



Uso del extracto de fique (*Furcraea sp.*) como coadyuvante de coagulación en tratamiento de efluentes de pastelería¹

William Antonio Lozano-Rivas²

*Use of sisal extract (*Furcraea sp.*) as a coagulation adjuvant in the treatment of pastry effluents*

*Uso do extrato de furcraea (*furcraea sp.*) como coadjuvante de coagulação em tratamento de efluentes de confeitaria*

RESUMEN

Introducción. Se presentan los resultados de pruebas del uso del extracto de las hojas de fique (*Furcraea sp.*) como coadyuvante de coagulación en el tratamiento fisicoquímico de efluentes de pastelería de una industria en Bogotá D. C. **Objetivo.** Este proceso consiste en la remoción de sólidos que le confieren turbidez y color al agua residual, mediante el uso de sales coagulantes. **Materiales y métodos.** Se efectuaron pruebas de tratabilidad en un equipo de ensayo de jarras empleando, como variables de control, los parámetros de color, turbiedad, DQO, pH y sólidos disueltos totales. **Resultados.** Aunque los efluentes analizados contienen bajas concentraciones de sólidos, se obtuvieron mejoras promedio, respecto del uso del coagulante, del 17% en remoción de color, 28% en turbiedad y del 11% en abatimiento

¹ Investigación original: "Evaluación del potencial de uso de las sustancias químicas extraídas de la pulpa del fique (*Furcraea macrophylla*), como mejorador de los procesos de tratamiento de las aguas residuales urbanas e industriales, como inhibidor de olores y como catalizador en la recuperación de cuerpos de agua degradados por procesos de hiper-eutrofización". Laboratorio de Biotecnología Ambiental Aplicada. Periodo de realización: Agosto de 2009 a Agosto de 2010. Entidad Financiadora: Dirección Nacional de Investigaciones (DNI) de la Universidad Antonio Nariño. ² Ingeniero, M. Sc., Ph. D. Docente-Investigador. Director del Grupo de Investigación GRESIA, Facultad de Ingeniería Ambiental. Universidad Antonio Nariño, Bogotá D. C., Colombia. e-mail: wlozano@uan.edu.co.

Correspondencia: William Antonio Lozano-Rivas, e-mail: wlozano@uan.edu.co

Artículo recibido: 25/04/2011, Artículo: 15/06/2011

de DQO, empleando combinaciones de 20 mg/L de cloruro férrico hexahidrato como coagulante, y 5 mg/L de extracto de hojas de fique, como coadyuvante, a un pH de 4,62. **Conclusión.** El uso del extracto de hojas de fique, como coadyuvante de coagulación de efluentes de industria de pastelería, permite una remoción media, estadísticamente significativa ($P < 0,050$), de 17% en los valores de color, 28% en los valores de turbiedad y 11% en los de DQO, estimados sobre los valores conseguidos por el coagulante solo y aplicado en aguas con bajos valores de carga contaminante expresada como DQO.

Palabras clave: coagulación-floculación, fique, industria de pastelería, tratamiento de efluentes industriales.

ABSTRACT

Introduction. The results of the tests for the using of sisal leaves extract (*Furcraea* sp.) as a coagulation adjuvant in an industry from Bogotá D.C. are introduced. **Objective.** This process consists on removing solid waste that give turbidity and color to waste water, by the use of coagulant salts. **Materials and methods.** Treatability tests were performed in a jar test equipment using, as control variables, the color, turbidity, COD, pH and total dissolved solid waste parameters. **Results.** Even though the effluents analyzed contain low solid waste concentrations, average improvements of 17% of color removal, 28% in turbidity and 11% of COD abatement were obtained, concerning the use of the coagulant. This was achieved by the use of 20mg/L of ferric chloride hexahydrate as a coagulant and 5 mg/L of sisal leaves extract as an adjuvant, at a 4,62 pH. **Conclusion.** The use of sisal leaves as a coagulation adjuvant in pastry industries allows a medium removal, that is statistically significant ($P < 0,050$), of 17% in the color values, 28% in turbidity values and 11% in COD, estimated on the values achieved by the use of the coagulant only and applied in water with a low load of pollutants, expressed as COD.

Key words: coagulation- flocculation, sisal, pastry industry, industrial effluents treatment.

RESUMO

Introdução. Apresentam-se os resultados de provas do uso do extrato das folhas de furcraca (*Furcraea* sp.) como coadjuvante de coagulação no tratamento físico-químico de efluentes de confeitaria de uma indústria em Bogotá D. C. **Objetivo.** Este processo consiste na remoção de sólidos que lhe conferem turbidez e cor da água residual, mediante o uso de sais coagulantes. **Materiais e métodos.** Efetuaram-se provas de tratamento numa equipe de ensaio de jarras empregando, como variáveis de controle, os parâmetros de cor, turvamento, DQO, PH e sólidos dissolvidos totais. **Resultados.** Ainda que os efluentes analisados contêm baixas concentrações de sólidos, obtiveram-se melhoras média, respeito do uso do coagulante, do 17% em remoção de cor, 28% em turvamento e do 11% em abatimento de DQO, empregando combinações de 20 mg/L de cloreto férrico hexahidrato como coagulante, e 5 mg/L de extrato de folhas de furcraca, como coadjuvante, a um PH de 4,62. **Conclusão.** O uso do extrato de folhas de furcraca, como coadjuvante de coagulação de efluentes de indústria de pastelaria, permite uma remoção média, estatisticamente significativa ($P < 0,050$), de 17% nos valores de cor, 28% nos valores de turvamento e 11% nos de DQO, estimados sobre os valores conseguidos pelo coagulante só e aplicado em águas com baixos valores de carga contaminante expressada como DQO.

