

Tratamiento de aguas residuales textiles mediante un biorreactor de membrana

Treatment of textile waste water by membrane bioreactor

Lorena Salazar Gámez*
Martí Crespi Rosell**
Roberto Salazar***

* Doctora en Ingeniería Ambiental, Universidad Politécnica de Cataluña. Profesora investigadora Universidad del Norte, Barranquilla (Colombia). Losaga00@yahoo.com.

Correspondencia: Universidad del Norte, Laboratorio de Aguas, L5. Km 5 vía a Puerto Colombia, A.A.1569, Barranquilla (Colombia).

** Doctor Ingeniero Industrial, Universidad Politécnica de Cataluña (España). Director del Laboratorio de Control de la Contaminación Ambiental, Instituto de Investigación Textil y Cooperación Industrial INTEXTER, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona (España). cresp@etp.upc.edu

*** Master en Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Universidad de Cantabria (España). Profesor titular Universidad de Nariño, Pasto (Colombia). ros@udenar.edu.co

Resumen

En la actualidad, los investigadores dedicados al tratamiento de agua residual se han esforzado por obtener mejores rendimientos de depuración, reducción de costos de operación y mantenimiento en la generación de procesos que posean una elevada flexibilidad para soportar las variaciones en el afluente, que generen una mínima producción de lodos y que sean diseñados en condiciones mínimas de área. En este trabajo se expone una nueva tecnología en el tratamiento de agua residual, la de los Biorreactores de Membrana (BRM), que nace como respuesta de estas exigencias, ya que combina el sistema de fangos activados (FA) convencional y la filtración por membrana. Así mismo evalúa comparativamente el proceso de fangos activados y Biorreactor de Membrana a escala piloto en aguas de difícil tratamiento como son los efluentes textiles. Los resultados indican que el proceso de BRM reduce un 82 - 92% de la materia orgánica (DQO), un 95% de los sólidos en suspensión totales (SST), mientras que el proceso de fangos activados reduce un 54- 70% de la materia orgánica (DQO) y un 32- 43% de SST.

Palabras clave: Aguas residuales textiles, biorreactor de membrana, fangos activados.

Abstract

The principal objectives of the wastewater treatment are: high efficiency removal, low costs, stability in the quality effluent, a small amount of sludge production, and smaller foot- print. The aim of this paper is to evaluate the treatment of MBR and to compare it with a typical process of activated sludge (AS) at the same operative characteristics and affluent quality. The results demonstrate that a MBR process is more effective and stable than an AS, removing approximately a 82 - 92% of the COD, and 95 % of total solids suspended (TSS), meanwhile in sludge active process removing a 54 - 70% of the COD, and 32 - 43% of total solids suspended (TSS). In conclusion, the MBR process presents good results in order to treat textile wastewater.

Keywords: membrane bioreactor, sludge active process, textile wastewater.

Fecha de recepción: 29 de mayo de 2009
Fecha de aceptación: 28 de agosto de 2009

1. INTRODUCCIÓN

La industria textil es una industria que consume grandes cantidades de agua, energía y productos químicos auxiliares, además genera una gran cantidad de agua residual; estos efluentes poseen elevadas concentraciones de colorantes, contaminantes orgánicos refractarios, compuestos tóxicos, componentes inhibidores, tensioactivos, componentes clorados. Por lo tanto, se constituyen en uno de los efluentes de más difícil tratamiento. Investigaciones realizadas por Ghoreischi [1] presentan el efecto carcinogénico, mutagénico y el

deterioro al medio ambiente que generan los colorantes al ser dispuestos en fuentes superficiales. Estudios realizados por Baumgarten [2], entre otros, indican que el proceso más empleado para tratar estos efluentes son los biológicos; según la *Environmental Protection Agency* (EPA) [3], el proceso más empleado es el de Fangos Activados (FA). En estos procesos, la biodegradación de la materia orgánica se lleva a cabo mediante la acción de microorganismos en condiciones aerobias, y la separación sólido-líquido se lleva a cabo mediante un clarificador secundario. Si bien es cierto que este proceso es efectivo para eliminar la materia orgánica, su principal problema es el *bulking* del fango, que genera eliminación de biomasa en el clarificador secundario.

