

USO DEL EXTRACTO DE FIQUE (*Furcraea* sp.) COMO COADYUVANTE DE COAGULACIÓN EN TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS

William Antonio LOZANO-RIVAS

Laboratorio de Biotecnología Ambiental Aplicada, Grupo de Investigación GRESIA, Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Antonio Nariño. Calle 20 Sur No. 13 – 61, Bogotá D.C., Colombia. Correo electrónico: wlozano@uan.edu.co

(Recibido agosto 2010, aceptado febrero 2012)

Palabras clave: coagulación-floculación, fique, residuos sólidos municipales, tratamiento de lixiviados

RESUMEN

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 lixiviados parcialmente depurados provenientes del relleno sanitario de Doña Juana en Bogotá D.C. Este proceso consiste en la remoción de sólidos que le proporcionan turbidez y color al lixiviado mediante el uso de sales coagulantes. 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. Aunque el lixiviado evaluado contiene bajas concentraciones de sólidos, se obtuvieron mejoras promedio del 15 % en remoción de turbiedad y del 9 % en DQO, empleando combinaciones de 3000 mg/L de cloruro férrico hexahidrato, como coagulante, y 40 mg/L de extracto de hojas de fique, como coadyuvante, a pH de 8.57, respecto del uso del coagulante solo.

Key words: coagulation-flocculation, fique, leachate treatment, municipal solid waste

ABSTRACT

The results of tests using the extract from the leaves of fique (*Furcraea* sp.) as an adjuvant of coagulation to the physicochemical treatment of partially purified leachate from the Doña Juana landfill in Bogota D.C. are presented. This process involves the removal of solids that give turbidity and color to the leachates, using coagulant's salts. The treatability tests were conducted in jar test equipment using, as control variables, the parameters of color, turbidity, COD, pH and total dissolved solids. Although the evaluated leachate contains low concentrations of solids, improvements were achieved, on average 15 % removal of turbidity and COD of 9 %, using combinations of 3000 mg/L of ferric chloride hexahydrate as coagulant, and 40 mg/L of fique leaf extract as adjuvant of coagulation at pH 8.57, compared with the use of coagulant alone.

INTRODUCCIÓN

Los lixiviados son líquidos percolados, provenientes de la descomposición y estabilización de la basura dispuesta en los rellenos sanitarios y que se suman a la lluvia que se infiltra a través de los intersticios de las celdas de residuos y al mismo contenido de humedad original de estos. En su paso a través de las basuras, se presentan reacciones y procesos fisicoquímicos y microbiológicos que configuran su alto poder contaminante. El lixiviado tiene una composición muy variable, con presencia de materia orgánica recalcitrante y sustancias inorgánicas que incluyen metales pesados, nitrógeno amoniacal y elevadas cargas de cloruros, cuyos rangos de concentraciones dependerán, principalmente, de la edad, el pH, la temperatura, la fase de estabilización en la que se encuentren los desechos confinados y las características propias de los residuos depositados (El-Fadel *et al.* 2002); los lixiviados presentan tonalidades que abarcan desde el café-grisáceo cuando son jóvenes, hasta un negro viscoso cuando envejecen (Méndez-Novelo *et al.* 2009).

El tratamiento de lixiviados comprende desde la recirculación de éstos, asperjándolos sobre zonas consolidadas en la misma área de disposición hasta el tratamiento *in situ* mediante combinaciones de procesos fisicoquímicos y biológicos u otras alternativas combinadas, incluyendo la descarga en depuradoras municipales (Tchobanoglous *et al.* 1998). La eficiencia de los procesos de tratamiento dependerá de las características del lixiviado que están condicionadas por el nivel de estabilización de la basura en función de la edad del relleno sanitario (Enzinger *et al.* 1997).

Definir el mejor tratamiento de lixiviados es complicado por la diversidad de sustancias orgánicas e inorgánicas que posee y sus características cambiantes (Longsdon *et al.* 2002). No obstante, una de las tecnologías más empleadas es el tratamiento fisicoquímico que tiene el inconveniente de los elevados costos asociados a las altas cantidades de reactivos químicos usados (Marañón *et al.* 2008). Los procesos de coagulación-floculación son recomendados para la eliminación de sólidos suspendidos y color.