Palavras importantes: coagulação-floculação, furcraca, indústria de confeitaria, tratamento de efluentes industriais.

INTRODUCCIÓN

El agua está ligada siempre al desarrollo de los países; es el compuesto químico más abundante del planeta y es indispensable para el desarrollo de la vida. Su disponibilidad escasea, debido a la contaminación generada por diversas fuentes incluyendo la descarga de aguas residuales de origen industrial, que amenazan con generar un profundo desequilibrio ambiental, económico y social¹. Las aguas residuales pueden ser definidas como aguas de composición diversa que provienen de las descargas de

usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos y, en general, de cualquier otro uso en actividades humanas, así como la mezcla de ellas².

El crecimiento y el desarrollo de las ciudades han impulsado un aumento en la actividad industrial que trae, como consecuencia, el incremento de las cargas contaminantes vertidas a los cuerpos de agua urbanos. En la actualidad, en Bogotá D. C., la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) El Salitre, trata los desechos líquidos vertidos por una población equivalente de 2'200.000 habitantes que corresponde, en promedio, a unos 4 m³/s³. Esta cifra, considerando que el censo efectuado en el año 2005 arrojó una población 6'778.691 habitantes⁴, supone que sólo cerca de un 32% de las aguas residuales de la ciudad están siendo tratadas, mientras que el 68% restante es vertido al río Bogotá a través de las cuencas urbanas que lo alimentan.

Actualmente, parte de las aguas residuales que llegan a los cuerpos hídricos sin tratamiento corresponden a los vertidos industriales líquidos, muchos de los cuales presentan un elevado potencial contaminante con presencia de algunos compuestos recalcitrantes que son nocivos para los sistemas de tratamiento biológico comúnmente empleados en las PTAR municipales. Los procesos biológicos, generalmente, no remueven compuestos refractarios de origen industrial que, incluso, a ciertas concentraciones pueden llegar a inhibir los procesos de depuración o ser tóxicos para la biomasa⁵.

La industria de pastelería es una de las más grandes, en términos de producción, en el sector de alimentos⁶. Se estima que más de la mitad del agua usada en la pastelería es descargada como agua residual; esta agua proviene especialmente de las actividades de limpieza de equipos y aseo de las instalaciones⁷. Las aguas residuales de pastelería presentan características disímiles con pH que varían usualmente entre las 4 y las 7 unidades, valores de DQO que oscilan frecuentemente entre los 155 y 1600 mg/L y relaciones de DBO: N: P del orden de 284:1:2, lo cual dificulta el tratamiento biológico de este tipo de aguas y condiciona la necesidad de adición de nutrientes^{6,8}. Adicionalmente, el exceso de grasas y aceites retarda los coeficientes de transferencia de oxígeno, y las trazas de detergentes y otros productos de limpieza usados provocan decrementos en la eficiencia de los tratamientos biológicos⁶. Por esta razón, los tratamientos primarios más frecuentemente usados para tratar este tipo de efluentes son fisicoquímicos mediante combinaciones de tanques de equalización de flujo y neutralización, seguido por rejillas, trampas de grasas y procesos de coagulación-floculación, rematados por sedimentadores o sistemas DAF; el efluente parcialmente tratado es llevado posteriormente a sistemas biológicos aerobios (usualmente, lodos activados o filtros percoladores) o anaerobios (como los reactores anaerobios de flujo ascendente a través de un manto de lodos – UASB o sistemas análogos). Los efluentes líquidos industriales de la industria de pastelería, además de generar efluentes con altas cargas de materia orgánica, presentan trazas de ácidos usados como emulsionantes y antioxidantes. Buena parte de estos contaminantes pueden ser removidos con tratamientos fisicoquímicos, usando sales de hierro que son más efectivas que las de aluminio para remover contaminantes recalcitrantes⁹. La adición de sustancias coadyuvantes de coagulación de origen orgánico puede contribuir al incremento de la eficiencia del proceso de depuración sin que derive en costos excesivos.

El coadyuvante empleado en la investigación es extraído de la hoja del fique (*Furcraea sp.*). El fique es una planta fibrosa que crece en varios países de América tropical; pertenece a la familia *Agavaceae*, y los géneros *Agave* y *Furcraea* son los más representativos. Colombia y Venezuela son los países con mayor presencia de fique aunque también se encuentra dispersa, naturalmente, desde el sur de México hasta Brasil¹⁰. En Colombia, se le denomina fique a las plantas pertenecientes al género *Furcraea* que comprende, aproximadamente, unas 20 especies que crecen espontáneamente por todo el país y se cultiva, especialmente, en la zona andina tropical¹¹. Del fique se extraen las fibras, conocidas como “cabuya”, para la fabricación de empaques de productos agrícolas como papa (patata) y café, y también para la fabricación de artesanías, lo que ha permitido mantener un cultivo permanente en Colombia¹².

La fibra del fique representa, aproximadamente, el 5% del peso de toda la planta, mientras que el porcentaje restante corresponde mayoritariamente al zumo (70%), la estopa y el bagazo (25%), los cuales son desechados, frecuentemente, como residuos sin valor¹³. El extracto de la hoja es una suspensión de características variables que dependen de la edad de la planta, la estación del año y las características del suelo en que crece. El extracto presenta un color verde ocre y olor fuerte, con una densidad media de 1,02 kg/L y un pH que oscila entre las 4 y las 5 unidades. Aunque no se tiene certeza cuantitativa de sus constituyentes, cualitativamente está conformado por un 85% de agua, 6% de celulosa (D-glucosa), 8% de materia orgánica y amorfa (sacarosa, proteínas, nitrógeno, fósforo, calcio, potasio, saponinas y sapogeninas) y 1% de minerales¹².