Los requerimientos normativos, así como la necesidad de ahorrar y/o reutilizar agua en la industria, hace necesario que se investigue nuevos procesos que permitan mejorar la remoción de componentes difícilmente biodegradables, partículas coloidales, virus, bacterias y permitan la posibilidad de la incorporación del efluente en el proceso productivo [4]-[6]. En la actualidad existen numerosas modificaciones al proceso de fangos activados, una de ellas es el proceso de Biorreactor de Membrana (BRM). Varios autores [7]-[11] sugieren que la tecnología BRM revolucionará el tratamiento de aguas residuales, debido a que este proceso involucra dos procesos en uno: el reactor biológico y la separación de sólidos mediante membranas de microfiltración (MF) o ultrafiltración (UF) [9]. El proceso BRM, en comparación con un proceso convencional de fangos activados, permite controlar el proceso biológico, tiene un mayor tiempo de retención de sólidos que funciona de manera independiente del tiempo de retención hidráulica; así mismo, elimina un alto porcentaje de los sólidos en suspensión y los microorganismos, tiene una elevada tasa de eliminación de la materia orgánica, menor producción de lodos, su puesta en marcha es mucho más rápida, y además requiere una menor área constructiva [12]-[15]. Sin embargo, es una tecnología naciente que requiere mayor investigación para su implementación, especialmente con efluentes de difícil tratamiento como los textiles.

El objetivo de este trabajo es evaluar comparativamente el proceso de tratamiento de aguas residuales textiles mediante un biorreactor de membrana y un proceso de fangos activados, bajo similares condiciones operativas y de calidad del efluente.

2. METODOLOGÍA

Para la evaluación del proceso BRM y FA en aguas residuales textiles (ART) es necesario diseñar y elaborar un efluente textil representativo, poner en marcha las plantas piloto y evaluar sus eficiencias.

2.1. Materiales y métodos

2.1.1. Preparación del efluente textil

El efluente textil está compuesto por diferentes efluentes del proceso de fábrica, se caracteriza por ser muy variable en caudal y tiene una amplia diversidad de productos provenientes de la eliminación en cada proceso. Con el fin de reproducir en laboratorio las características de un efluente textil representativo se simula el efluente de la industria de tintura y acabados de tejidos de algodón y sus mezclas. Varios autores [3], [17], [18] indican que el este efluente es uno de los más contaminantes, de difícil tratamiento y pertenece a un sector importante dentro de la industria textil. Para reproducir este efluente es necesario simular cada uno de los procesos y los efluentes que éstos generan. En la tabla 1 se observa la composición de cada uno de los distintos efluentes de los procesos unitarios que se generaran al procesar 1 Kg de materia prima. El diseño de mezcla fue realizado en el Institut Textil de Coperació Industrial de Terrassa (Universidad Politécnica de Cataluña - UPC).

Tabla 1. Composición efluente textil para 1kg de materia procesada

PROCESO	PRODUCTO	UNIDAD	CANTIDAD	Volumen (L)
DESENCOLADO Y DESCRUDADO	Fécula	g	9	10
TINTURA	Agua descalcificada	L	10	
	NaCl	g	500	
	NaOH	g	5	
	Na ₂ CO ₃	g	50	
	Colorante MX- 2R	g	4.8	
	Dispersante FINDET 1618	g	4.5	10
ACLARADO	Agua descalcificada	L	30	30
JABONADO	Agua descalcificada	L	30	
	AMPLEX CA-ECO (1%)	g	10	30
SUAVIZADO	Agua descalcificada	L	10	
	TETRATNYL ATH	g	0.7	
	Alcohol de polivinilo	g	18	10

2.1.2. Plantas piloto BRM y FA

Para este estudio se emplearon tres plantas piloto: una planta piloto de biorreactor de membrana (BRM) y dos plantas piloto de fangos activados (FA).

- PLANTA PILOTO BRM

La evaluación del proceso BRM se llevó a cabo en una planta piloto BRM, fabricada por POLYMEM® (Toulouse - Francia), provista de membranas de ultrafiltración (UFS3 y UFS2) y microfiltración (MFS), de polysulfona. Esta planta está compuesta por un tanque de alimentación (B1), donde se produce el proceso biológico; una bomba de succión (P1), que aspira el agua residual a través de las fibras huecas de las membranas; un tanque de contralavado (B2), que recibe el agua filtrada y abastece de agua para el contra lavado; un tanque de almacenamiento de la solución de limpieza (B4); un cuadro central de mandos (CCM), que es el encargado de controlar automáticamente todo el proceso (ver figura1). Tiene dos modos de funcionamiento: un modo normal, donde se produce la filtración de la biomasa del proceso biológico, y un modo lavado, donde se produce la eliminación de las partículas incrustadas en los poros de la membrana y la desinfección.

