991); debido a las propiedades coagulantes de estos compuestos naturales, pueden ser aplicados como ayudantes en procesos de coagulación-floculación de efluentes industriales. El uso de estos materiales de origen natural en la clarificación de agua superficial turbia no es una idea reciente, las escrituras en sánscrito procedentes de la India y fechadas varios siglos antes de Cristo, hacen la referencia de las semillas del árbol nirmali (*Strychnos potatorum* Linn.) utilizadas hace 4000 años para clarificar aguas pluviales turbias (Adinolfi *et al.* 1994); en Perú, el agua se ha clarificado tradicionalmente con la savia mucilaginoso de “pencas” obtenidas de ciertas especies de cactáceas (Kirchmer 1975). Jahn (1979) describe que en varios países de África (Chad, Nigeria, Sudán y Túnez) los aldeanos añaden plantas nativas al agua para beber con el fin de

reducir la turbiedad, los olores y los sabores desagradables. Otros estudios de coagulación-floculación que involucran el empleo de coagulantes de origen vegetal están orientados al tratamiento de efluentes industriales, como el realizado por Beltrán (2009), quien empleo dos agentes coagulantes naturales basados en taninos y extracto de semilla de *Moringa oleifera* Lam., ambos agentes demostraron altas eficiencias de remoción de colorantes sintéticos, aunque sugirieron que la concentración del colorante es un factor clave en el desempeño del proceso de coagulación-floculación.

Franky y Ricky S.A. es una empresa textil que genera en promedio 150 m<sup>3</sup> de efluentes·día<sup>-1</sup>, los cuales se caracterizan por la presencia de altas concentraciones de azocolorantes, sales disueltas, materia orgánica y pHs altos; estos efluentes tienen baja capacidad de ser biodegradados debido a su alta demanda química de oxígeno (DQO) (sobre los 2000 mg·L<sup>-1</sup>) debido a la presencia de compuestos recalcitrantes como los azo-colorantes, los cuales debido a su compleja estructura molecular son muy difíciles de degradar por actividad enzimática oxidante de sistemas tradicionales de tratamientos microbianos. Esta empresa cuenta con un sistema de tratamiento basado en el proceso de coagulación-floculación, en el cual se vienen llevando estudios de optimización de su proceso de tratamiento de aguas residuales; por tal motivo, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el tratamiento de sus efluentes textiles por coagulación-floculación utilizando almidón de *Triticum aestivum* L. como ayudante del proceso.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Muestra de efluente textil

La toma de muestras se llevó a cabo del punto de salida de efluente textil de la planta de

procesos textiles de la empresa Franky y Ricky S.A. ubicada en el parque industrial de la ciudad de Arequipa. Este punto de muestreo se encuentra ubicado antes de la disposición de los efluentes al sistema de tratamiento de efluentes industriales ubicado también en las instalaciones de la empresa. Las muestras se tomaron con intervalos de dos h durante todo el horario de trabajo (6.00 am- 8.00 pm); *in situ* se midió pH y temperatura de los efluentes mediante un pHmetro marca Hanna y se almacenaron a 4°C para su traslado a laboratorio para los ensayos de coagulación-floculación y análisis fisicoquímico.

#### **Agentes de floculación-coagulación**

Con el fin de conocer la dosis óptima de aplicación en los efluentes muestreados, se realizó la prueba de Jarras utilizando un agitador de paleta controlable de 10-1000 rpm (CAT) con dos agentes comerciales utilizados en los procesos de coagulación-floculación: sulfato de aluminio (Merck) y perifloc (TextilChemie Dr. Pretze GMBH); en el caso del primero que es un floculante con características iónicas, se preparó una solución stock de 1000 ppm; en el caso de perifloc, que es un derivado de poliaminas, se preparó una solución stock del 50% v/v.

#### **Ayudante de coagulación**

Para las pruebas de estimación de efecto del ayudante biológico, se preparó una solución madre de almidón de trigo de 50 g·L<sup>-1</sup>, a la cual se agregó hidróxido de sodio hasta llegar a una concentración del 2% con el fin de hidrolizar las moléculas de almidón. Esta preparación se almacenó a 4°C hasta el momento de su uso.

#### **Ensayos de coagulación-floculación**

Para la determinación de dosis óptima de coagulante-floculante, se realizó la prueba de jarras en base a los lineamientos de Matiz (2009), lo cual consistió en una mezcla rápida inicial a 150 rpm por un min de 1 L de muestra compuesta de efluente textil, a la cual se añadió el agente coagulante-floculante en las dosis

indicadas en Tablas 1 y 2; después de esta etapa, se llevó la muestra a agitación lenta (35 rpm) por 15 min, con el fin de formar coágulos que consecuentemente formaron flóculos; para finalizar, se dejó la muestra reposar para dejar sedimentar los flóculos formados. Para los ensayos con ayudante de coagulación, en las tablas 1 y 2 se indican las dosis utilizadas, las cuales fueron añadidas al efluente 30 seg después de aplicada la mitad de dosis óptima de coagulante-floculante en el proceso de mezcla rápida a 150 rpm.

#### **Análisis fisicoquímico**

Según la APHA (2005), se determinó en laboratorio la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos (SST) y grado de decoloración de las muestras obtenidas del punto de descarga de efluentes de la planta de procesos textiles de la empresa Franky y Ricky S.A., y de las muestras tratadas por el proceso de coagulación-floculación. Para la determinación del grado de decoloración, se midió la absorbancia a 565 nm mediante un espectrofotómetro marca UNICO<sup>K</sup>.

#### **Diseño experimental**

Mediante un diseño experimental factorial aleatorizado de las variables agente coagulante-floculante y carga de colorantes en efluentes textiles, se determinó la dosis óptima de los dos agentes coagulantes floculantes (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) y Perifloc, posteriormente, con el fin de determinar el grado de ayuda por almidón de *T. aestivum* en el tratamiento de los efluentes textiles por coagulación-floculación, se llevó a cabo un diseño experimental factorial que tuvo como factores a la aplicación de almidón, los dos agentes de coagulación-floculación (mitad de dosis óptima) y los efluentes con alta y baja carga de colorantes; para ambos diseños, se trabajó con tres replicas por dosis y se realizó una comparación múltiple de Tukey mediante el software STATISTICA (versión 10.0).