El extracto crudo desechado de la hoja de fique es altamente tóxico para los peces y los organismos acuáticos¹⁴. Algunas investigaciones han determinado que fuentes de agua contaminadas con desechos de extracto de hojas de fique pueden alcanzar concentraciones de DQO del orden de los 1000 mg/L, lo cual lo convierte en una sustancia altamente contaminante¹⁵. En razón a que el extracto de la hoja de fique es frecuentemente desechado como un residuo sin valor que, además, posee características contaminantes y a que el cultivo de la planta es el único medio de subsistencia de unas 13.000 familias campesinas en Colombia, que genera más de 60000 empleos directos¹⁶, se hace necesario hallar nuevas aplicaciones para esta sustancia.

Algunas de las propiedades halladas en las sapogeninas presentes en el extracto de la hoja de fique son las de actuar como agente surfactantes biodegradables que, disueltos en agua, reducen la tensión superficial y actúan como disgregantes de grasas y aceites¹⁷. Esta característica anfílica de las sapogeninas presentes en el extracto de hojas de fique es evaluada en la presente investigación de manera que pueda ser aprovechada como un potencial coadyuvante de coagulación química en la remoción de contaminantes presentes en efluentes industriales, con el fin de incrementar las posibilidades de aprovechamiento de la planta.

MATERIALES Y MÉTODOS

En las instalaciones del Laboratorio de Biotecnología Ambiental Aplicada, adscrito a la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Antonio Nariño, entre los meses de febrero y mayo de 2010, se llevaron a cabo 90 ensayos de tratabilidad, distribuidos en 15 series de 6 pruebas cada una. Las muestras de los efluentes de pastelería corresponden a los vertidos de una industria de alimentos ubicada en la ciudad de Bogotá D. C., cuyo nombre ha sido reservado por solicitud de la misma.

Variables e instrumentos de medición. Las variables de control y los instrumentos de medición se muestran en la tabla I.

Las pruebas de tratabilidad se practicaron en un Jar-Tester marca E&Q, modelo F6-300, de seis (6) puestos y control digital de velocidad.

Caracterización del efluente de la industria pastelera. Se realizaron 4 muestreos de los efluentes de la industria pastelera. Los parámetros fisicoquímicos analizados para las muestras fueron pH, temperatura, color, turbiedad, sólidos disueltos totales (TDS) y demanda química de oxígeno (DQO).

Tipo de coagulante, preparación y dosis. Como agente coagulante fue empleado cloruro férrico hexahidratado (FeCl_3), Ph Eur Scharlau HI0336, en razón a que la materia orgánica recalcitrante es removida con mayor facilidad por sales de hierro que por sales de aluminio⁹. Las soluciones de coagulante se prepararon en balones aforados de 250 mililitros y en matriz de agua destilada, con concentración al 1%. Las dosis se seleccionaron efectuando pruebas preliminares.

Variables de control. Las variables control empleadas para las pruebas de jarras fueron 6: pH, la temperatura ($^{\circ}\text{C}$), la turbiedad (UNT), el color (UPC), sólidos disueltos totales (TDS) y Demanda

Química de Oxígeno (DQO). En cada serie se usaron 500 mililitros de muestra en beakers de 1 litro de capacidad.

Determinación de la dosis óptima de coagulante. Se efectuaron los ensayos de tratabilidad en el equipo de prueba de jarras (Jar-Tester), empleando los tiempos y las velocidades de mezcla señaladas en la tabla 2 para cada una de las fases.

Tabla 1. Variables de investigación e instrumentos de medición

Variable y unidades	Instrumento de Medición	Precisión
Temperatura (°C)	pH-meter Hanna HI2210	+/- 0,5 °C
pH (unidades)	pH-meter Hanna HI2210	+/- 0,01 unidades
Sólidos Disueltos Totales (TDS – ppm)	Hanna Watercheck I	+/- 0,5 ppm
Turbiedad (UNT)	Turbidímetro Hanna HI93703	+/- 0,5 UNT
Color (UPC)	Colorímetro Hanna HI93727	+/- 10 UPC
DQO (mg/L)	Fotómetro Hanna HI83099 (Método EPA 410.4 - Adaptado)	+/- 22 mg/L

Fuente: elaboración propia

Tabla 2. Velocidades de mezcla y tiempos para cada fase de la prueba de tratabilidad¹⁸

Fase	Velocidad de Mezcla (RPM)	Gradiente (s ⁻¹)	Tiempo (min)
Mezcla Rápida	300	320	1
Mezcla Lenta	60	66	20
Sedimentación	0	0	30

Fuente: elaboración propia

Finalizada cada prueba de tratabilidad, se tomaron muestras del sobrenadante clarificado de cada vaso, a 2 cm de la superficie, y se determinaron los valores de las variables de control, exceptuando la DQO, para cada uno de ellos. La dosis óptima de coagulante se estableció valorando los resultados obtenidos, dando mayor peso a las variables de color y turbiedad; los TDS, el pH y la temperatura se tomaron como variables de control pero no como criterio de selección de las dosis.

