

Combinación de un biorreactor anaerobio de membranas (AnMBR) y de un fotobiorreactor de membranas (MPBR) para maximizar la recuperación de los recursos del agua residual urbana

J. Ferrer^{1,*}, T. Gómez-Gil¹, S. Greses², P. Moñino¹, M. Murgu², R. Pretel¹, A. Ruiz-Martínez¹, A. Viruela¹, F. Durán², J.B. Giménez^{2,+}, E. Jiménez^{1,+}, A. Robles², M.V. Ruano^{2,+}, L. Borrás², N. Martí², F. García-Usach¹, J. Serralta¹, D. Aguado¹, R. Barat¹, A. Bouzas², J. Ribes² y A. Seco²

¹ Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n. 46022 – València. València.

² Dpto. Ingeniería Química. Universitat de València. Avda. de la Universitat, s/n. 46100 – Burjassot. València.

+ Dirección actual: aqualia, gestión integral del agua, S.A., Avenida del Camino de Santiago, 40 28050 Madrid.

* jferrer@hma.upv.es

Resumen

El objetivo de este trabajo es estudiar la viabilidad económica y medioambiental de la tecnología de biorreactores anaerobios de membranas (AnMBR) combinada con fotobiorreactores de membranas (MPBR) para maximizar la recuperación de los recursos del agua residual urbana. Para ello, se han operado dos plantas a escala demostración. La planta AnMBR fue alimentada con el efluente del pre-tratamiento de la EDAR de la Cuenca del Carraixet (Valencia, España). La planta MPBR fue alimentada con el efluente de la planta AnMBR. Esta combinación resultó en una elevada eliminación de materia orgánica (en torno al 95%), bajas producciones de fangos (entre 0,17 y 0,29 kg SV·kg⁻¹DQO_{ELIMINADA}), adecuadas tasas de producción de metano (alrededor de 345 L_{CH4}·kg⁻¹DQO_{ELIMINADA}), y elevados porcentajes de recuperación del amonio disponible para el crecimiento de la biomasa algal (hasta el 100%).

Introducción

Los biorreactores anaerobios de membranas (AnMBR) permiten eliminar la materia orgánica del agua residual sin necesidad de aporte de oxígeno, lo que supone una reducción importante del gasto energético asociado al proceso de eliminación de materia orgánica (que en procesos de fangos activados supone hasta 2,5 kWh·m⁻³). Asimismo, permiten la recuperación de energía en forma de biogás, y reducen la producción de fangos hasta en un 90% (Jeison, 2007). Por tanto, los sistemas AnMBR constituyen una

tecnología prometedora para el tratamiento del agua residual urbana.

Además, es posible maximizar la sostenibilidad y rentabilidad de dicha tecnología mediante la recuperación de los nutrientes presentes en el efluente generado. Para ello, se plantea la combinación de la tecnología AnMBR con un fotobiorreactor de membranas (MPBR). Dicha combinación representa un novedoso esquema de tratamiento del agua residual que permite la captación de CO₂, y la generación de una biomasa algal que puede ser utilizada para la obtención de diversos productos industriales (proteínas, lípidos, etc.) o para la producción de biodiesel. Asimismo, es posible recuperar energía en forma de biogás mediante la digestión de la biomasa algal en el sistema AnMBR, aumentando además el contenido en nutrientes (N y P) de los fangos producidos, lo que mejora sus cualidades como fertilizante.

El objetivo de este trabajo es estudiar la viabilidad económica y medioambiental de la combinación AnMBR-MPBR, con el fin de maximizar la recuperación de recursos del agua residual urbana. Mediante esta combinación se pretende valorizar la materia orgánica en forma de biogás, recuperar los nutrientes presentes y generar un recurso hídrico susceptible de reutilización.

Materiales y métodos

La planta AnMBR (Figura 1a) consiste en un reactor anaerobio con un volumen total de 1,3 m³, conectado a dos tanques de separación con un volumen de 0,8 m³/tanque. Dichos tanques están dotados de módulos comerciales de membranas de ultrafiltración (PURON[®], Koch Membrane Systems, 0,05 μm de tamaño de poro, 30 m²). La planta MPBR (Figura 1b) consiste en cuatro fotobiorreactores de placa plana de 0,55 m³ cada uno, conectados a dos tanques de separación de 0,16 m³/tanque. Estos tanques están dotados de módulos de membranas idénticos a los de la planta AnMBR.

El funcionamiento de ambas plantas se evalúa a partir de la monitorización de las señales registradas *on-line* y a partir del seguimiento analítico de los principales parámetros del proceso. La mayoría de las técnicas analíticas utilizadas son aplicadas de conformidad a los procedimientos descritos en el *Standard Methods* (APHA, 2005).