**Tabla 1.** Estimación de dosis optima de Perifloc y almidón de trigo a ph 10 y temperatura de 21°C.

<b>Floculante-coagulante</b>	<b>Masa floculante mg·L<sup>-1</sup></b>	<b>Masa de ayudante biológico g·L<sup>-1</sup></b>
Perifloc	0	-
Perifloc	3	-
Perifloc	6	-
Perifloc	9	-
Perifloc	12	-
Perifloc	15	-
Perifloc	18	-
Perifloc	½ dosis optima	0,05
Perifloc	½ dosis optima	0,1
Perifloc	½ dosis optima	0,2
Perifloc	½ dosis optima	0,5
Perifloc	½ dosis optima	1
Perifloc	½ dosis optima	1,5

**Tabla 2.** Estimación de dosis optima de Sulfato de Aluminio y almidón de trigo a ph 10 y temperatura de 21°C.

<b>Floculante-coagulante</b>	<b>Masa floculante mg·L<sup>-1</sup></b>	<b>Masa de ayudante biológico g·L<sup>-1</sup></b>
Sulfato de Aluminio	0	-
Sulfato de Aluminio	2,5	-
Sulfato de Aluminio	5	-
Sulfato de Aluminio	10	-
Sulfato de Aluminio	15	-
Sulfato de Aluminio	20	-
Sulfato de Aluminio	50	-
Sulfato de Aluminio	150	-
Sulfato de Aluminio	½ dosis optima	0,05
Sulfato de Aluminio	½ dosis optima	0,1
Sulfato de Aluminio	½ dosis optima	0,2
Sulfato de Aluminio	½ dosis optima	0,5
Sulfato de Aluminio	½ dosis optima	1
Sulfato de Aluminio	½ dosis optima	1,5

## **RESULTADOS**

El efecto de almidón de Trigo como ayudante en el proceso de Coagulación-floculación en efluentes textiles se evaluó utilizando Perifloc

y  $Al_2(SO_4)_3$  como agentes principales de dicho proceso. Se presentan los resultados de estimación de dosis óptima de los agentes mencionados, de forma independiente, de los cuales se tomó la mitad de dosis óptima y se realizaron las pruebas con almidón de trigo; las

variables respuesta fueron el % de remoción de color, % remoción de DQO, % remoción de DBO<sub>5</sub>, % remoción de SST y variación de pH.

### Caracterización de efluente textil

En la tabla 3 se presenta la caracterización de muestras compuestas de efluentes textiles y los Valores máximo permisibles (VMA) establecidos por D.S. N° 021-2009 en el

ámbito Peruano; debido a que el grado de coloración y tipo de colorantes presentes en los efluentes varió de un día al otro, las pruebas se realizaron con efluentes procedentes de actividades de teñido con alta y baja carga de colorantes (cualitativamente oscuros y claros), determinándose el grado de coloración mediante absorbancia a 565 nm.

**Tabla 3.** Caracterización fisicoquímica de efluentes de procesos textiles de la empresa Franky y Ricky. \* = los Valores máximo permisibles (VMA) establecidos por D.S. N° 021-2009 en el ámbito Peruano.

Parámetro	Efluente textil baja carga de colorantes	Efluente textil alta carga de colorantes	VMA aguas residuales no domestica*
Absorbancia (565 nm)	0,233-0,332	1,018-1,259	-
T°	40°C	40°C	<35°C
pH	9,7	10,8	6-9
DBO <sub>5</sub>	350 mg/L	420 mg/L	500 mg/L
DQO	1200 mg/L	1570 mg/L	1000 mg/L
SST	1100 mg/L	980 mg/L	500 mg/L

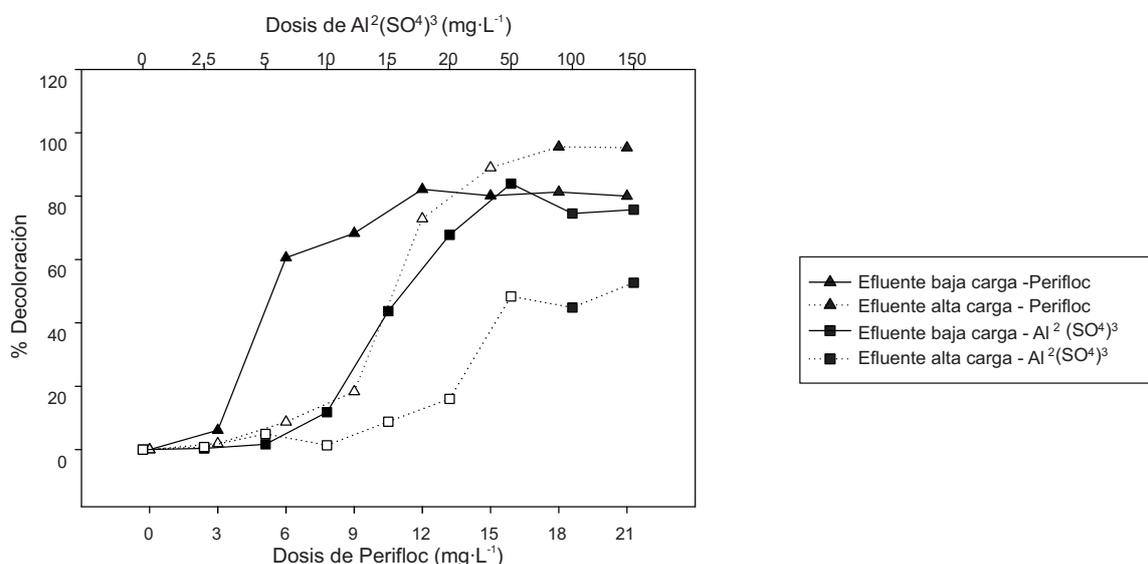
De la presente determinación, se evidencia que los valores de pH, DQO y SST para ambos tipos de efluentes excedieron los VMAs, lo cual indica que es un efluente de malas características para descarga directa al sistema de alcantarillado.