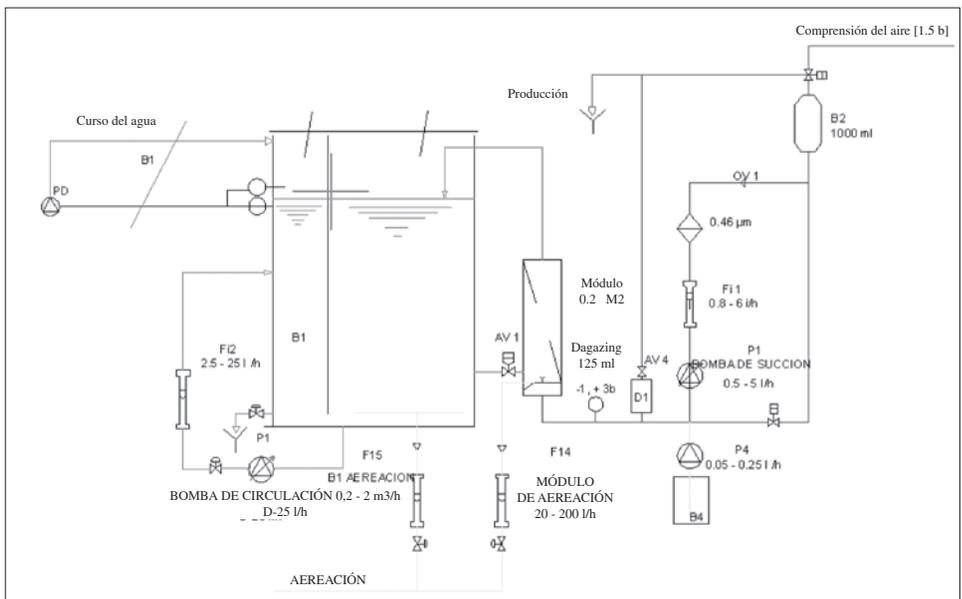


Figura 1. Diagrama de flujo de la planta piloto BRM

PLANTA PILOTO FANGOS ACTIVADOS (FA)

Las plantas piloto empleadas, de cristal AFORA 5190, están compuestas por un depósito de tratamiento biológico, un depósito decantador, una llave de salida en la parte inferior del reactor, un compresor de aire con difusores, una bomba dosificadora de caudal. El diagrama de flujo de las plantas piloto se describe en la figura 2.

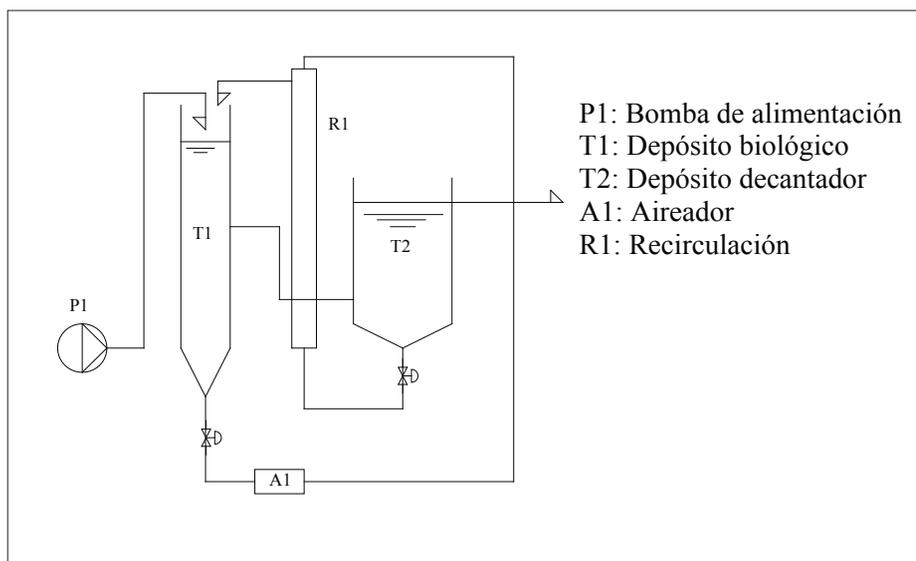


Figura 2. Diagrama de flujo planta piloto de fangos activados

2.1.3. Métodos de análisis

Se aplicaron diferentes técnicas de análisis al afluente, a los procesos biológicos FA y BRM y a los efluentes de los dos procesos. Los métodos aplicados incluyen parámetros físicos, químicos y bioquímicos. Los detalles de estas técnicas se resumen en la tabla 2.