Determinación de la dosis óptima de extracto de hojas de fique. Elegida la dosis óptima de coagulante químico, se alistaron nuevas series con muestras de los efluentes de la industria de pastelería y se repitió el procedimiento descrito, agregando la dosis óptima del coagulante químico en todos los vasos, y como coadyuvante de coagulación, diferentes dosis de extracto de hojas de fique entre 1 y 40 mg/L (1, 2, 5, 10, 20 y 40 mg/L), cuyas características se muestran en la tabla 3. Las dosis de coadyuvante se seleccionaron mediante ensayos preliminares, previendo aplicaciones de entre 0,5% y 20% de la dosis usada de coagulante. Las soluciones de coadyuvante de coagulación (extracto de hojas de fique) se prepararon al 1%, en balones aforados de 250 mL y en matriz de agua destilada. Finalizadas las pruebas de tratabilidad con adición de extracto de hojas de fique como coadyuvante de coagulación, se tomaron muestras del sobrenadante clarificado de cada vaso, a 2 cm de la superficie, y se determinaron los resultados de las variables de control, exceptuando la DQO, para cada uno de ellos. Se determinaron las dosis óptimas de extracto de hojas de fique como coadyuvante, valorando con mayor peso los resultados obtenidos de color y turbiedad.

Tabla 3. Características del extracto de hojas de fique empleado

Parámetro	Valor promedio
Temperatura (°C)	18,5
pH (unidades)	4,91
Sólidos Disueltos Totales (TDS – ppm)	1487
DQO (mg/L)	15367

Fuente: elaboración propia

Análisis comparativo entre el efecto del coagulante químico y la mezcla de coagulante químico con extracto de hojas de fique como coadyuvante. Para evaluar comparativamente el comportamiento del coagulante y la mezcla de coagulante con extracto de hojas de fique como coadyuvante, se prepararon terceras y cuartas series con muestras del efluente de la industria de pastelería, repitiendo el procedimiento descrito y empleando la dosis óptima de coagulante obtenida, en tres vasos y una mezcla de las dosis óptimas de coagulante y extracto de hojas de fique, en los tres restantes. Finalizadas las pruebas de tratabilidad, se determinaron pH, temperatura, color, turbiedad, TDS y DQO en cada vaso, para determinar la reducción de la carga contaminante conseguida con el tratamiento aplicado.

Análisis de datos. Los resultados obtenidos se analizaron aplicando pruebas t-test ($\alpha = 0,05$) y con Test de Mann-Whitney para las series de distribución no normal según el Test de Normalidad de Kolmogorov-Smirnov ($P < 0,05$), empleando el programa SigmaStat versión 3.5 (Systat Software, Inc.).

RESULTADOS

Caracterización. En la tabla 4 se muestran los resultados de la caracterización media de los efluentes analizados de la industria de pastelería. Se evidencia, en los resultados, que los efluentes corresponden a aguas residuales que presentan una carga contaminante moderada, representada en los valores de DQO. De otro lado, son muestras altamente ácidas dado el uso de ácidos orgánicos como emulsionantes en el proceso productivo, como es el caso de los caseinatos, ésteres de diversa índole, dímeros de ácido láctico, sucroglicéridos, entre otros, y el empleo de ácido cítrico como antioxidante.

Tabla 4. Características fisicoquímicas del efluente de la industria de pastelería

Parámetro	Resultados promedio
pH (unidades)	4,62
T° (°C)	14,7
Color (UPC)	2200*
Turbiedad (UNT)	148
TDS (ppm)	100
DQO (mg/L)	775

*Valores determinados mediante dilución 1 a 5.

Fuente: elaboración propia

Selección de dosis óptima de cloruro férrico (FeCl₃) como coagulante. Los resultados promedio de los 24 ensayos de coagulación química para las diferentes dosis de cloruro férrico en las muestras del efluente de la industria de pastelería se exponen en la tabla 5, y en las figuras 1 y 2, se muestran los resultados para color y turbiedad a diferentes dosis de coagulante.

Tabla 5. Resultados promedio de coagulación química para diferentes dosis de cloruro férrico en el tratamiento fisicoquímico de efluentes de industria

Vaso	Dosis FeCl ₃ (mg/L)	pH	Temperatura (°C)	Color (UPC)	Turbiedad (UNT)	TDS (ppm)
1	5	4,66	17,1	1400*	163	100
2	10	4,62	17,3	900*	115	100
3	20	4,51	18,0	180	13,36	110
4	40	4,41	17,8	450	30,74	120
5	80	4,13	17,6	700*	48,6	140
6	120	3,82	18,2	1000*	54,0	150
Dosis óptima FeCl ₃ (mg/L)	20					

*Valores determinados mediante dilución 3 a 10.

Fuente: elaboración propia

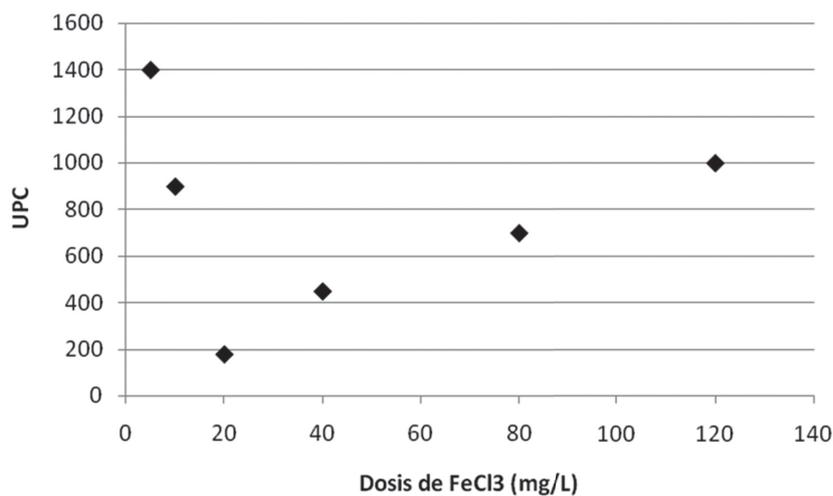


Fig. 1. Comportamiento del color (UPC) a diferentes dosis de cloruro férrico (mg/L)