El coadyuvante empleado en esta investigación es extraído de la hoja del fique (*Furcraea sp.*), que es una planta fibrosa que crece en varias regiones de América tropical, perteneciente a la familia *Agavaceae*, siendo los géneros *Agave* y *Furcraea* los más representativos de esta familia. Aunque se presenta específicamente en las regiones andinas de Colombia y Venezuela, se encuentra de forma natural desde el

sur de México hasta Brasil (Casierra-Posada *et al.* 2006). En Colombia se denomina fique a las plantas pertenecientes al género *Furcraea* que comprende, aproximadamente, 20 especies que crecen de manera espontánea por todo el país y se cultiva en las zonas andinas tropicales (Martínez y Pacheco 2006).

El fique ha sido empleado desde hace varios siglos como fuente de fibra, conocida como *cabuya* para la fabricación de empaques, lo que ha mantenido un cultivo permanente en Colombia. Actualmente, la cabuya se emplea como empaque de productos agrícolas como papa (patata), café, y también para la fabricación de artesanías (MAVDT y CADEFIQUE 2006).

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 aún son manejados, en la mayoría de los casos, como residuo sin valor (Arroyave y Velásquez 2001). El extracto de la hoja es una suspensión de características variables que son dependientes de la edad de la planta, la estación del año y las características del suelo. Presenta un color verde ocre y es de olor fuerte. La densidad media es cercana a los 1.02 kg/L, con un pH variable entre 4 y 5. De forma cualitativa está conformado por: agua (85 %), celulosa (6 % D-glucosa), materia orgánica y amorfa (8 % constituida por sacarosa, proteínas, nitrógeno, fósforo, calcio, potasio, saponinas y sapogeninas) y minerales (1 %) (MAVDT 2006).

El extracto desechado de la hoja de fique, dadas sus características fisicoquímicas, es muy tóxico para los peces y los organismos acuáticos (Martínez y Caicedo 2002). Otras investigaciones han determinado que fuentes de agua contaminadas con residuos de extracto de hojas de fique pueden alcanzar concentraciones de DQO del orden de los 1 000 mg/L, lo cual lo convierte en una sustancia de gran impacto y altamente contaminante (Ecofibras Ltda. *et al.* 2004).

Dado que el extracto de la hoja de fique es casi siempre desechado como residuo con características contaminantes y que el cultivo de la planta es el único medio de subsistencia de cerca de 13 000 familias campesinas en Colombia y genera más de 60 000 empleos directos (CADEFIQUE 2008), surge la necesidad de encontrar nuevas aplicaciones para esta sustancia.

Las sapogeninas presentes en el extracto de la hoja de fique, entre otras propiedades, actúan como agentes surfactantes biodegradables que, disueltos en el agua, reducen su tensión superficial y actúan como disgregantes de grasas y aceites (Duque y González 1999). Estas características anfílicas son evaluadas en la presente investigación, de manera que puedan

CUADRO I. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Variable y unidades	Instrumento de medición	Precisión
Temperatura (°C)	Hanna HI2210	+/- 0.5 °C
pH (unidades)	Hanna HI2210	+/- 0.01 unidades
Sólidos disueltos totales (SDT – ppm)	Hanna Watercheck 1	+/- 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

ser aprovechadas como potenciales coadyuvantes de coagulación química en la remoción de contaminantes presentes en los lixiviados con el fin de incrementar las posibilidades de aprovechamiento de la planta.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el Laboratorio de Biotecnología Ambiental Aplicada de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Antonio Nariño, entre los meses de febrero y mayo de 2010, se llevaron a cabo 90 pruebas de tratabilidad, distribuidas en 15 series de seis ensayos cada una. Se recolectaron lixiviados del relleno sanitario de Doña Juana, que fueron parcialmente tratados en reactores anaerobios; estos lixiviados se generaron de celdas de residuos con edades y características diferentes, con mezcla de percolados producto de fermentación ácida y metanogénica.