Tabla 2. Relación de análisis de laboratorio y el método aplicado

	ANÁLISIS	EQUIPOS	REFERENCIA STANDARD METHODS
FÍSICOS	Temperatura	- Sonda multiparamétrica - 350 iWTW	2550 B
	Color Aparente	- Comparador visual de color - Aqua Tester Orbeco - Hellige	2120 B
	Turbiedad	- Turbidímetro - 2100 P Hach	2130 B
	Sólidos Suspendidos Totales	- Bomba de vacío - Gast manufacturing inc. - Balanza analítica - Precisa 180 A	2540 D, E
	Sólidos Suspendidos Volátiles	- Horno Mufla - Vulcan 3-550 - Horno - Cole Parmer - Desecador - OHAUS - Balanza analítica - Precisa 180 A	2540 D, E
QUÍMICOS	pH	- Sonda multiparamétrica - 350 iWTW	4500HB
	Conductividad	- Sonda multiparamétrica - 350 iWTW	2510 B
	Oxígeno Disuelto	- Oxímetro - inoLab WTW	4500 O G
	Nitrogeno Kjendahl	- Destilador Büchi 426	45000 N
	Alcalinidad Total	- Equipo de calibración - Bürette Digital - Heidolph - MR 1000	2320 B
	Fósforo Total	- Espectro-fotómetro UV-VIS - Genesys 5	4500 E
	Cloruros	- Método Argentometría, titulación normal agitador bureta digital y reactivos	4500 B
	Grasas y Aceites	- Extractor de Soxhelt	5520 D
BIO - QUÍMICOS	DQO	- Termorreactor digital Spectroquant - TR 620 Merck - Espectro-fotómetro UV-VIS - Genesys 5	5220 B
	DBO ₅	- Oxitop IS - 12 WTW - Incubadora TS - 606/3-i WTW	5210 D
	TOC	- Analizador TOC-NTIL 550	5310 B

2.1.4. Parámetros operativos

Se realizaron tres evaluaciones, con periodos de inoculación y puesta en marcha hasta alcanzar condiciones estacionarias. En la mayoría de los experimentos estas condiciones se alcanzaban en el tercer mes. El periodo

de muestreo fue de nueve meses, en el que se realizó por triplicado la experimentación. Los parámetros operativos se indican en la tabla 3; el parámetro de control en el afluente es la demanda química de oxígeno (DQO); en la biomasa de los dos procesos son los sólidos suspendidos totales del licor mezcla (SSTLM), y a partir de éstos tenemos los parámetros operativos dentro de los procesos: el tiempo de retención hidráulico (TRH), el volumen del reactor (V), la carga másica (F/M) y el tiempo de retención celular (SRT).

Tabla 3. Parámetros operativos de los procesos FA y BRM

Par.	Unidades	PROCESO	
		FA	BRM
M.O.			
(DQO)	mg/L	1500	1500
SSTLM	mg/L	3588	840
Q_e	L/d	2	6
S_0	mg DQO/L	1500	1500
TRH	d	2	9
V	L	4	40
F/M	kg DQO/kgSSVLM · d	0,2	0,2
SRT	d	43	45

El diseño de experimentos se indica en la tabla 4; este diseño se empleó para cada evaluación experimental.

Tabla 4. Parámetros analizados y frecuencia

ANÁLISIS	NÚMERO DE ANÁLISIS SEMANA					
	Entrada	SALIDA			BIOLÓGICO	
		BRM	FA1	FA2	BRM	FA
Conductividad	2	2	2	2		
pH	2	2	2	2		
Temperatura	2	2	2	2		
D.Q.O	2	2	2	2		
SST, SSTLM, SSVLM	2	2	2	2	2	2
C.O.T.	2	2	2	2		
Color, espectrofotometría	2	2	2	2		
Nitrógeno, NTK	1	1	1	1		

Continúa...

ANÁLISIS	NÚMERO DE ANÁLISIS SEMANA					
	Entrada	SALIDA			BIOLÓGICO	
		BRM	FA1	FA2	BRM	FA
DBO ₅	1	1	1	1		
Caudal	2	2	2	2		
Tasa Con. O ₂ (OUR)					2	2
DBO respirometria					1	1
Análisis Microbiológicos					2	2

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Características del efluente sintético

Uno de los resultados es la elaboración y caracterización del efluente sintético de la industria de acabados de tejidos de algodón y sus mezclas; este efluente se reprodujo en laboratorio y sus características se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Composición del efluente sintético representativo de la industria textil