### Remoción de color

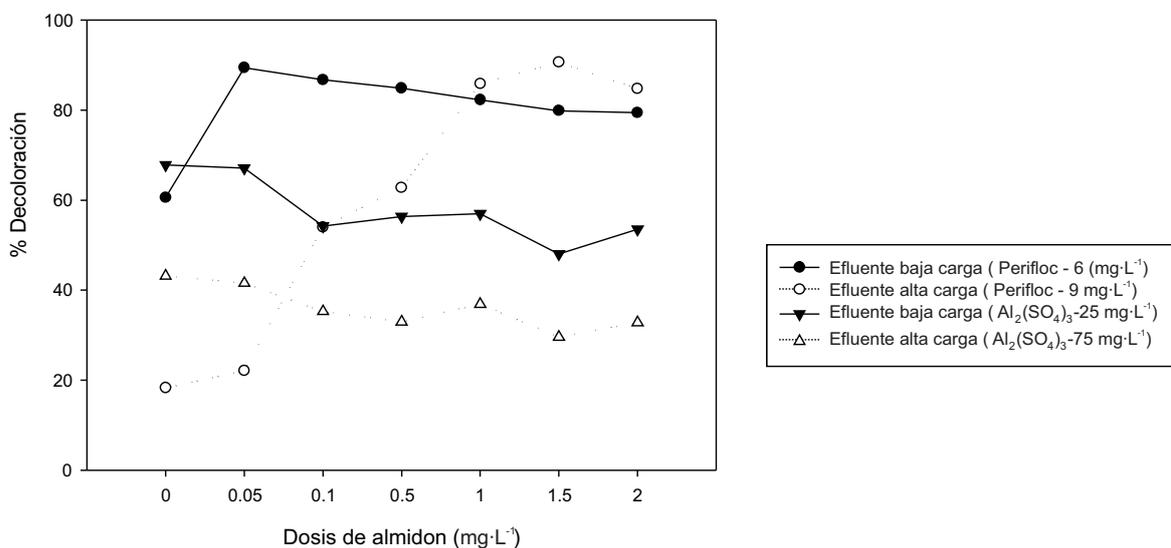
La Figura 1 muestra los porcentajes de remoción de coloración de los efluentes textiles con baja y alta carga de colorantes por los agentes de coagulación-floculación Perifloc y Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>. Se observa que los agentes pudieron remover la coloración en efluentes

de baja carga en un aproximado de 82% utilizando una dosis de 12 mg·L<sup>-1</sup> de perifloc, y para el caso de efluente de alta carga, se obtuvo un valor aproximado de 89% por una dosis de 18 mg·L<sup>-1</sup> del mismo agente.

En la Figura 1 también se observa el efecto de Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> en la remoción de color, mostrando valores aproximados de 83% al aplicar una dosis de 50 mg·L<sup>-1</sup> para efluentes de baja carga de colorantes y un aproximado de 52 % de remoción por una dosis de 150 mg·L<sup>-1</sup> en efluentes con alta carga de colorantes.



**Figura 1.** Porcentaje de decoloración por aplicación de agente coagulante-floculante poliaminico “Perifloc” en efluente textil con baja y alta carga de colorantes; porcentaje de remoción de color por aplicación de agente de coagulante-floculante  $Al_2(SO_4)_3$  en efluente textil con baja y alta carga de colorantes.



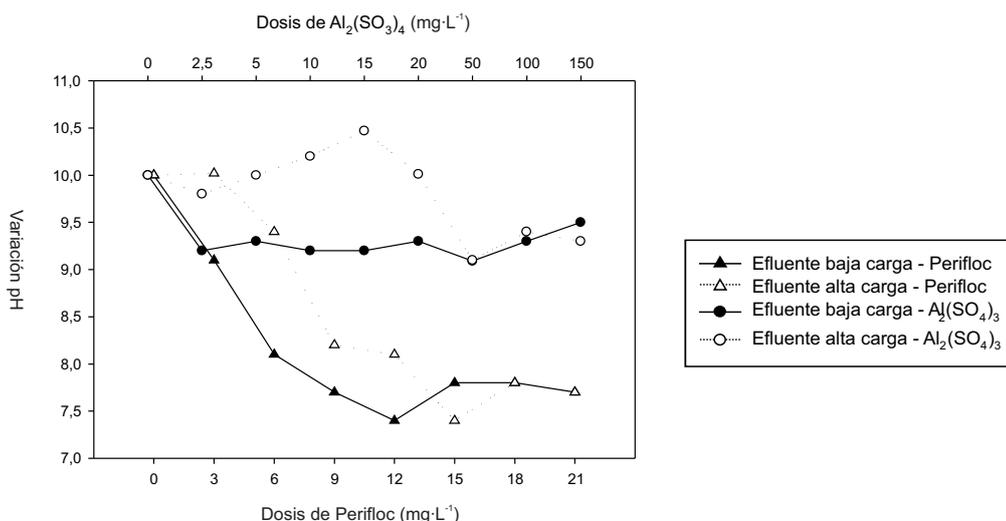
**Figura 2.** Porcentaje de decoloración por aplicación de almidón de trigo sobre media dosis optima de aplicación de Perifloc en efluente textil con baja ( $6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) y alta ( $9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) carga de colorantes; porcentaje de remoción de color por aplicación de almidón de trigo sobre media dosis optima de  $Al_2(SO_4)_3$  en efluente textil con baja ( $25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) y alta ( $75 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) carga de colorantes.

El efecto de almidón de trigo en la decoloración de efluentes textiles como ayudante de coagulación-floculación se muestra en las tablas 4, 5 y Figura 2. Se evidencia el grado de incremento en remoción de color utilizando de 0,1 a 1,5 g·L<sup>-1</sup> del ayudante previamente hidrolizado por Na(OH); para el caso de Perifloc, al aplicar una dosis de 0,1 g·L<sup>-1</sup> de almidón hidrolizado sobre este agente, se produjo un incremento en la remoción de color sobre el efecto de la mitad de dosis de perifloc que mostro mayor grado de remoción en efluentes con baja carga de colorantes (12 mg·L<sup>-1</sup>), llegando hasta un 28,86 % y un incremento en hasta 75,5% de remoción de la mitad de dosis de perifloc que mostró mayor grado de remoción de color en efluentes con alta carga de colorantes (18 mg·L<sup>-1</sup>) al aplicar una dosis de 1 g·L<sup>-1</sup> de ayudante (Tabla 4). La respuesta en remoción de color debido a la aplicación de almidón sobre la mitad de dosis óptima de Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> a comparación de la obtenida sobre perifloc, no muestra un incremento relevante sobre la aplicación de este agente (Tabla 5), obteniéndose valores negativos de ayuda en remoción de color para efluentes con baja carga de colorantes bajo efecto de todas las

dosis de almidón y valores positivos de hasta 25,36 % para efluentes con alta carga de colorantes bajo la aplicación de 1 g·L<sup>-1</sup> de almidón.