Variables e instrumentos de medición. Las variables de control y los instrumentos de medición se muestran en el **cuadro I**.

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

Caracterización del lixiviado. Se realizaron cuatro muestreos de lixiviado. Los parámetros fisicoquímicos analizados para los lixiviados fueron pH, temperatura, color, turbiedad, sólidos disueltos totales (SDT) 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 que la materia orgánica recalcitrante presente en los lixiviados es removida con mayor facilidad por sales de hierro que por sales de aluminio (Tatsi *et al.* 2003, Monje y Orta 2004, Rivas *et al.* 2004, Ntampou *et al.* 2005). Las soluciones de coagulante

se prepararon en matraces aforados de 250 mililitros y en matriz de agua destilada, con concentración al 10 %. Las dosis se seleccionaron efectuando pruebas preliminares y considerando los valores propuestos por la bibliografía consultada (Enzminger *et al.* 1997), siendo empleadas dosis de 200, 500, 1000, 2000, 3000 y 4000 mg/L.

Variables de control. Las variables de control empleadas para las pruebas de jarras fueron 6: pH, temperatura (°C), turbiedad (UNT), color (UPC), sólidos disueltos totales (SDT) y demanda química de oxígeno (DQO). En cada corrida se usaron 500 mililitros de muestra en vasos de precipitados 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 tiempos y velocidades de mezcla señalados en el **cuadro II** para cada una de las fases, según la referencia (Longsdon *et al.* 2002).

CUADRO II. VELOCIDADES DE MEZCLA Y TIEMPOS PARA CADA FASE DE LA PRUEBA DE TRATABILIDAD

Fase	Velocidad de mezcla (RPM)	Gradiente (s)	Tiempo (min)
Mezcla rápida	300	320	1
Mezcla lenta	60	66	20
Sedimentación	0	0	30

Finalizada cada prueba de tratabilidad, 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. La dosis óptima de coagulante se determinó valorando los resultados obtenidos, dando mayor peso a las variables de color y turbiedad; los SDT, 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 prepararon nuevas series con muestras de lixiviado 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 1, 2, 5, 10, 20 y 40 mg/L, cuyas características fisicoquímicas promedio se muestran en el **cuadro III**. Las dosis de coadyuvante se seleccionaron mediante ensayos preliminares, previendo aplicaciones 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 matraces aforados de 250 mililitros 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.

CUADRO III. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL EXTRACTO DE HOJAS DE FIQUE EMPLEADO

Parámetro	Valor promedio
Temperatura (°C)	18.5
pH (unidades)	4.91
Sólidos disueltos totales (SDT - ppm)	1487
DQO (mg/L)	15367

Análisis comparativo entre el efecto del coagulante químico solo 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 corridas con muestras de lixiviado, 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 determinó pH, temperatura, color, turbiedad, SDT 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 de t ($\alpha = 0.05$) y con

la prueba de Mann-Whitney para las series de distribución no normal según la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov ($P < 0.05$), empleando el programa SigmaStat versión 3.5 (Systat Software, Inc.).

RESULTADOS

Caracterización. En el **cuadro IV** se muestran los resultados de la caracterización de los lixiviados, comparada con otros valores estimados para el relleno sanitario de Mérida en Venezuela, que presenta mezclas de residuos de diferentes edades (Méndez-Novelo *et al.* 2005), el Vertedero de Navarro en Cali, Colombia, ya clausurado (Valencia *et al.* 2007) y el Relleno Sanitario de la Región de la Sierra, ubicado en el ejido Arcadio Zentella del municipio de Teapa, Tabasco, México, con más de 5 años de operación (Laines *et al.* 2008).

Puede apreciarse que los valores de pH se encuentran cercanos a los valores que reportan los rellenos sanitarios en operación, al igual que la turbiedad. Al ser muestras parcialmente tratadas, la carga contaminante es menor a la usualmente presentada por este tipo de efluentes, lo cual se evidencia en los bajos valores de DQO. Los valores de conductividad son relativamente altos comparados con los otros lixiviados, lo cual estaría relacionado con los tratamientos fisicoquímicos aplicados *in situ* e, igualmente, por las características del material de cobertura de los residuos en el relleno sanitario.