Fuente: elaboración propia

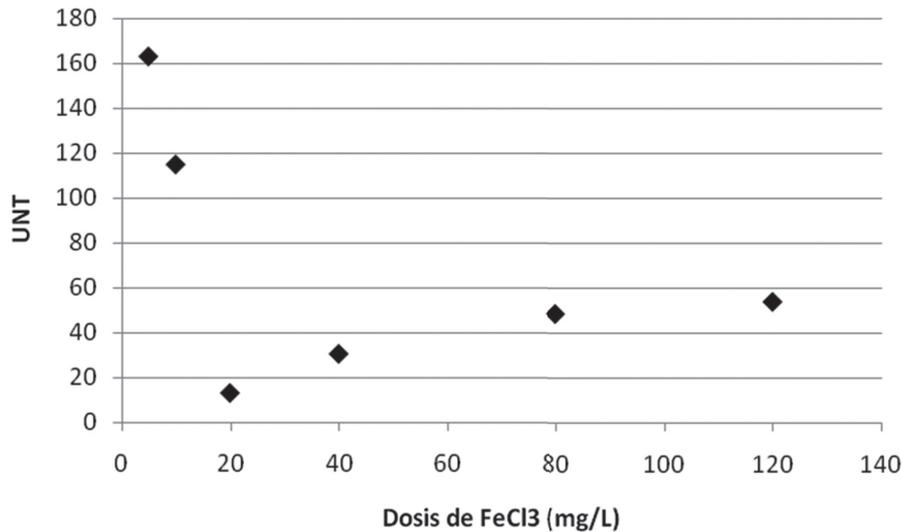


Figura. 2. Comportamiento de la turbiedad (UNT) a diferentes dosis de cloruro férrico (mg/L)

Fuente: elaboración propia

Se evidencia un notable abatimiento de los valores de color y turbiedad en las muestras del efluente de la industria de pastelería, con una dosis de 20 mg/L. Tanto el color como la turbiedad muestran comportamientos análogos para las dosis aplicadas. Las dosis de coagulante aplicadas provocan un descenso en los valores de potencial de hidrógeno y un incremento en los de sólidos disueltos totales.

Selección de dosis óptima de extracto de hojas de fique como coadyuvante de coagulación. Los resultados promedio de 24 ensayos de la aplicación de extracto de hojas de fique como coadyuvante en combinación con una dosis constante de cloruro férrico (20 mg/L) se muestran en la tabla 6; de la misma forma, en las figuras 3 y 4 se exponen los resultados para color y turbiedad a diferentes dosis de extracto de hojas de fique.

Se evidencia un ligero descenso en los resultados de turbiedad con la aplicación de extracto de hojas de fique como coadyuvante de coagulación. De forma leve y análoga al comportamiento de la turbiedad, se presenta un abatimiento en los valores de color. A pesar de la naturaleza ácida del extracto de hojas de fique (pH entre 4 y 5 unidades¹⁹), las bajas dosis requeridas como coadyuvante no provocan disminución en los valores de potencial de hidrógeno de las muestras analizadas. De igual forma, aunque el extracto de hojas de fique presenta elevados valores de sólidos disueltos totales (TDS entre 1800 y 2000 ppm¹⁹), no se aprecian incrementos en ninguna de las muestras evaluadas.

Comparación de resultados del coagulante sólo y con extracto de hojas de fique como coadyuvante. Los resultados promedio de los 18 ensayos comparativos, distribuidos en 3 series de 6 vasos cada una, para probar la eficacia del uso de extracto de hojas de fique como coadyuvante de coagulación en el tratamiento fisicoquímico de efluentes de industria de pastelería, se exponen en la tabla 7. En las figuras 5, 6 y 7 se muestran los resultados de los 18 ensayos (9 para coagulante sólo y 9 para coagulante y coadyuvante) para los parámetros de color, turbiedad y DQO.

Se evidencia una disminución marcada en los resultados de turbiedad y DQO para los ensayos en donde fue añadido extracto de hojas de fique como coadyuvante de coagulación, y un abatimiento leve para los valores de color.

Tabla 6. Resultados promedio de coagulación con adición de extracto de hojas de fique como coadyuvante de coagulación en el tratamiento fisicoquímico de efluentes de industria de pastelería

Vaso	Dosis de FeCl ₃ (mg/L)	Dosis de extracto de hojas de fique (mg/L)	pH	Temp (°C)	Color (UPC)	Turb (UNT)	TDS (ppm)*
1	20	1	4,57	18,7	160	15,1	100
2	20	2	4,57	18,7	150	9,84	100
3	20	5	4,60	19,2	120	8,97	100
4	20	10	4,58	18,9	170	10,86	100
5	20	20	4,61	18,5	120	9,73	100
6	20	40	4,57	18,7	110	9,21	100
Dosis óptima (mg/L)	20	5					