### Variación de pH

La variación de pH por efecto de la aplicación de Perifloc y Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> se presenta en la Figura 3; el pH 10 con el cual se realizaron todos los ensayos de coagulación-floculación fue establecido debido a la caracterización inicial de los efluentes textiles (tabla 3). En la Figura 3 se observa que el uso de perifloc tiende a bajar el pH a valores entre 7 y 8 a medida que se incrementa la dosis; en el caso de Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> también se observan cambios pero entre un rango más estrecho, teniendo valores finales de pH de entre 9 y 10,5, estando ligeramente por encima de los VMAs. La variación de pH por efecto de aplicación de almidón hidrolizado sobre los agentes de coagulación-floculación utilizados se presentan en las tablas 4 y 5, teniendo valores de pH final por debajo de los VMAs para el caso del almidón aplicado sobre Perifloc y en el caso de la aplicación de almidón sobre Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> valores de pH ligeramente mayores a lo establecido por los VMAs.



**Figura 3.** Variación de pH por aplicación de agente coagulante-floculante poliaminico “Perifloc” en efluente textil con baja y alta carga de colorantes; Variación de pH de color por aplicación de agente de coagulante-floculante Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> en efluente textil con baja y alta carga de colorantes.

**Tabla 4.** Porcentaje de remoción de color de efluentes textiles por uso de mitad de dosis óptima de agente de coagulación-floculación Perifloc (12 y 18 mg·L<sup>-1</sup>) (pH inicial-10) con almidón.

Dosis Perifloc (mg·L <sup>-1</sup> )	Dosis Almidon de trigo (g·L <sup>-1</sup> )	% remoción de color	% remoción color sobre Dosis de Perifloc	pH final
6,0	0,0	60,57	0 <sup>b</sup> ± 13.97	8,1
6,0	0,05	89,42	28,86 <sup>a</sup> ± 2.58	8,2
6,0	0,1	86,71	26,14 <sup>a</sup> ± 3.40	8,17
6,0	0,2	84,85	24,29 <sup>a</sup> ± 1.78	8,1
6,0	0,5	82,28	21,71 <sup>a</sup> ± 9.31	8,7
6,0	1,0	79,86	19,29 <sup>ab</sup> ± 1.54	8,3
6,0	1,5	79,43	18,86 <sup>ab</sup> ± 5.80	8,3
9,0	0,0	15,49	0,00 <sup>c</sup> ± 12.97	8,2
9,0	0,05	22,11	6,62 <sup>c</sup> ± 0.83	8,9
9,0	0,1	54,01	38,52 <sup>b</sup> ± 5.05	8,9
9,0	0,2	62,76	47,26 <sup>b</sup> ± 4.54	9,2
9,0	0,5	85,88	70,39 <sup>a</sup> ± 3.72	8,1
9,0	1,0	90,60	75,11 <sup>a</sup> ± 4.12	8,1
9,0	1,5	84,74	69,24 <sup>a</sup> ± 3.18	8,1

media ± desviación estándar (3 repeticiones). Obs. letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) por prueba de Tukey.

**Tabla 5.** Porcentaje de remoción de color de efluentes textiles por uso de mitad de dosis optima de agente de coagulación-floculación Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> (50 y 150 mg·L<sup>-1</sup>) (pH inicial-10) con almidón.

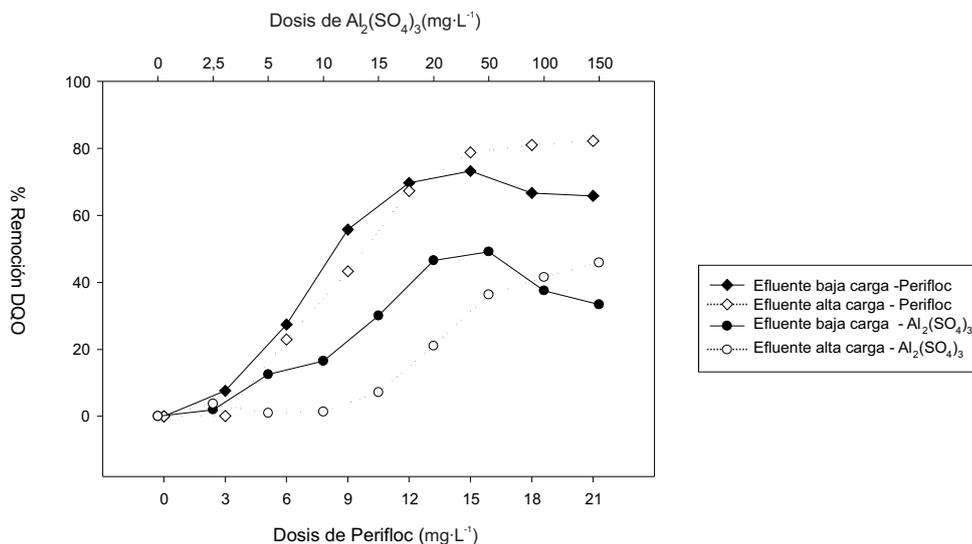
Dosis de Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (mg·L <sup>-1</sup> )	Dosis Almidón de trigo (g·L <sup>-1</sup> )	% remoción de color	% remoción de color sobre dosis de Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	pH final
25	0,0	67,80	0,00 <sup>a</sup> ± 7.11	9,3
25	0,1	66,50	-1,30 <sup>a</sup> ± 2.95	9,1
25	0,05	55,27	-12,53 <sup>ab</sup> ± 3.46	9,1
25	0,2	52,36	-15,45 <sup>ab</sup> ± 7.62	9,1
25	0,5	58,77	-9,03 <sup>ab</sup> ± 3.91	8,7
25	1,0	48,04	-19,76 <sup>b</sup> ± 4.22	9,1
25	1,5	53,56	-14,24 <sup>ab</sup> ± 4.06	9,1
75	0,0	25,70	0,00 <sup>b</sup> ± 7.18	9,1
75	0,05	51,06	25,36 <sup>a</sup> ± 1.28	9,1
75	0,1	40,55	14,85 <sup>ab</sup> ± 4.98	9,1
75	0,2	40,09	14,35 <sup>ab</sup> ± 3.82	9,2
75	0,5	37,69	11,99 <sup>ab</sup> ± 3.71	9,3
75	1,0	29,59	3,89 <sup>b</sup> ± 7.30	9,3
75	1,5	32,82	7,12 <sup>b</sup> ± 5.20	9,9

media ± desviación estandar (3 repeticiones). Obs.. letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) por test Tukey