Selección de dosis óptima de cloruro férrico (FeCl_3) como coagulante. Los resultados promedio de los 24 ensayos de coagulación química para las diferentes dosis de cloruro férrico en las muestras de lixiviado se exponen en el **cuadro V** y en las **figuras 1** y **2**, se muestran los resultados para color y turbiedad a diferentes dosis de coagulante.

Se evidencia un notable abatimiento de los valores de color y turbiedad en las muestras de lixiviados, con dosis por encima de los 2000 mg/L. Tanto el color como la turbiedad muestran comportamientos análogos para las dosis aplicadas. Las elevadas dosis de coagulante aplicadas provocan el 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

CUADRO IV. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LOS LIXIVIADOS PARCIALMENTE TRATADOS DEL RELLENO SANITARIO

Parámetro	Resultados promedio	Relleno Sanitario de Mérida, Venezuela (Méndez-Novelo <i>et al.</i> 2005)	Vertedero de Navarro, Cali, Colombia (Valencia <i>et al.</i> 2007)	Relleno Sanitario de Teapa, Tabasco, México (Laines <i>et al.</i> 2008)
pH (unidades)	8.57	7.9 – 8.5	9.09	6.8
T° (°C)	14.0	-	-	28
Color (UPC)	3000*	-	11745	1043
Turbiedad (UNT)	96	95 – 130	-	126
SDT (ppm)	3900**	1090 – 1180	-	2690
DQO (mg/L)	1803***	4268 – 7610	3552	439

*Valores determinados mediante dilución 1,5 a 10

**Valores determinados mediante dilución 1 a 5

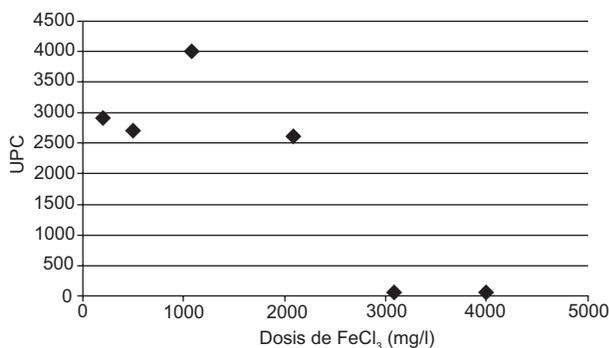
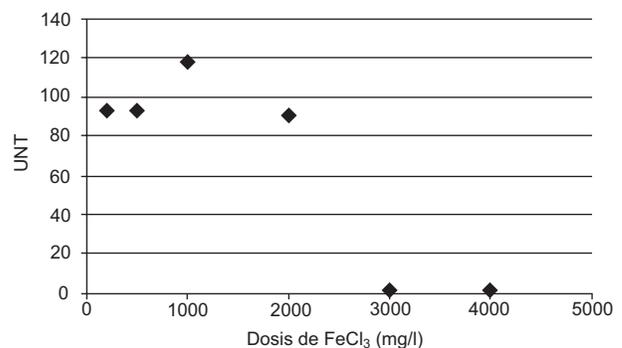
***Valores determinados mediante dilución 7 a 10

CUADRO V. RESULTADOS PROMEDIO DE COAGULACIÓN QUÍMICA PARA DIFERENTES DOSIS DE CLORURO FÉRRICO EN LIXIVIADOS

Vaso	Dosis FeCl ₃ (mg/L)	pH	Temperatura (°C)	Color (UPC)	Turbiedad (UNT)	SDT (ppm)**
1	200	8.39	16.0	2900*	93	4250
2	500	8.00	16.2	2700*	93	4200
3	1000	7.53	16.3	4000*	118	3800
4	2000	7.06	16.0	2600*	91	3950
5	3000	6.74	16.0	60	1.36	5300
6	4000	6.20	16.0	50	0.85	5200
Dosis óptima FeCl ₃ (mg/L)		3000				

*Valores determinados mediante dilución 1 a 10

**Valores determinados mediante dilución 3 a 10

**Fig. 1.** Comportamiento del color (UPC) a diferentes dosis de cloruro férrico (mg/L)**Fig. 2.** Comportamiento de la turbiedad (UNT) a diferentes dosis de cloruro férrico (mg/L)

férrico (3000 mg/L), se muestran en el **cuadro VI**; 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.

