

RENDIMIENTO OPERACIONAL DE UN REACTOR DE BIOMASA ADHERIDA MOVIL (MBBR) PARA EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE CELULOSA KRAFT

Cristina Alejandra Villamar, Jacqueline Decap, Paulina Aguayo y Gladys Vidal
Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile, Universidad de Concepción, Barrio Universitario s/n, casilla 160-C, Concepción, Chile. Tel: 56-4-2661033. E mail: glvidal@udec.cl

INTRODUCCIÓN

Efluentes de la industria de celulosa kraft, se caracterizan por generar grandes caudales de efluentes (75.000-80.000 m³/d) con alto contenido de sólidos suspendidos (2-4 ton/d), materia orgánica (2-3 ton DBO₅/d o 10-15 ton DQO/d), color (20-30 ton/d) y toxicidad debido a extractivos de la madera. En los últimos años, la industria de celulosa kraft en Chile, ha ido disminuyendo sus descargas de efluentes y sustituyendo sus tecnologías de tratamiento. Los sistemas biológicos convencionales (lagunas aireadas y lodos activados) implementados en el tratamiento de este tipo efluentes, están siendo reemplazados por unidades combinadas con sistemas de biopelícula (MBBR) conocidos como BAS (Biofilm Activated Sludge) (Vidal *et al.*, 2007). En algunos casos, los cambios en la operación, son habituales dentro de la producción de celulosa, siendo común el combinar el uso de *Pinus radiata* con *Eucalyptus globulus* como materias primas, esto ha generado una mayor descarga de extractivos de la madera (maderas duras como *Eucalyptus globulus*) causantes de toxicidad aguda y crónica (Kostamo *et al.*, 2004; Xavier *et al.*, 2005). Existen varias ventajas que pueden estar relacionadas con los sistemas MBBR, tales como su alta estabilidad ante cambios bruscos en la operación (restringen el bulking), son unidades de tratamiento más compactas (no requieren de sedimentador secundario) y son altamente eficientes para el tratamiento de efluentes recalcitrantes (alta relación DQO/DBO₅) (φdeegard *et al.*, 2000; Rusten, 2006, Malmqvist *et al.*, 2007). El principio básico en que se fundamenta este tipo de tecnología, es el crecimiento y adhesión de biomasa bacteriana a soportes plásticos, los cuales se mueven

libremente dentro del reactor y se caracterizan por su densidad (0,95-0,98 gr/cm³) y alta área específica (200-1200 m²/m³).

OBJETIVOS O HIPÓTESIS

El objetivo de este trabajo, fue evaluar el rendimiento de un sistema MBBR en cuanto a carga orgánica, color y compuestos específicos, cuando se opera con distintos tipos de efluentes en la industria de celulosa kraft (*Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*).

METODOLOGÍA

Efluentes industriales

Las muestras de efluente crudo de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*, fueron recolectadas después de la descarga del tratamiento primario de la industria de celulosa kraft local. Se almacenaron en bidones de 50 L a 4°C y en condiciones de oscuridad.

Sistema aeróbico MBBR

Un MBBR de 2.5L fue operado por 333 días, utilizándose soportes de polipropileno (Natrix C2) con una densidad y área específica de 0.98 g/cm³ y 305 m²/m³, respectivamente.

Métodos analíticos

Fueron evaluados analíticamente: SSV (Sólidos Suspendidos Volátiles), SST (Sólidos Suspendidos Totales), DQO (Demanda Química de Oxígeno), DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y compuestos fenólicos totales medidos mediante el Standard Methods (APHA-AWWA-WPCF, 1985). Compuestos específicos (lignina y aromáticos) fueron medidos de acuerdo a lo descrito por Cecen (2003). Ensayos de fraccionamiento molecular se realizaron por ultrafiltración, con membranas de celulosa (Micro-Prodicon Model UHP 75) de 10000, 5000 y 1000 Da de tamaño de poro (Vidal *et al.*, 2001b).

Análisis microbiológico

Se realizó un seguimiento microbiológico, que consistió en el conteo de células bacterianas (suspendidas/adheridas), mediante la técnica de Epifluorescencia Dapi. Esto consiste en el seguimiento del ADN y ARN bacteriano (blanco-azulado)

a través de una metodología de tinción y su cuantificación a través de fluorescencia (medida a longitud de onda 365 nm) (Hobbie *et al.*, 1977).