PARÁMETRO	UNIDAD	EFLUENTE TEXTIL
pH		10
Conductividad	mS/m	1382
Temperatura	°C	20
COT	mg/L	617
SST	mg/L	119
DQO	mg/L	1500
DBO ₅	mgO ₂ /L	464
COLOR	Un. Hazen	2842
Absorbancia (490 nm)	a.u./cm	1,17
TENSIOACTIVOS		
Aniónicos	mg(LSNa)/L	0
Catiónicos	mg (Hy)/L	75
Fósforo	mg/L	1,6
Nitrógeno	mg/L	24
Grasas	mg/L	1,6
Cloruros	mg/L	1280

Se puede observar que es un efluente con un elevado contenido de materia orgánica difícilmente biodegradable, con gran cantidad de color y cloruros, que lo hacen un efluente de difícil tratamiento por métodos convencionales.

3.2. Evaluación de la eliminación de la materia orgánica

Se evaluó la eliminación de la materia orgánica, expresada en porcentaje de DQO eliminada. En la tabla 6 se resumen los resultados y los parámetros estadísticos obtenidos de la evaluación por triplicado de tres periodos operativos en las plantas piloto, en las que se evaluó el efluente del proceso de fangos activados (FA2), el componente biológico del proceso BRM (BRMsob) y el efluente del biorreactor de membrana (BRM).

Tabla 6. Evaluación de la eficiencia en la eliminación de la materia orgánica

	% DQO ELIMINADA		
	FA2	BRMsob	BRM
MEDIA	83	82	89
MÍN.	21	50	84
MÁX.	87	85	93
DS	27	10	3

Durante la experimentación se detectó la gran variabilidad del efluente de fangos activados y la estabilidad del efluente de BRM, en su parte biológica como en el total del proceso, como lo expresa su desviación estándar; esta tendencia se confirma en la figura 3, donde se observa el comportamiento de la eliminación del sustrato en un periodo de 72 días; este comportamiento se replicó en las tres evaluaciones experimentales. En general, el proceso de BRM tiene una eficiencia promedio de 89% en la eliminación de la materia orgánica expresada en DQO.

La figura 3 presenta el comportamiento en la eliminación de la materia orgánica, en las plantas piloto, de un periodo experimental. Se puede observar la inestabilidad del proceso de FA, la estabilidad del proceso biológico BRM y del proceso global de BRM. Esto se debe a que el proceso biológico BRM es compacto, no hay expulsión de biomasa, fenómeno que se observó en el proceso de FA, donde ocurrió el *bulking* de fango, debido a la presencia

de bacterias filamentosas; esto se observa más claramente en la evaluación de los sólidos suspendidos totales.

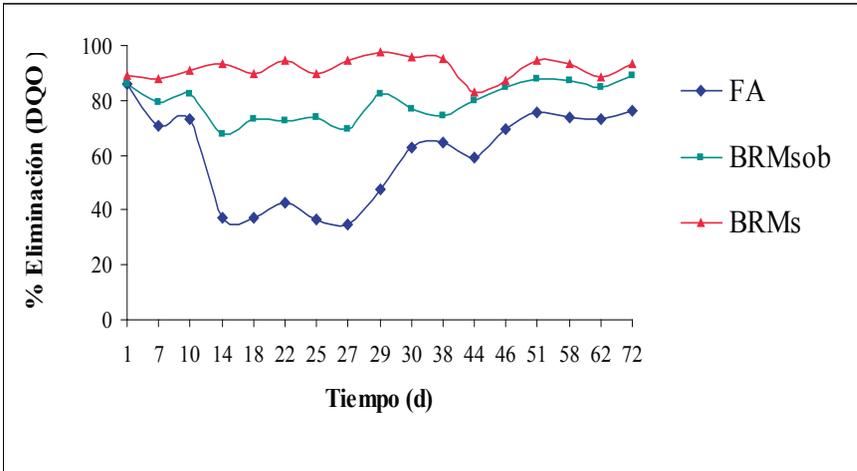


Figura 3. Evaluación del % de eliminación de la biomasa expresado en % de DQO

3.3. Evaluación del contenido de sólidos en suspensión

Se evaluó el porcentaje de eliminación de Sólidos Suspendidos Totales en tres periodos de operación de las plantas piloto. En la tabla 7 se observa que el porcentaje de eliminación de los sólidos en suspensión en el proceso de fangos activados se encuentra en un rango de 32–43%, debido a la generación del *bulking* del fango, sin embargo en el proceso de BRM la eficiencia en la eliminación de los SST es excelente, con un valor medio de 95%.