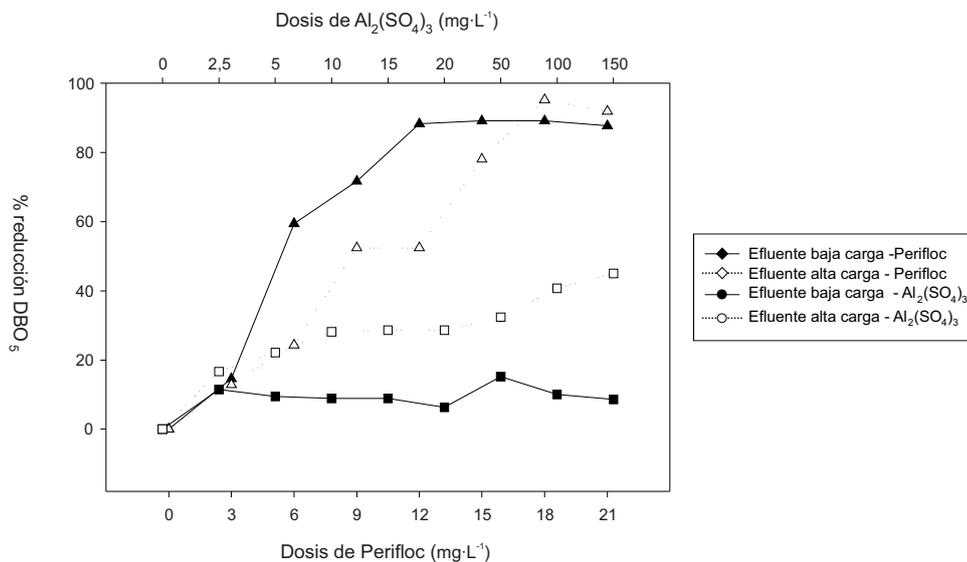
### Remoción de DQO, DBO<sub>5</sub> y SST

Los porcentajes de remoción de DQO, DBO<sub>5</sub> y SST en los efluentes textiles con alta y baja

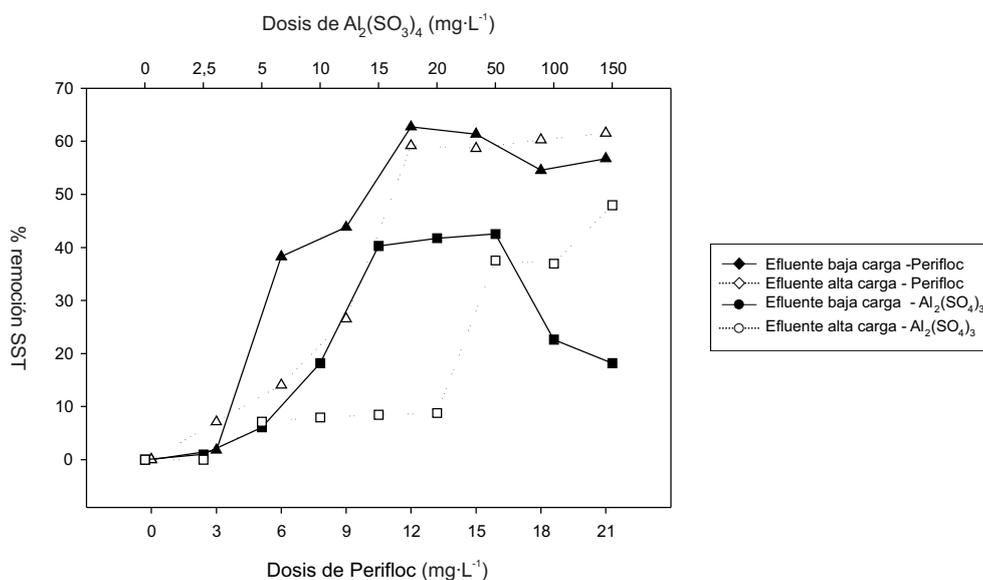
carga de colorantes por los agentes de coagulación-floculación Perifloc y Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> se muestran en las Figuras 4, 5 y 6.



**Figura 4.** Porcentaje de remoción de DQO por aplicación de agente coagulante-floculante poliamínico Perifloc en efluente textil con baja y alta carga de colorantes; porcentaje de remoción de DQO por aplicación de agente coagulante floculante Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> en efluente textil con baja y alta carga de colorantes.



**Figura 5.** Porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> por aplicación de agente coagulante-floculante poliamínico Perifloc en efluente textil con baja y alta carga de colorantes; Porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> por aplicación agente coagulante-floculante Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> en efluente textil con baja y alta carga de colorantes.



**Figura 6.** Porcentaje de remoción de SST por aplicación de agente coagulante-floculante poliaminico “Perifloc” en efluente textil de baja y alta carga de colorantes; porcentaje de remoción de SST por aplicación de agente coagulante-floculante  $Al_2(SO_4)_3$  en efluente textil con baja y alta carga de colorantes.

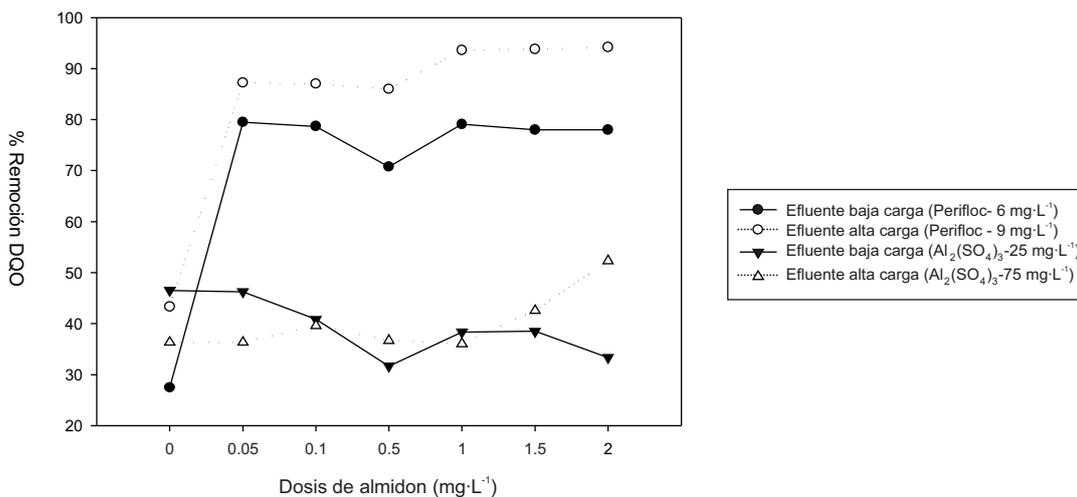
En el caso de DQO, se obtuvo un grado de remoción de hasta 73,25% al aplicar una dosis de  $15\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de perifloc para efluentes con baja carga, y para los efluentes de alta carga de colorantes, el máximo valor de remoción fue 82% al aplicar Perifloc en una dosis de  $21\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . En las concentraciones utilizadas de  $Al_2(SO_4)_3$ , se evidencia una menor capacidad de remoción de DQO a comparación de Perifloc, solo llegando a grados de remoción de 49,16% y 45,85% para efluentes con baja y alta carga de colorantes, respectivamente. Se observa un comportamiento similar a la remoción de DQO con la remoción de  $DBO_5$  y SST, teniendo también mayores valores de remoción de  $DBO_5$  y SST bajo efecto de la aplicación de Perifloc comparado a los valores obtenidos por aplicación de  $Al_2(SO_4)_3$ ; los grados de remoción máximos de DBO para efluentes con baja carga de colorantes por efecto de la aplicación de Perifloc fue de 89,14% por una dosis de  $15\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y para efluentes con alta carga de colorantes fue de 95,23% con una dosis de  $18\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . Por efecto de aplicación de  $Al_2(SO_4)_3$ , se obtuvieron valores de 15,14% de