Estrategia de operación

Se disminuyó progresivamente el TRH (Tiempo de Retención Hidráulica) en una razón 2:1 respecto al TRH anterior. Se operó en 6 fases (I-II: influente de *Pinus radiata* y relación de DBO₅:N:P de 100:5:1), (III-VI: influente de *Eucalyptus globulus* y relaciones de DBO₅:N:P de 100:3:1 y 100:1:1). El sistema fue inoculado con 10 mg SSV/L de lodo. Las concentraciones de oxígeno se mantuvieron siempre sobre los 6 mg/L.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 describe los 11 parámetros característicos, evaluados en efluentes crudos (influyente del reactor) de la industria de celulosa kraft. Valores de pH fueron mayores para *Pinus radiata* (10.9-11.0) que para *Eucalyptus globulus* (7.1-7.2), siendo necesario ajustar este parámetro a 7.0 antes de su ingreso al sistema. La fracción biodegradable (DBO₅/DQO) fue baja para ambos tipos de influentes (0.23-0.33).

Tabla 1. Parámetros característicos de efluentes de la industria de celulosa kraft

Parámetro	Fase				
	I-II			III-VI	
	Unidad	Rango	Promedio	Rango	Promedio
pH		10.9-11.2	11.1 ±0.2	7.1-7.2	7.1±0.05
COD	mg/L	1936.2-2293.8	2115.0±252.9	444.5-491.4	467.9±33.2
BOD ₅	mg/L	436.0-542.4	489.2±75.3	150.0-168.0	159.0±12.7
Nitrógeno total	mg/L	1.4-2.1	1.8 ± 0.4	1.5-5.7	3.5±3.2
N-NH ₄ ⁺	mg/L	0.66-0.68	0.67±0.1	0.6-1.2	0.9±0.4
P-PO ₄	mg/L	0.6-0.7	0.7± 0.1	0.1-1.4	0.8±0.1
Color	Abs	0.840-0.876	0.858±0.030	0.086-0.104	0.095±0.010
Comp.fen.tot	mg/L	637.2-798.1	717.6±113.7	117.2-150.0	133.6±23.2
Derv. Lignina	Abs	0.571-0.653	0.612±0.06	0.094-0.145	0.119±0.030
Derv. Lignina	Abs	0.522-0.612	0.657±0.060	0.103-0.158	0.130±0.050
Comp. arom.	Abs	0.739-0.769	0.754±0.020	0.127-0.187	0.157±0.040

La Figura 1, muestra la variación de los factores operaciones del MBBR durante la operación. Se pudo observar, que el lodo durante la operación fluctuó entre disperso y floculento, condición que estuvo relacionada con cambios en el tipo de influente y el TRH. El reactor requirió de un TRH para estabilizarse cuando este fue sometido a algún cambio operacional (tipo de influente o relación de nutrientes). Durante toda la operación, se observaron buenas condiciones de sedimentabilidad.

La Figura 2, describe la eficiencia de eliminación de carga orgánica del reactor. Se pudo observar, que durante toda la operación, el sistema fue altamente eficiente en la eliminación de DBO₅ (98.5-76.6%). Las variaciones en la eficiencia de eliminación de DQO (68.7-29.5%), estuvieron relacionadas por cambios en el tipo de influente (efluente crudo) y la relación de nutrientes.

La Figura 3, describe el comportamiento del fraccionamiento de la DQO, color y compuestos fenólicos totales para *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* durante toda la operación. La mayor fracción en el influente, se concentró en tamaños mayores a 10.000 Da (DQO, fenoles totales y color). Sin embargo, DQO fue eliminado en fracciones menores a 1000 Da, color y fenoles totales se eliminaron para rangos entre 5000 a 1000 Da. Las mayores concentraciones en el efluente tanto para color y fenoles totales, muestran que existió polimerización de compuestos fenólicos en tamaños de partículas mayores a 10.000 Da.