Tabla 7. Porcentajes de eliminación de los sólidos suspendidos totales (SST)

	AFLUENTE mgSST/L	CANTIDAD SST mgSST/L		
		FA2	BRMsob	BRM
MEDIA	110	66	72	5
MÍN.	121	18	68	5
MÁX.	100	102	78	5
DS	7	21	3	0
% ELIMINACIÓN	32	40	34	95

En la figura 4 se observa el comportamiento en la eliminación de los sólidos suspendidos totales (SST); es evidente la eficiencia y estabilidad del proceso BRM frente al de fangos activados. La sigla Xe se refiere a la concentración de SST en el efluente, XsFA es la concentración de SST en el efluente del proceso de FA, y XsMBR es la eficiencia en el efluente del proceso BRM.

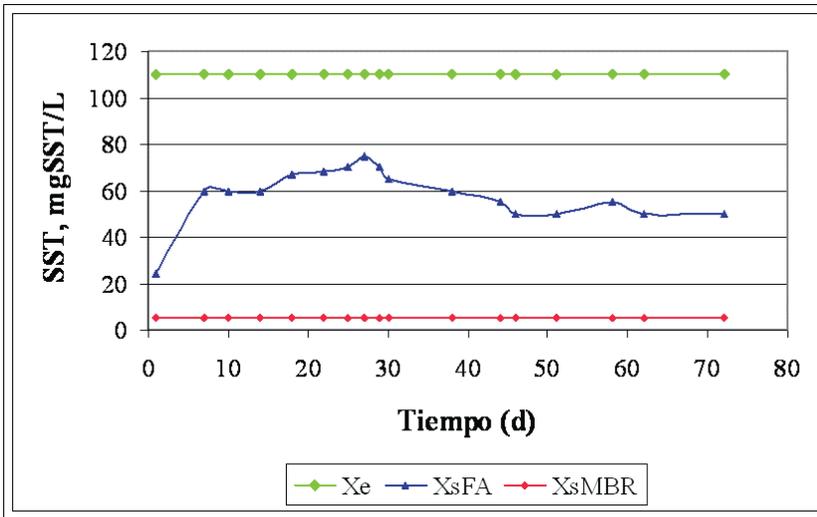


Figura 4. Evolución en la eliminación de los sólidos en suspensión de los procesos BRM y FA

Se puede observar la ventaja de la separación sólido-líquido de un BRM frente a un proceso de FA, ya que la membrana es una barrera que brinda una estabilidad al proceso, lo que no puede realizar el clarificador secundario.

3.4. Evaluación de la biomasa

Se evaluó el contenido de SSTLM en los biorreactores con el fin de realizar un seguimiento a la biomasa de los dos procesos. En la figura 5 se presenta el comportamiento de un periodo experimental; se observa que la biomasa del piloto BRM es estable, lo que indica una rápida adaptación a las condiciones operativas y al efluente sintético de la biomasa. Este comportamiento se replicó en los tres ensayos experimentales. En el proceso de FA se observa un incremento elevado de sólidos en suspensión hasta el día 18; sin embargo, este crecimiento se detiene, y se vuelve negativo, generado por la expulsión de la biomasa en el clarificador secundario; esto produce, a su vez, disminución en la eficiencia del sistema.

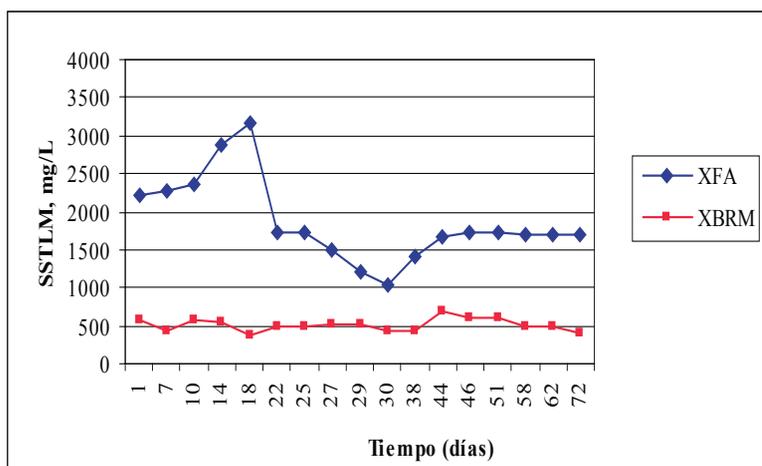


Figura 5. Contenido de biomasa (mg SSTLM/L) en los reactores biológicos BRM y FA

El comportamiento de la biomasa en el reactor se puede atribuir al fenómeno del *bulking* del fango. Metcalf y colaboradores (2003) atribuyen este fenómeno a la presencia de organismos filamentosos; estos organismos hacen que los flóculos sean voluminosos y poco consistentes, por lo tanto susceptibles a ser arrastrados en grandes cantidades en el fluente del tanque de sedimentación. En este estudio encontramos que estos flóculos poco consistentes forman una torta a la salida del decantador de la que gradualmente se desprenden materias en suspensión. La formación de la torta en el decantador se puede observar en la figura 6.