Con el uso de 40 mg/L de extracto de hojas de fique como coadyuvante de coagulación y una dosis de coagulante de 3000 mg/L, se evidencia un descenso en los resultados de turbiedad cercanos a los

obtenidos con dosis de 4000 mg/L para el coagulante solo. De forma leve y análoga al comportamiento de la turbiedad, se presenta un abatimiento en los valores de color. La naturaleza ácida del extracto de hojas de fique (pH entre 4 y 5 unidades) provoca una ligera disminución en los valores de potencial de hidrógeno de las muestras. De igual forma, los elevados valores de conductividad del extracto de hojas de fique (SDT

CUADRO VI. RESULTADOS PROMEDIO DE COAGULACIÓN CON ADICIÓN DE EXTRACTO DE HOJAS DE FIQUE COMO COADYUVANTE DE COAGULACIÓN EN TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS

Vaso	Dosis de FeCl ₃ (mg/L)	Dosis de extracto de hojas de fique (mg/L)	pH	Temp (°C)	Color (UPC)	Turb (UNT)	SDT (ppm)*
1	3000	1	6.42	16.2	70	1.32	4000
2	3000	2	6.47	16.5	70	1.23	4600
3	3000	5	6.44	16.7	70	1.21	4500
4	3000	10	6.37	16.0	60	1.20	4600
5	3000	20	6.39	15.8	60	1.18	4400
6	3000	40	6.30	15.8	50	0.84	4700
Dosis óptima (mg/L)	3000	40					

*Valores determinados mediante dilución 3 a 10.

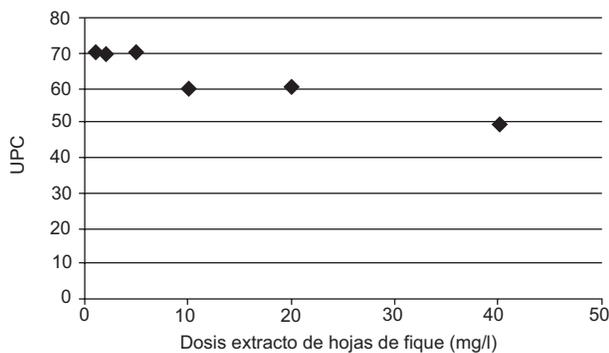


Fig. 3. Comportamiento del color (UPC) a diferentes dosis de extracto de hojas de fique manteniendo constante la dosis de cloruro férrico (3000 mg/L)

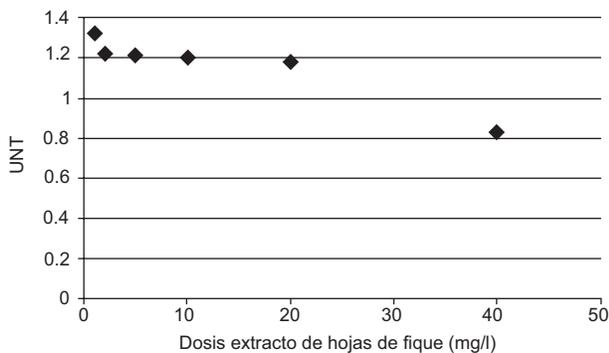


Fig. 4. Comportamiento de la turbiedad (UNT) a diferentes dosis de extracto de hojas de fique manteniendo constante la dosis de cloruro férrico (3000 mg/L)

entre 1800 y 2000 ppm), incrementan levemente los valores de conductividad en las muestras (Lozano-Rivas 2010).

Comparación de resultados del coagulante solo y con extracto de hojas de fique como coadyuvante.