Fuente: elaboración propia

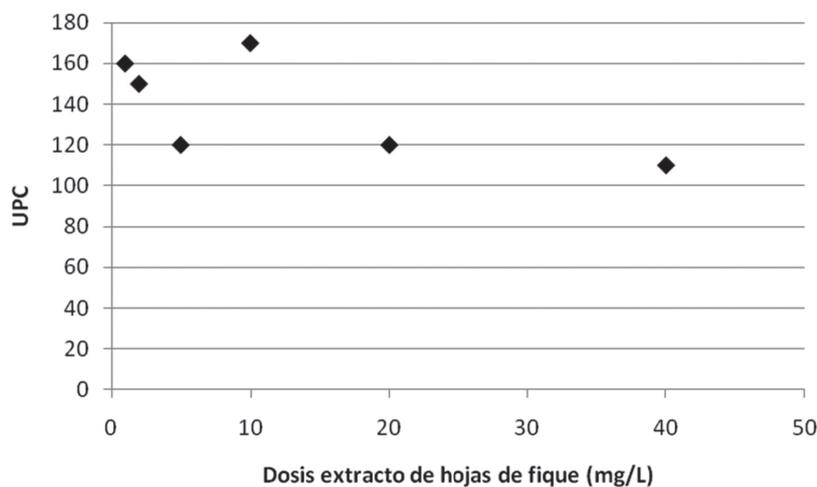


Figura 3. Comportamiento del color (UPC) a diferentes dosis de extracto de hojas de fique manteniendo constante la dosis de cloruro férrico (20 mg/L)

Fuente: elaboración propia

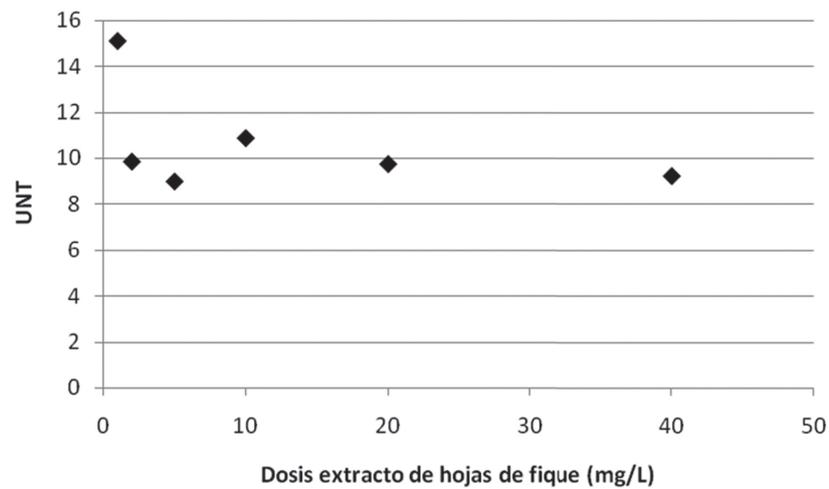


Figura 4. Comportamiento de la turbiedad (UNT) a diferentes dosis de extracto de hojas de fique manteniendo constante la dosis de cloruro férrico (20 mg/L)

Fuente: elaboración propia

Tabla 7. Resultados promedio de coagulación química frente a adición de coadyuvante en el tratamiento fisicoquímico de efluentes de industria de pastelería

	Dosis de FeCl3 (mg/L)	Dosis de extracto de hojas de fique (mg/L)	pH	Temperatura (°C)	Color (UPC)	Turbiedad (UNT)	TDS (ppm)	DQO (mg/L)
1	20	-	4,55	16,5	130	10,51	100	430
2	20	-	4,56	16,5	130	9,90	90	421
3	20	-	4,55	16,7	130	9,63	100	432
4	20	5	4,55	16,4	110	7,35	100	378
5	20	5	4,55	16,6	100	7,08	90	388
6	20	5	4,54	16,5	110	7,06	100	377

*Valores determinados mediante dilución 3 a 10.

Fuente: elaboración propia

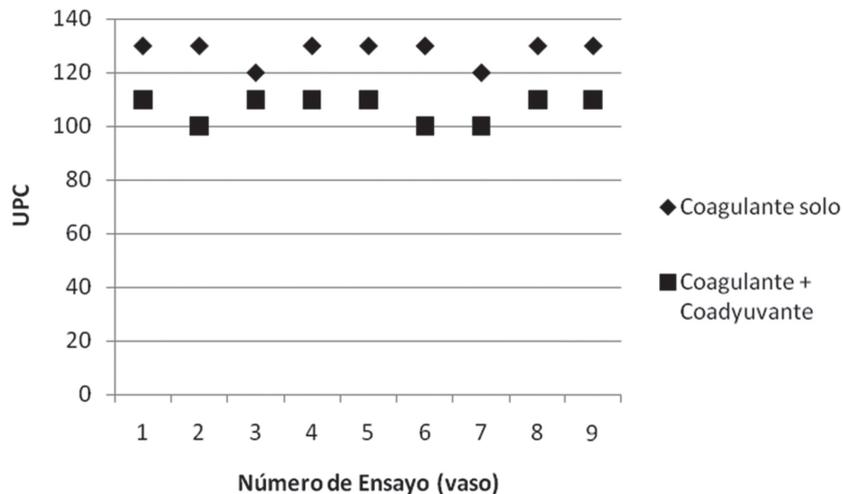


Figura 5. Comparación de los resultados de color (UPC) en diferentes ensayos con aplicación de cloruro férrico solo (20 mg/L) y combinación de cloruro férrico (20 mg/L) con extracto de hojas de fique como coadyuvante (5 mg/L)