remoción de  $DBO_5$  para efluentes con baja carga bajo efecto una dosis de  $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y para efluentes con alta carga se logró obtener hasta 45,86% de remoción bajo la aplicación de  $150\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de  $Al_2(SO_4)_3$ . El mayor grado de remoción de SST utilizando Perifloc fue de 62,72% para con baja carga de colorantes con una dosis de  $12\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y en efluentes con alta carga fue de 61,53% con una dosis de  $21\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ; en el caso de aplicación de  $Al_2(SO_4)_3$ , se obtuvo un 42,54% de remoción de SST en efluentes con baja carga con una dosis de  $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y 47,95% de remoción para efluentes con alta carga de colorantes con una dosis de  $150\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ .

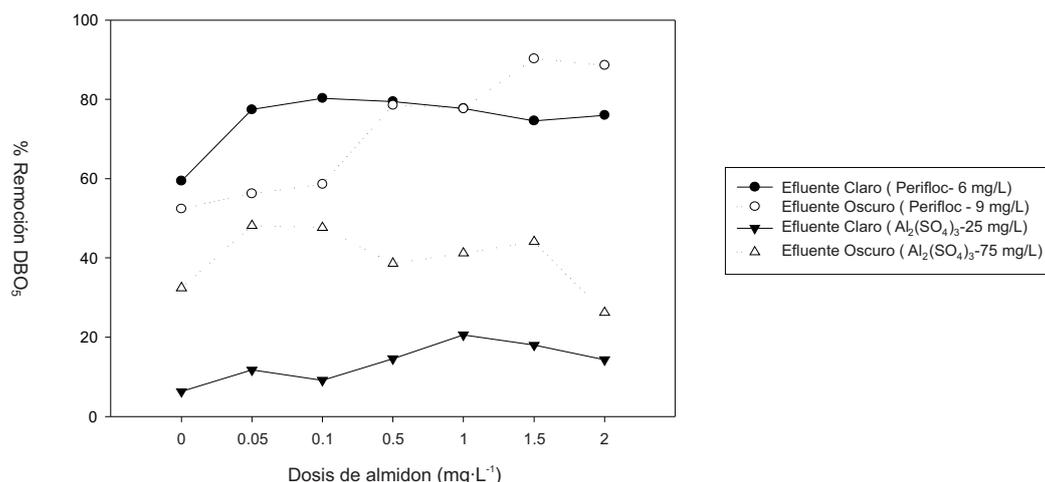
El efecto de la aplicación de almidón en la remoción de DQO,  $DBO_5$  y SST de efluentes de industria textil con alta y baja carga de colorantes se presenta en las figuras 7, 8 y 9, observándose un mayor efecto de remoción por aplicación de almidón sobre la media dosis óptima de Perifloc que sobre  $Al_2(SO_4)_3$ , obteniendo en el caso del tratamiento de efluentes textiles con baja carga valores máximos de remoción de DQO de 79,08% (0,5

g·L<sup>-1</sup> Almidón), remoción de DBO<sub>5</sub> de 80,28 % (0,1 g·L<sup>-1</sup> -Almidón) y remoción de SST en hasta 68,54 % (0,2 g·L<sup>-1</sup> Almidón), en el caso de efluentes textiles con alta carga, la remoción de DQO fue de 94,20% (1,5 g·L<sup>-1</sup>-

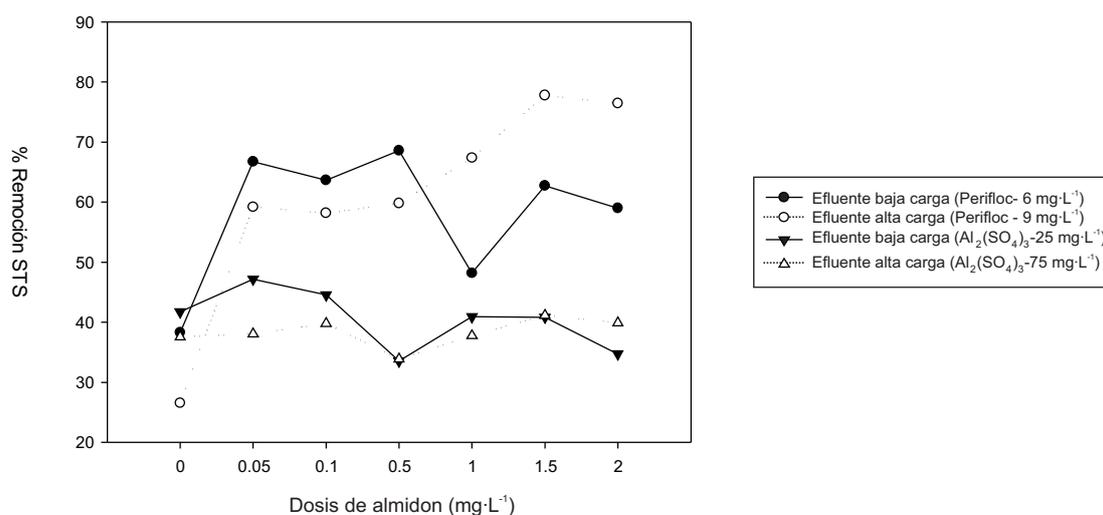
Almidón), remoción de DBO<sub>5</sub> de 90,23 % (1 g·L<sup>-1</sup> -Almidón) y remoción de SST en hasta 77,75 % (1 g·L<sup>-1</sup> -Almidón).