Los resultados promedio de los 18 ensayos comparativos, distribuidos en tres series de seis vasos cada

una, para probar la eficacia del uso de extracto de hojas de fique como coadyuvante de coagulación en el tratamiento fisicoquímico de lixiviados se exponen en el **cuadro VII**. En las **figuras 5, 6 y 7** se muestran los resultados de los 18 ensayos (9 para coagulante solo 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, no así para los valores de color.

DISCUSIÓN

Aunque el lixiviado evaluado contiene bajas concentraciones de sólidos, dado que las muestras evaluadas han sido parcialmente tratadas en reactores anaerobios, se obtuvieron mejoras notorias en remoción de turbiedad y DQO, empleando combinaciones de 3000 mg/L de cloruro férrico hexahidratados, como coagulante, y 40 mg/L de extracto de hojas de fique, como coadyuvante, a un pH de 8.57 y temperatura media de 14 °C.

Dosis inferiores a los 3000 mg/L de coagulante, sin ajuste de pH, no mostraron un efecto marcado en la reducción de valores de color, turbiedad y DQO. No obstante, otras investigaciones muestran eficacia en el abatimiento de estos parámetros a dosis inferiores a los 2000 mg/L como lo referencian Méndez-Novelo *et al.* (2005), Valencia *et al.* (2007) y Laines *et al.* (2008), que pueden ser explicadas por la aplicación del tratamiento de coagulación-floculación en lixiviados crudos con cargas superiores a las empleadas por esta investigación. Lo anterior prevé un incremento porcentual en la eficiencia de

CUADRO VII. RESULTADOS PROMEDIO DE COAGULACIÓN QUÍMICA VS. ADICIÓN DE COADYUVANTE EN LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO

Vaso	Dosis de FeCl ₃ (mg/L)	Dosis de extracto de hojas de fique (mg/L)	pH	Temperatura (°C)	Color (UPC)	Turbiedad (UNT)	SDT (ppm)*	DQO (mg/L)
1	3000	-	6.47	15.9	70	1.13	5400	777
2	3000	-	6.45	15.8	80	1.14	5600	762
3	3000	-	6.49	15.8	70	1.10	5700	772
4	3000	40	6.50	15.7	70	0.96	5400	701
5	3000	40	6.50	16.0	70	0.95	5600	693
6	3000	40	6.46	15.8	70	0.94	5400	701

*Valores determinados mediante dilución 3 a 10.

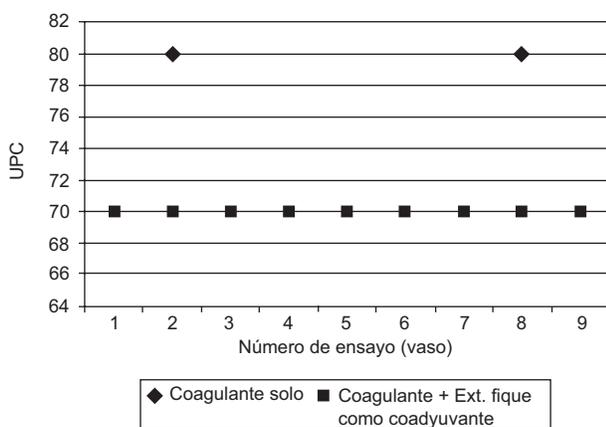


Fig. 5. Comparación de los resultados de color (UPC) en diferentes ensayos con aplicación de cloruro férrico solo (3000 mg/L) y combinación de cloruro férrico (3000 mg/L) con extracto de hojas de fique como coadyuvante (40 mg/L)