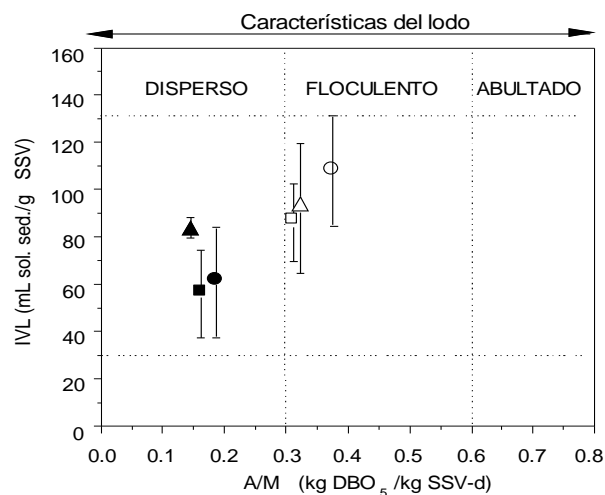


Figura 1. Relación de las condiciones de sedimentabilidad con F/M para TRH de 85 (■), 39 (□), 40 (●), 17 (○), 8 (▲) and 4 (△) h.

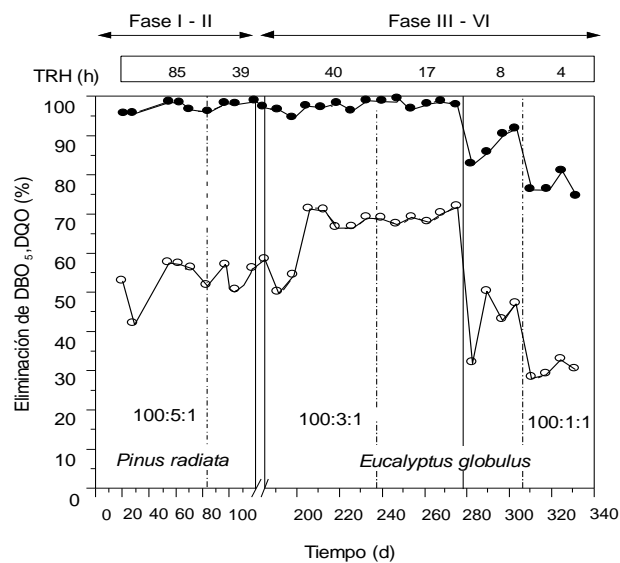


Figura 2. Eficiencias de eliminación de carga orgánica. COD (O) y BOD₅ (●).

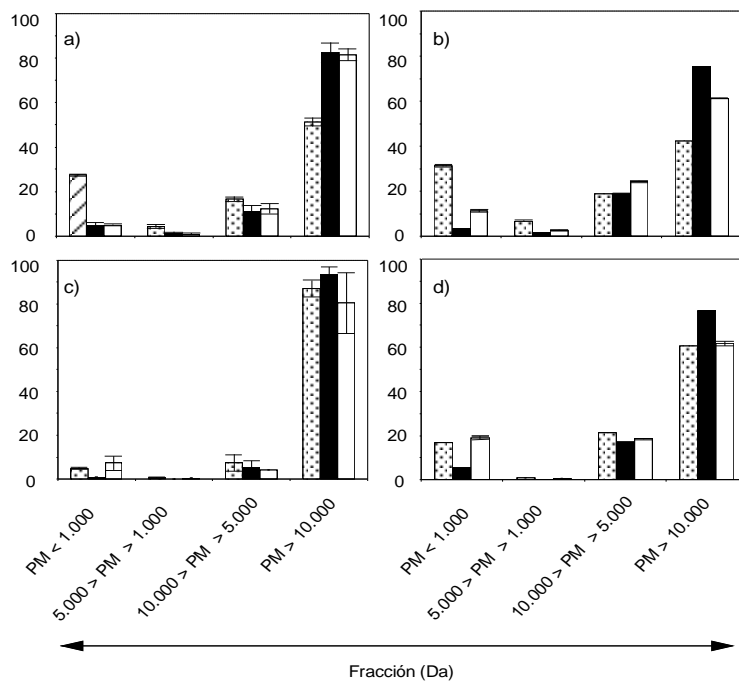


Figura 3. Ultrafiltración de Influentes: a) *Pinus radiata*, b) *Eucalyptus globulus*, Efluentes: c) *Pinus radiata*, d) *Eucalyptus globulus*. Para los compuestos fenólicos totales (▨), color (■) y DQO(□).