Fuente: elaboración propia

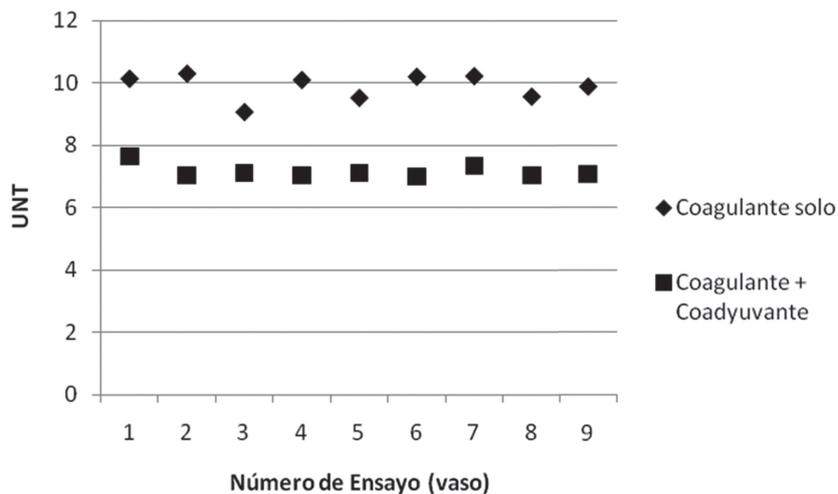


Figura 6. Comparación de los resultados de turbiedad (UNT) en diferentes ensayos con aplicación de cloruro férrico solo (20 mg/L) y combinación de cloruro férrico (20 mg/L) con extracto de hojas de fique como coadyuvante (5 mg/L)

Fuente: elaboración propia

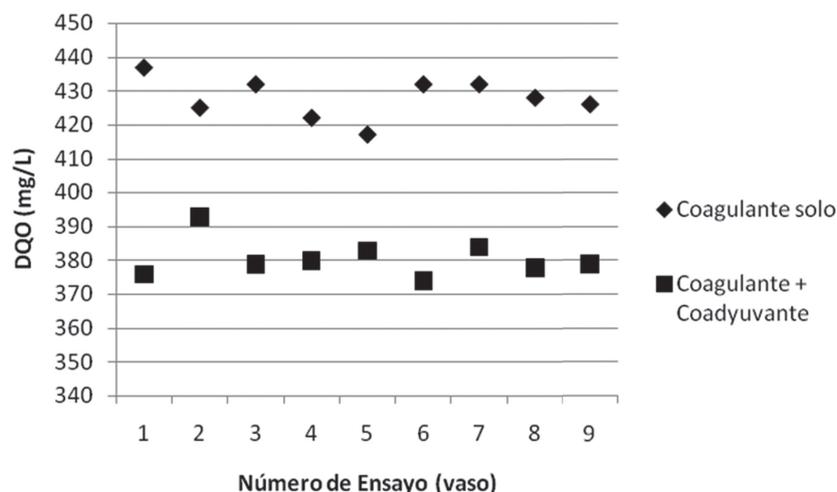


Figura 7. Comparación de los resultados de demanda química de oxígeno (mg/L) en diferentes ensayos con aplicación de cloruro férrico solo (20 mg/L) y combinación de cloruro férrico (20 mg/L) con extracto de hojas de fique como coadyuvante (5 mg/L)

Fuente: elaboración propia

DISCUSIÓN

Aunque el efluente de industria de pastelería evaluado contiene bajas concentraciones de sólidos, se obtuvieron mejoras significativas en remoción de color, turbiedad y DQO, empleando combinaciones de 20 mg/L de cloruro férrico hexahidrato, como coagulante, y 5 mg/L de extracto de hojas de fique, como coadyuvante, a un pH promedio de 4,62 y temperatura de 14,7 °C.

La remoción media por la DQO en los efluentes analizados de la industria de pastelería, obtenidas mediante el uso de coagulante solo fue del 45% frente a la removida por el coagulante combinado con el extracto de hojas de fique como coadyuvante, que fue del 51%; lo anterior representa una mejora del 11% sobre el valor obtenido por el coagulante solo y del 6% respecto de la DQO del efluente industrial. Estos valores son similares a los obtenidos por otros investigadores, quienes usaron dosis entre los 90 y 100 mg/L de cloruro férrico con resultados de remoción del 55% en los valores de DQO y a un pH de 6 unidades que consideraron como el óptimo para este tipo de aguas; encontraron también que los valores del potencial de hidrógeno tienen una influencia marcada sobre los valores de remoción de sólidos suspendidos totales, pero no así para los valores de DQO⁹.

Se presenta un rápido abatimiento de los valores de color, turbiedad y DQO a dosis muy bajas tanto de coagulante como de coadyuvante. Lo anterior prevé un incremento porcentual en la eficiencia de remoción sobre las variables analizadas, mediante el uso de extracto de hojas de fique sobre efluentes con mayor carga contaminante¹⁹.

Deben establecerse con precisión las dosis óptimas de extracto de hojas de fique, dados sus bajos valores de pH y alta conductividad, que pueden alterar, en estos mismos parámetros, las muestras tratadas¹⁹.

No se aprecian variaciones significativas en los valores de pH y conductividad, usando el extracto de hojas de fique como coadyuvante de coagulación en efluentes de industria de pastelería, para ninguna de las muestras analizadas.

CONCLUSIONES

El uso del extracto de hojas de fique como coadyuvante de coagulación de efluentes de industria de pastelería permite una remoción media, estadísticamente significativa ($P < 0,050$), de 17% en los valores de color, 28% en los valores de turbiedad y 11% en los de DQO, estimados sobre los valores conseguidos por el coagulante solo y aplicado en aguas con bajos valores de carga contaminante expresada como DQO.