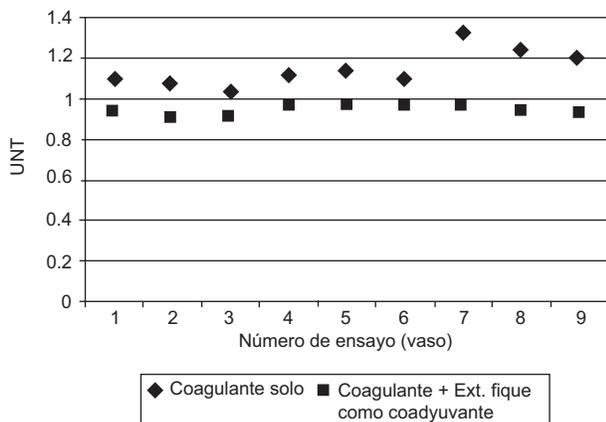


Fig. 6. Comparación de los resultados de turbiedad (UNT) en diferentes ensayos con aplicación de cloruro férrico solo (3000 mg/L) y combinación de cloruro férrico (3000 mg/L) con extracto de hojas de fique como coadyuvante (40 mg/L)

remoción sobre las variables analizadas, mediante el uso de extracto de hojas de fique como coadyuvante de coagulación, aplicado sobre lixiviados crudos.

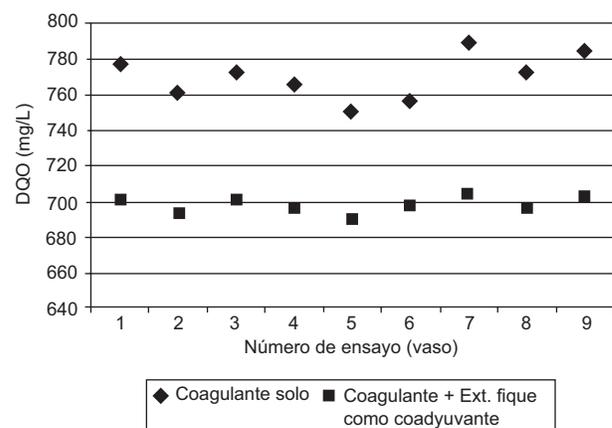


Fig. 7. Comparación de los resultados de demanda química de oxígeno (mg/L) en diferentes ensayos con aplicación de cloruro férrico solo (3000 mg/L) y combinación de cloruro férrico (3000 mg/L) con extracto de hojas de fique como coadyuvante (40 mg/L)

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 tratadas (Lozano-Rivas 2010).

No se aprecian diferencias significativas en los valores de remoción de color, usando el extracto de hojas de fique como coadyuvante de coagulación en lixiviados parcialmente tratados, ni tampoco cambios significativos sobre el pH, para ninguna de las muestras analizadas.

CONCLUSIONES

El uso del extracto de hojas de fique como coadyuvante de coagulación de lixiviados de rellenos sanitarios, permite una remoción media de 15 % en los valores de turbiedad y 9 % de DQO, estimados sobre los valores conseguidos por el coagulante solo.

Los resultados muestran que, para turbiedad, el

uso del extracto de la hoja de fique como coadyuvante, equivale a un ahorro de 1000 mg/L adicionales, de dosis de coagulante aplicado; valor que podría ser mayor mediante su empleo sobre lixiviados crudos con cargas contaminantes mayores.

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 a nivel molecular 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 Ing. Diego Escobar por la ayuda prestada en el Laboratorio de Biotecnología Ambiental Aplicada y al Ing. Óscar López y al Dr. Edwin González por la asesoría brindada durante la ejecución de la investigación, así como a los estudiantes que participaron en ella.