La Tabla 2, resume la dinámica de la biomasa (suspendida/adherida) durante la operación con *Eucalyptus globulus*. La biomasa adherida (71.5-85.6 %) siempre fue mayor a la suspendida (28.5-14.4 %). El porcentaje de la biomasa (suspendida y adherida) estuvo influenciado por la relación de nutrientes.

Tabla 2. Dinámica de la biomasa (suspendida/adherida) durante la operación con efluentes de *Eucalyptus globulus*

TRH horas	SUSPENDIDA células/mL				ADHERIDA células /cm ²			
40	4.4x10 ⁴	±	2569	28.5%	1.1x10 ⁵	±	2174	71.5%
17	-		-	-	-		-	-
8	9.0x10 ³	±	546	15.5%	4.9x10 ⁴	±	3178	84.5%
4	9.4x10 ³	±	22	14.4%	5.6x10 ⁴	±	2835	85.6%

CONCLUSIONES

Efluentes de *Pinus radiata* son un 25% más recalcitrantes que *Eucalyptus globulus*. El lodo de un sistema MBBR varía entre disperso a floculento, sin verse afectada su condición de sedimentabilidad, este comportamiento es atribuido a una disminución en el TRH después de variaciones en la operación (tipo de influente y relación de nutrientes). El sistema es altamente eficiente en la eliminación de carga orgánica, pero la eficiencia de eliminación de compuestos recalcitrantes (variabilidad de la DQO) depende del tipo de influente y TRH. Existe polimerización de compuestos fenólicos concentrados en tamaños mayores a 10.000 Da (*Pinus radiata*). La biomasa adherida es alrededor de 3 veces mayor que la suspendida y su concentración depende de la relación de nutrientes.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el Proyecto Fondecyt 1070509.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA-AWWA-WPCF 1985 Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 16th Edition, Washington.

- Cecen, F. 2003. The Use of UV-VIS measurements in the determination of biological treatability of pulp bleaching effluents. Seventh International Water Association Symposium on Forest Industry Wastewater, Seattle (USA).
- Diez, M. C., Castillo, G., Aguilar, L., Vidal, G. & Mora, M. L. 2002. Operational factors and nutrient effects on activated sludge treatment of *Pinus radiata* kraft mill wastewater. *Bioresource Technol.* 83, 131–138.
- Hobbie J E, Daley R J, & Jasper S. 1977. Use of Nuclepore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy. *Appl. Environ. Microbiol.* 33:1225-1228
- Kostamo, A., Holmbom, B. & Kukkonen, J. 2004. Fate of wood extractives in wastewater treatment plants at kraft pulp mills and mechanical pulp mills. *Water Res.* 38, 972–982.
- Malmqvist, A., Welander, T. & Olsson, L. 2007 Long term experience with the nutrient limited BAS process for treatment of forest industry wastewater. *Water Sci. Technol.* 55(6), 89–97.
- Ødegaard, H., Gisvold, B. & Strickland, J. 2000. The influence of carrier size and shape in the moving bed biofilm process. *Water Sci. Technol.* 41(4-5), 383–391.
- Rusten, B. 2006 Design and operations of the Kaldnes moving bed biofilm reactors. *Aquacult. Eng.* 34, 322–331.
- Vidal, G., Videla, S. & Diez, M. C. 2001. Molecular weight distribution of *Pinus radiata* kraft mill wastewater treated by anaerobic digestion. *Bioresource Technol.* 77, 183–191.
- Vidal, G., Belmonte, M., Calderon, M. & Chamorro, S. 2007. Environmental advances in the Chilean bleaching kraft mill industry (In Spanish). *Induambiente.* 15, 6–30.
- Xavier, C., Chamorro, S. & Vidal, G. 2005 Chronic effects of kraft mill effluents and endocrine active chemical on *Daphnia magna*. *B. Environ. Contam. Tox.* 75, 670–676.