**Figura 7.** Porcentaje de remoción de DQO por aplicación de almidón de trigo sobre media dosis optima de aplicación de Perifloc en efluente textil con baja (6 mg·L<sup>-1</sup>) y alta (9 mg·L<sup>-1</sup>) carga de colorantes; porcentaje de remoción de DQO por aplicación de almidón de trigo sobre media dosis optima de Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> en efluente textil con baja ( 25 mg·L<sup>-1</sup>) y alta (75 mg·L<sup>-1</sup>) carga de colorantes.



**Figura 8.** Porcentaje de remoción de DBO por aplicación de almidón de trigo sobre media dosis optima de “Perifloc” en efluente textil con baja (6 mg·L<sup>-1</sup>) y alta (9 mg·L<sup>-1</sup>) carga de colorantes; porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> por aplicación de Almidón de trigo sobre media dosis optima de Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> en efluente textil con baja (25 mg·L<sup>-1</sup>) y alta (75 mg·L<sup>-1</sup>) carga de colorantes.



**Figura 9.** Porcentaje de remoción de SST por aplicación de Almidón de trigo sobre media dosis óptima de aplicación de Perifloc en efluente textil con baja y alta carga de colorantes; porcentaje de remoción de SST por aplicación de Almidón de trigo sobre media dosis óptima de  $Al_2(SO_4)_3$  en efluente textil con baja ( $25\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) y alta ( $75\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) carga de colorantes.

En el caso de la aplicación de almidón sobre la media dosis óptima de  $Al_2(SO_4)_3$ , los máximos valores obtenidos del tratamiento de efluentes textiles con baja carga de colorantes fueron remoción de DQO hasta en un 46,25 % ( $0,05\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ -Almidón), remoción de  $DBO_5$  de 20,57% ( $0,5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ -Almidón) y remoción de SST de hasta 47,18 % ( $0,05\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ -Almidón). En el caso de efluentes con alta carga de colorantes, la remoción de DQO fue 52,29 % ( $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ -Almidón), remoción de  $DBO_5$  de 48,95% ( $0,05\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ -Almidón) y remoción de SST en hasta 41,12% ( $1\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ -Almidón).

## DISCUSIÓN

Los resultados de caracterización de efluente textil (tabla 1) son similares a los obtenidos en otros estudios donde los valores de sólidos suspendidos totales están en un rango de  $1000$  a  $1600\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , DQO  $1000$ - $2000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $DBO$   $200$ - $600\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y pH generalmente sobre 10; del mismo modo, se observa variabilidad en grado de coloración, coincidiendo con lo encontrado en otros estudios en tratamiento de

efluentes textiles en Brasil y India, que mediante análisis de turbidez y/o absorbancia determinaron la amplia variabilidad en coloración (carga de colorantes) presente en los efluentes de industria textil (Braile 1993, Muralimohan 2014).

En el presente estudio se determinó que las dosis óptimas varían dependiendo del grado de coloración de efluente, determinando que para efluentes con baja carga de colorantes, el mejor grado de remoción de color, DQO,  $DBO$  y SST se dio por una dosis de  $12\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de Perifloc, y para el caso de efluentes con alta carga de colorantes por una dosis de  $18\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , teniendo un rango de remoción en tales parámetros de entre 60 y 95% para ambos tipos de coloración de los efluentes utilizados. Esto concuerda con estudios realizados utilizando polímeros orgánicos basados en poliaminas que demostraron su buena capacidad de tratamiento de efluentes textiles, pudiendo llegar a valores de remoción de hasta 70-98% para Color, DQO,  $DBO$  y SST con dosis de entre  $10$  a  $45\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  (Janeczko 2006, Bache & Gregory 2007, Crittenden 2005); la utilización de sulfato de aluminio ( $Al_2(SO_4)_3$ ) como agente

coagulante-floculante en diversos estudios ha demostrado buena capacidad de remoción de color, DQO, DBO<sub>5</sub> y SST; en el presente estudio, se obtuvieron valores máximos de remoción de color menores a 50% con una dosis de 150 mg·L<sup>-1</sup> en el caso de efluentes con alta carga de colorantes, y no mayores a 80% con una dosis de 50 mg·L<sup>-1</sup> en el caso de efluentes con baja carga de colorantes, teniendo capacidad de remoción de DQO, DBO<sub>5</sub> y SST menor a 50% en ambos tipos de efluente en las dosis utilizadas (0-150 mg·L<sup>-1</sup>- Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>). Estos resultados demuestran baja capacidad de remoción de agentes contaminantes de los efluentes comparado al obtenido por otros estudios donde se obtienen valores de remoción de color cercanos al 100% para las dosis máxima utilizada en este estudio (150 mg·L<sup>-1</sup>-Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) (Moreira *et al.* 2013). La baja capacidad de remoción de color, DQO, DBO<sub>5</sub> y SST por sulfato de aluminio podría deberse al pH utilizado en los ensayos, el cual fue 10; según se estima, el pH óptimo de para el proceso de coagulación-floculación utilizando Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> es aproximadamente 8,2, por encima de estos valores, el comportamiento de remoción es inestable, pudiendo mantenerse o decrecer (Nabi-Bidhendi *et al.* 2006, Moreira *et al.* 2013).

El efecto del almidón en el proceso de Coagulación-Floculación con Perifloc fue similar al obtenido en otros estudios de remoción de turbidez y de efecto de este polímero en la floculación y posterior sedimentación de efluentes industriales, obteniéndose valores de incremento de remoción de agentes contaminantes de hasta un 95% (Di Bernardo *et al.* 2000, Shahriari & Nabi-Bidhendi 2012); sin embargo el efecto de almidón sobre Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> no mostro un incremento mayor al 25%.

En forma concluyente se establece la variación en cuanto a características fisicoquímicas de efluente textil con una carga baja de colorantes que tuvo absorbancias de 0,233 – 0,332 a 565 nm, 1200 mg·L<sup>-1</sup> de DQO, 350 mg·L<sup>-1</sup> de

DBO<sub>5</sub> y 1100 mg·L<sup>-1</sup> de STS. El efluente con alta carga de colorantes tuvo absorbancias de 1,018-1,259 a 565 nm, 1570 mg·L<sup>-1</sup> de DQO, 420 mg·L<sup>-1</sup> de DBO<sub>5</sub> y 980 mg·L<sup>-1</sup> de SST. Estos resultados evidencian que los efluentes textiles tienen malas características para descarga directa a sistemas de alcantarillado, debido a que sobrepasan los VMAs, lo cual a la vez indica la necesidad de establecer distintas dosis de agente coagulante-floculante dependiendo del grado de coloración de efluente textil.