REFERENCIAS

- Arroyave P.C., y Velásquez D.E. (2001). Aprovechamiento integral de *Furcraea macrophylla* Backer. Universidad EAFIT. Medellín, Colombia.
- CADEFIQUE (2008). Informe 2008. Cadena Agroindustrial del Fique. Bogotá D.C.
- Casierra-Posada F., Pérez W.A. y Portilla F. (2006). Relaciones hídricas y distribución de materia seca en especies de fique (*Furcraea sp. Vent.*) cultivadas bajo estrés por NaCl. *Agronomía Colombiana*, 24, 280-289.
- Duque J.A. y González L.P. (1999). Propuesta tecnológica para la producción de un agente tensoactivo biodegradable a partir del jugo del fique como desecho del proceso de desfibrado. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín. Medellín, Colombia.
- Ecofibras Ltda., FPAA y CAS (2004). 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. Fondo para la Acción Ambiental y Corporación Autónoma Regional de Santander. Informe. Bucaramanga, Colombia.
- El-Fadel M., Bou-Zeid E., Chahine W. y Alayli B. (2002). Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content. *Waste Manage.* 22, 269-282.
- Enzlinger J.D., Robertson D., Ahlert R.C. y Kosson D.S. (1997). Treatment of landfill leachates. *J. Hazard. Mater.* 14, 83-101.
- Laines Canepa J.R., Goñi Arévalo J.A., Adams Schroeder R.H. y Camacho Chiu W. (2008). Mezclas con potencial coagulante para tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario. *Interciencia* 33, 22-28.
- Longsdon G., Hess A. y Horsley M. (2002). *Guía para la selección de procesos de tratamientos de agua*. McGraw-Hill, Madrid, 131 p.
- Lozano-Rivas W.A. (2010). 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. Programa Interuniversitario de Doctorado en Biotecnología, Univ. Int. de Andalucía, Univ. de Málaga y Univ. de Córdoba. Huelva, España. 62 p.
- Marañón E., Castrillón L., Fernández-Nava Y., Fernández-Méndez A. y Fernández-Sánchez A. (2008). Coagulation-flocculation as a pretreatment process at a landfill leachate nitrification-denitrification plant. *J. Hazard. Mater.*, 156, 538-544.
- Martínez A.M. y Caicedo T.X. (2002). Bioensayo de toxicidad de los jugos de fique en peces, en el municipio de Tambo (Nariño). Tesis de postgrado en la Especialización de Salud Ambiental. Universidad del Bosque. Bogotá D.C., Colombia.
- Martínez M. A. y Pacheco J.C. (2006). Protocolo para la micropropagación de *Furcraea macrophylla* Baker. *Agronomía Colombiana* 24, 207-213.
- MAVDT (2006). *Guía ambiental del subsector ficuero*. 2ª ed. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial y Cadena Productiva Nacional del Fique. Bogotá D.C., 122 pp.
- Méndez-Novelo R.I., Castillo-Borges E.R., Sauri-Riancho M.R., Quintal-Franco C.A., Giacomán-Vallejos G. y Jiménez-Cisneros B. (2009). Comparación de cuatro tratamientos fisicoquímicos de lixiviados. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 25, 133-145.
- Méndez-Novelo R.I., Castillo-Borges E.R., Sauri-Riancho M.R., Quintal-Franco C.A., Giacomán-Vallejos G. y Jiménez-Cisneros B. (2005). Physicochemical treatment of Merida landfill leachate for chemical oxygen demand reduction by coagulation. *Waste Manage. Res.* 23, 560-564.
- Monje R.I. y Orta de Velázquez M.T. (2004) Removal and transformation of recalcitrant organic matter

- from stabilized saline landfill leachates by coagulation-ozonation coupling processes. *Water Res.* 9, 2359-2367.
- Ntampou X., Zouboulis A. y Samaras P. (2005). Appropriate combination of physico-chemical methods (coagulation/flocculation and ozonation) for the efficient treatment of landfill leachates. *Chemosphere* 5, 722-730.
- Rivas J., Beltrán F., Carvalho F., Acedo B. y Gimeno O. (2004). Stabilized leachates: sequential coagulation-flocculation + chemical oxidation process. *J. Hazard. Mater.* 116, 95-102.
- Tatsi A., Zouboulis A., Matis K., y Samaras P. (2003). Coagulation-flocculation pretreatment of sanitary landfill leachates. *Chemosphere* 53, 737-744.
- Tchobanoglous G., Theisen H.A. y Vigil S. (1998). *Gestión integral de residuos sólidos*. vol. I, McGraw-Hill, Madrid, 469 pp.
- Valencia V., Agudelo J., Restrepo I. y Cajigas A. (2007). Evaluación del tratamiento fisicoquímico de lixiviados parcialmente estabilizados. Estudio de caso: Vertedero de Navarro. Memorias. I Conferencia Latinoamericana de Saneamiento – LATINOSAN 2007. Cali, Colombia. 12 al 16 de noviembre, 2007. CD-ROM.