Figura 6. Formación de la torta en el decantador secundario proceso FA

3.5. Evaluación de la eliminación del color

Este es un parámetro de importancia en la evaluación, ya que las aguas textiles se caracterizan por su elevado contenido de color y la eliminación del mismo en procesos biológicos convencionales no es efectiva, con lo cual la alternativa de biorreactores de membrana puede ser interesante. En la tabla 8 se presentan los resultados medios de la eliminación del color de los procesos biológicos FA y BRM y del total del proceso BRM, donde el proceso de fangos activados remueve únicamente un 30% del color, y se atribuye esta eliminación a la adsorción de las partículas coloidales por la biomasa; la biomasa en el BRM retiene un 55% el color, un 25% más que el FA. Este comportamiento puede ser atribuido a las características del *floc* del proceso BRM, que es un *floc* disperso, de menores dimensiones, con lo cual hay una mayor área específica para atrapar las partículas coloidales [18].

Tabla 8. Porcentajes de eliminación del color en los procesos BRM y FA

Eliminación color	%
Fangos Activados	30
Biomasa BRM	55
BRM	69

Para este trabajo se evaluaron membranas de microfiltración (MFS) de un diámetro de poro de 0.2 μm , fabricadas en polysulfona. Los resultados medios, obtenidos a lo largo de la evaluación, indican que la influencia de la membrana en la eliminación del color es aproximadamente de un 14%. Si evaluamos el proceso global podemos decir que el proceso BRM elimina aproximadamente un 39% más el color que un proceso de FA. Así mismo, la eliminación del color en un proceso biológico no es estable, como se observa en la figura 7, donde debido a los cambios biológicos del sistema existen variaciones en la eliminación del color del efluente para FA1 y FA2, mientras que en el proceso de BRM es un proceso estable a lo largo del tiempo de operación y está blindado ante cambios o inhibiciones del proceso biológico.

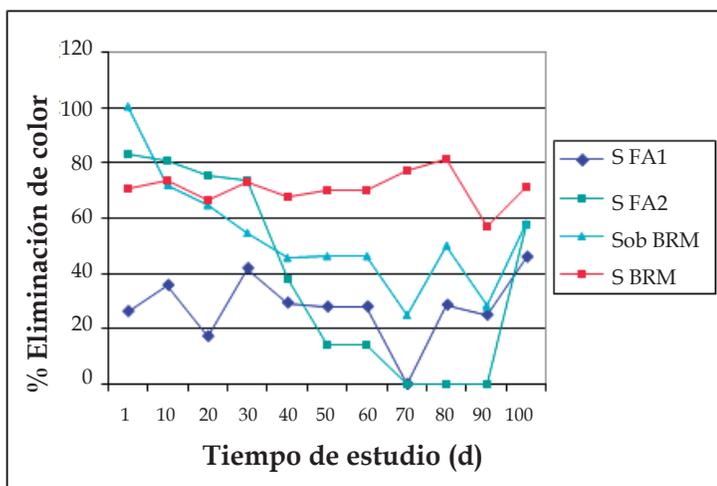


Figura 7. Evolución en la eliminación del color en los procesos BRM y FA

4. CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos, el tratamiento de aguas residuales textiles mediante un BRM resulta atractivo, ya que durante el desarrollo de la parte experimental presenta una mayor estabilidad del proceso, una remoción de la materia orgánica promedio de 89%, de sólidos suspendidos totales de 95% y de color del 69%.

Al comparar un proceso convencional de fangos activados, bajo las mismas características operativas, biomasa y efluente, según los resultados obtenidos podemos decir que el proceso BRM es un 22% más eficiente en la eliminación de la materia orgánica que el proceso de FA. Es evidente que la principal ventaja del proceso BRM es la estabilidad y calidad del agua tratada. En la eliminación del color, el proceso BRM elimina un 33% más que los fangos activados.