Las sustancias químicas presentes en el extracto de hojas de fique tienen capacidad de ser usadas como coadyuvante de coagulación en el tratamiento de aguas residuales, en la medida en que permiten la formación de micelas que encapsulan compuestos, gracias a la actuación de los grupos hidrófilo e hidrófobo. No obstante, se requieren mayores estudios moleculares para evidenciar, con claridad, los mecanismos de actuación de estas sustancias, incluyendo las saponinas.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la Dirección Nacional de Investigaciones de la Universidad Antonio Nariño por el apoyo técnico y financiero destinado a este proyecto. Al Ingeniero Diego Escobar por la ayuda prestada en el Laboratorio de Biotecnología Ambiental Aplicada, así como a los estudiantes que participaron en ella.

REFERENCIAS

1. ESPONDA, A. Arranque de un sistema experimental de flujo vertical a escala piloto de tipo humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales. Tesis de Licenciatura. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química, 2001.
2. RODRÍGUEZ MONROY, J. y DURÁN DE BAZÚA, C. Remoción de nitrógeno en un sistema de tratamiento de aguas residuales usando humedales artificiales de flujo vertical a escala de banco. *En: Tecnol. Ciencia.* 2006. Vol. 21. p. 25-33.
3. EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ. Informe mensual de actividades: planta de tratamiento de aguas residuales El Salitre. Fase I. Enero 2007 a abril de 2008. Bogotá D.C. 2008.
4. COLOMBIA. DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. Cuadro Censo 2005. [En línea]. Bogotá D.C.: DANE, 2005. [Citado 17 de agosto de 2010]. Url disponible en <http://www.dane.gov.co>.
5. RODRÍGUEZ, T.; BOTELHO, D. y CLETO, E. Tratamiento de efluentes industriales de naturaleza recalcitrante usando ozono, peróxido de hidrógeno y radiación ultravioleta. *En: Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia.* Diciembre 2008. Vol. 46, p. 24-38.
6. CHEN, J. P., et al. Bakery Waste Treatment. *En: WANG, Lawrence K. and HUNG, Yung-Tse. Waste Treatment in the Food Processing Industry.* Taylor & Francis. 2006, p. 271-289.
7. GAINER, D., et al. The Country Bake Story: How a modern bakery is achieving productivity and efficiency gains through cleaner production. *En: Sustainable Energy and Environmental Technology— Challenges and Opportunities (I: 14-17, June: Gold Coast).* Proceedings. Australia: 1998. p. 573-578.
8. YIM, B., et al. Bakery waste: its characteristics, Part I and II. *En: Indust. Wastes.* March/April 1975. p. 24-25 and 41-44.
9. LIU, J. C. and LIEN, C. S. Pretreatment of bakery wastewater by coagulation-flocculation and dissolved air flotation. *En: Water Sci Technol.* 2001. vol. 43, no. 8, p. 131-137.

10. CASIERRA-POSADA, F.; PÉREZ, W. A. y PORTILLA, F. Relaciones hídricas y distribución de materia seca en especies de fique (*Furcraea sp. Vent.*) cultivadas bajo estrés por NaCl. En: *Agronomía Colombiana*. 2006. Vol. 24, No. 2. p. 280-289.
11. MARTÍNEZ, M. A. y PACHECO, J. C. Protocolo para la micropropagación de *Furcraea macrophylla Baker*. En: *Agronomía Colombiana*. 2006. Vol. 24, No. 2, p. 207-213.
12. COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL (MAVDT) y CADENA PRODUCTIVA NACIONAL DEL FIQUE (CADEFIQUE). Guía ambiental del subsector fiquero. 2ª ed. Bogotá D.C.: El Ministerio, 2006. 122 p.
13. ARROYAVE, P. C. y VELÁZQUEZ, D. E. Aprovechamiento integral de *Furcraea macrophylla Backer*. Medellín, Colombia: Universidad EAFIT, 2001.
14. MARTÍNEZ, A. M. y CAICEDO, T. X. Bioensayo de toxicidad de los jugos de fique en peces, en el municipio de Tambo (Nariño). Tesis de postgrado, Especialización en Salud Ambiental. Bogotá D.C.: Universidad del Bosque, 2002.
15. ECOFIBRAS LTDA.; FONDO PARA LA ACCIÓN AMBIENTAL (FPA) y CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE SANTANDER (CAS). Proceso de descontaminación de lavado de fibras naturales y aguas residuales en la zona de carga hídrica del río Mogoticos, Fuente Abastecedora del Acueducto de San Gil. Bucaramanga, Colombia: FPA y CAS, 2004.
16. CADENA AGROINDUSTRIAL DEL FIQUE (CADEFIQUE). Informe 2008. Bogotá D.C.: Cadefique, 2008.
17. DUQUE, J. A. y GONZÁLEZ, L. P. Propuesta tecnológica para la producción de un agente tensoactivo biodegradable a partir del jugo del Fique como desecho del proceso de desfibrado. Medellín, Colombia, 1999. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín.
18. LONGSDON, G.; HESS, A. y HORSLEY, M. Guía para la selección de procesos de tratamientos de agua. Madrid: McGraw-Hill, 2002. 131 p.
19. LOZANO-RIVAS, William Antonio. Uso del extracto de fique (*Furcraea sp.*) como coadyuvante de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales. Memoria para la obtención de la Suficiencia Investigadora – DEA. Huelva, España: Universidad Internacional de Andalucía. Programa Interuniversitario de Doctorado en Biotecnología, 2010. 62 p.