En base a los valores iniciales de absorbancias, DQO, DBO<sub>5</sub> y SST indicados en la tabla 3; a la vez, se concluye que el uso de almidón como ayudante de coagulación-floculación de efluentes textiles puede incrementar la remoción de color, DQO, DBO<sub>5</sub> y SST hasta en un 90 % de la remoción solo obtenida por la mitad de dosis óptima del agente coagulante-floculante poliaminico Perifloc en efluentes con alta y baja carga de colorantes (Figuras 7, 8 y 9), disminuyendo los valores de DQO, DBO<sub>5</sub> y SST muy por debajo de los VMAs indicados en tabla 3. A la vez, se determinó que el almidón no tiene mayor efecto de incremento en la remoción de color, DQO, DBO<sub>5</sub> y SST sobre la remoción obtenida por la dosis óptima de Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> en efluentes con baja carga de colorantes; el incremento en porcentajes de remoción de coloración solo fue de 25% para el caso de efluentes con alta carga, que para el caso de DQO y DBO<sub>5</sub> no supero el 10%, lográndose remover ligeramente por debajo de los VMAs, no siendo el caso para SSTs que se mantuvo sobre los VMAs.

## AGRADECIMIENTOS

Se destaca el papel de la empresa Franky y Ricky S.A. y el equipo técnico y de asesoramiento del proyecto 078-FIDECOM-PIPEI-2013 en la ejecución del presente estudio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adinolfi, M.; Corsaro, M. M.; Lanceta, R.; Parrilli, M.; Folkard, G.; Grant, W. & Sutherland, J. 1994. Composition of the coagulant polysaccharide fraction from *Strychnos potatorum* seeds. Carbohydrate Research, 263: 103-110.
- Bache, D.B. & Gregory, R. 2007. *Flocs in Water Treatment*. IWA Publishing, London, UK.
- Bajdur, W. S. 2001. *Zastosowanie syntezowanych poliakryloamidów jako flokulantów procesie oczyszczania ścieków*. Zesz Nauk Polit Slaskiej, 242p.
- Beltran, J. S. 2009. Removal of alizarin violet 3R (Anthraquinonic dye) from aqueous solutions by natural coagulants. Journal of Hazardous Materials, 170: 45-50.
- Braile, P. M. 1993. *Manual de tratamiento de aguas residuarias*. Cetesb, 764p.
- Campos, J. & Di Bernardo, L. 1991. *Uso de polimeros Naturales en el tratamiento de agua para abastecimiento*. Centro Interregional de abastecimiento y Remoción de Agua, Universidad de Sao Paulo, Escuela de ingeniería de Sao Paulo – Brasil. CINARA. 85p.
- Arboleda, J. 1983. *Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua*. Manual. CEPIS, Perú, 623p.
- Crittenden, J.T. 2005. *Coagulation mixing and flocculation. Water treatment principles and Design*. John Willey & Sons, Cambridge Press. pp. 643-779.
- Di Bernardo, A.; Di Bernardo, L. & Frollini, E. 2000. *Influence of the application time on the efficiency of polymer flocculation/sedimentation*. XXVII Interamerican Congress of Sanitary and Environmental Engineering, Annals.
- Ding, S.; Li, Z. & Rui, W. 2010. Overview of dyeing wastewater treatment technology. Water Resources Protection, 26: 73-78.
- Elliott, A.; Hanby, W. & Malcolm, B. 1954. The near infra-red absorption spectra of natural and synthetic fibres. B.R Journal of Applied Physics, 17: 1-377.
- Gray, N. 1994. *Drinking water quality-problems and solution*. John Wiley & Sons, Cambridge press, 2: 245-268.
- Jahn, S. 1979. African plants used for the improvement of drinking water. Curare, 183-199.
- Janeczko, M. G. 2006. *Removal of dyes from textile effluents by chemical coagulation*. Brandenburg University of Technology, Cottbus, Germany. <http://orbi.ulg.ac.be/> Accessed on July 20, 2015.
- Kirchmer, J.A. 1975. *Polimeros naturales y su aplicación como ayudante de floculación*. Serie documentos técnicos 2. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del ambiente. CEPIS, 32p.
- Kowal, A. & Swiderska, B. 1996. *Water treatment* (in-Polish). WNPWN, Warsawa-Wrockaw. pp. 553-571.
- Laines, J. R.; Goñi, A. & Howard, R. 2008. Mezclas con potencial coagulante para tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario. Interciencia, 33: 22-28.
- Martínez, D. M. 2003. Eficiencia del cactus *Lefaria* para su uso como coagulante en la clarificación de aguas. Revista técnica de la facultad de ingeniería de la universidad de Zulia (RTFIUZ), 26: 27-33.
- Matiz, A. 2009. *Soluciones individuales en potabilización de agua en pequeña escala. Experiencias en la búsqueda de alternativas sostenibles*. Guía para la reflexión y análisis en la toma de decisiones. Unillanos. pp. 22-47.
- Moreira, C. J.; Simoes, M. & Curvelo, N. 2013. Study on coagulation and flocculation for treating effluents of textile industry. Acta Scientiarum Technology, 35: 83-88.
- Moustafa, S. 2008. *Environmental Impacts of Textile Industries*. Process Analysis of

- textile Manufacturing. UNESCO-IHE, Delft, Netherlands. <http://www.e-textile.org/e-learning.asp>. Accessed on April 28, 2015.
- Muralimohan, N. P. 2014. Experimental study of removal efficiency of blended coagulants in textile wastewater treatment. International Journal of Research in Engineering & Technology, 2: 15-20.
- Nabi-Bidhendi, G.R.; Torabianm, A.; Ehsani, H. & Rasmkhah, N. 2006. Evaluation of industrial dyeing wastewater treatment with coagulants and polyelectrolyte as a coagulant aid. Journal of environment Health and Engineering Sciences, 4: 29-36.
- Fitzgerald, S. & Bishop, P. 1995. Two stage anaerobic/aerobic treatment of sulfonated azo dyes. Journal Environmental, Science health, 30: 1251-1276.
- Shahriari, T. & Nabi-Bidhendi, G.R. 2012. Starch efficiency in water turbidity removal. Asian Journal of Natural & Applied Sciences, 1: 134-137.
- Véliz, E.; Llanes, J.G.; Fernandez, L.A. & Bataller, M. 2010. Evaluación de la eficiencia de los procesos de coagulación-floculación y ozonización a escala de laboratorio en el tratamiento de aguas residuales municipales. CENIC, Ciencias Químicas, 41: 49-56.

Recibido 27 de septiembre 2015.  
Aceptado 23 de noviembre 2015.