En este trabajo se verificó la información obtenida en la literatura sobre las desventajas del proceso biológico, ya que uno de los principales problemas del proceso de FA es la generación del *bulking*, lo que produce inestabilidad en el proceso y evacuación de la materia orgánica. Este fenómeno se presentó en los tres ensayos realizados, mientras que en el proceso BRM no

fue evidente, la cantidad de biomasa en el reactor se mantuvo constante, ya que las membranas retuvieron el material celular.

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos al grupo de trabajo del Laboratorio de Control de la Contaminación Ambiental del Insitut d'Investigació Textil i Cooperació Industrial INTEXTER de la Universitat Politècnica de Catalunya en la realización de este estudio.

Referencias

- [1] S. Ghoreischi and R. Haghighi, "Chemical catalytic reaction and biological oxidation for treatment non-biodegradable textile effluent", *Chemical Engineering Journal*, Vol. 95, pp.163- 169, 2001.
- [2] S. Baunmgarten, H.Fr. Schöder, and J. Pinnekamp, "Performance of membrane bioreactors used for the treatment of wastewater from the chemical and textile industries". *Wat. Sci. & Technol*, vol. 53, N° 9, pp. 61-67, 2006.
- [3] Environmental Protection Agency (EPA), *Waste Water Collection, Treatment and Storage*. USA: EPA, 1999.
- [4] Metcalf & Eddy, *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, 4^a ed. New York: McGraw-Hill, 2003, pp. 659 - 861.
- [5] R. Bai and H. Leow, "Microfiltration of activated sludge wastewater- the effect of system operation parameters", *Separation & purification Technology*, Vol. 29, pp. 183-189, 2002.
- [6] Y. Tsang, S. Sin, and H Chua, "Nocardia foaming control in activated sludge process treating domestic wastewater". *Bioresource Technology*, Vol. 99, pp. 3381-3388, 2008.
- [7]. J. Manem, and R. Sanderson, "Biorreactores de membrana", en *Tratamiento de Agua por procesos de membrana: Principios, procesos y aplicaciones*, American Water Works Association, Ed. Madrid: McGrawHill, 1998, pp. 757-787.
- [8]. P. Merlo, S. Adhams, P. Gagliardo, R. Trusell, "Application of membrane bioreactor (BRM) technology for water reclamation", in proceeding Water Environment Federation's technical exhibition, 2000, p. 40.
- [9]. N. Cicek, J. Franco, M. Suidan, V. Urbain, and J. Manem, "Characterization and comparison of a membrane bioreactor and conventional activated-sludge system in the treatment of wastewater containing high- molecular -weight compounds", *Wat. Environ. Res*, Vol. 71, pp. 64 -70, 1990.

- [10] S. Adham, J. De Carolis, J. Grounds, L. Waseserman, and B. Pearce, "BRM. Performance. Pilot-scale test show membrane bioreactor can treat raw wastewater or advanced primary system effluent", *Water Environment & Technology*, Vol. 74, pp. 33-39, 2004.
- [11]. S. Sandhya, K. Sarayu, and K. Swaminathan, "Determination of kinetic constants of hybrid textile wastewater treatment system", *Bioresource Technology*, Vol. 99, pp. 5793-5797, 2008.
- [12]. H. VanderRoest, A Van Bentem, and D. Lawrence, "BRM-technology in municipal wastewater treatment: challenging the traditional treatment technologies", *Water Science & technology*, Vol. 45, pp. 273 - 280, 2002.
- [13] B. Lesjean, S. Rosenberger, and J. Schrotter, "Membrane - aided biological wastewater treatment - an overview of applied systems". *Membrane Technology*, Vol. 8 pp. 5-10. August, 2004.
- [14] T. Stephenson, S. Judd, B. Jefferson, and K. Brindle, *Membrane bioreactors for wastewater treatment*, London: IWA Publishing and the authors, 2002, pp.175-186.
- [15]. N. Cicek, A review of membrane bioreactors and their potential application in the treatment of agricultural wastewater, *Canadian Biosystems Engineering*, Vol. 45, pp. 639- 646, 2003.
- [16] European Commission, Institute for Prospective Technological Studies, Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), *Reference Document on Best Available Techniques for the textiles industry*, Sevilla, 2002.
- [17] Asociación Industrial Textil del Proceso Algodonero (AITPA), "El sector textil de proceso algodono presenta sus resultados a la asamblea general". [on line] Disponible en: <http://www.aitpa.es/industria/text-mundo.htm>. Ultimo acceso: 19 Nov,2002.
- [18] L. Salazar, "Estudio de la depuración de efluentes de la industria textil, mediante un biorreactor de membrana", Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona, 2005.