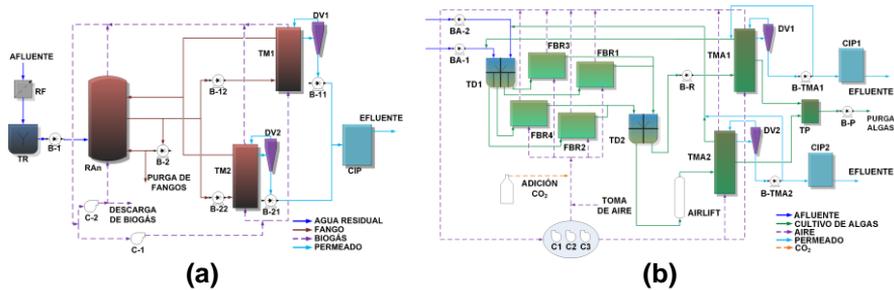


Figura 1. Diagrama de flujo de la planta AnMBR (1a) y MPBR (1b). Nomenclatura: **RF:** rotifiltro; **TR:** tanque de regulación; **RAn:** reactor anaerobio; **TM:** tanque de membranas; **CIP:** tanque de almacenamiento de permeado; **B:** bomba; **C:** soplante; **DV:** desgasificador; **TD:** tanque de distribución; y **FBR:** fotobiorreactor.

La planta AnMBR fue alimentada con el efluente del pre-tratamiento de la EDAR de la Cuenca del Carraixet (Valencia, España). Durante el periodo experimental, el agua residual afluyente a la planta AnMBR se caracterizó por una significativa concentración de sulfato ($109 \pm 23 \text{ mg S}\cdot\text{L}^{-1}$) y una concentración de DQO de $750 \pm 203 \text{ mg DQO}\cdot\text{L}^{-1}$. La planta se operó a tiempo de retención celular (TRC) de 40 y 70 días, y tiempo de retención hidráulico (TRH) entre 20 y 30 horas. La temperatura media durante el periodo de operación fue de $28 \text{ }^\circ\text{C}$. Por su parte, la planta MPBR fue alimentada con el efluente de la planta AnMBR, cuyas principales características son una concentración de amonio y fosfato de $58,7 \pm 3,7 \text{ mg N-NH}_4\cdot\text{L}^{-1}$ y $7,2 \pm 0,5 \text{ mg P-PO}_4\cdot\text{L}^{-1}$, respectivamente. Con el objetivo de determinar la capacidad de recuperación de nutrientes del sistema, la planta MPBR fue operada a diferentes TRC y TRH.

Resultados y discusión

Entre los resultados de operación de la planta AnMBR cabe destacar que la eliminación de materia orgánica se mantuvo en torno al 95%. La producción de fangos disminuyó al aumentar el TRC de 40 a 70 días, resultando en $0,29 \pm 0,09$ y $0,17 \pm 0,04 \text{ kg SV}\cdot\text{kg}^{-1}\text{DQO}_{\text{ELIMINADA}}$, respectivamente. A pesar de este incremento, la producción de fangos se mantuvo por debajo de los valores típicos para sistemas de tratamiento aerobios ($0,3\text{-}0,5 \text{ kg SST}\cdot\text{kg}^{-1}\text{DQO}_{\text{ELIMINADA}}$, Xing et al., 2003). Por otra parte, la producción de metano se mantuvo en torno a $345 \text{ L}_{\text{CH}_4} \text{ kg}^{-1}\cdot\text{DQO}_{\text{ELIMINADA}}$, siendo el rendimiento máximo teórico de $386 \text{ L}_{\text{CH}_4}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ DQO}_{\text{ELIMINADA}}$. En lo que respecta al sistema MPBR, se lograron porcentajes de recuperación de hasta el 100% del amonio disponible para el crecimiento de la biomasa algal. Dicho

porcentaje de eliminación se reprodujo en un amplio rango de condiciones de operación (e.g. TRC de 10 días, y TRH entre 2 y 10 días).

El consumo energético medio de la combinación AnMBR-MPBR resultó en $0,27 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ (equivalente a una huella de carbono de aprox. $0,09 \text{ kgCO}_2\cdot\text{m}^{-3}$). El coste de operación resultó en $0,047 \text{ €}\cdot\text{m}^{-3}$. Asimismo, si se incluye el beneficio económico que supone la recuperación de amonio en forma de biomasa algal (estimado a partir del coste del proceso Haber-Bosch), el coste de operación y la huella de carbono del sistema se reduciría hasta aprox. $0,011 \text{ €}\cdot\text{m}^{-3}$ y $0,01 \text{ kgCO}_2\cdot\text{m}^{-3}$, respectivamente.

Conclusiones

Con respecto al funcionamiento del sistema AnMBR, se obtuvieron eficiencias de eliminación de DQO en torno al 95%, la producción de fangos (entre $0,17$ y $0,29 \text{ kg SV}\cdot\text{kg}^{-1}\text{DQO}_{\text{ELIMINADA}}$) se mantuvo por debajo de los valores típicos para sistemas de tratamiento aerobios ($0,3$ - $0,5 \text{ kg SST}\cdot\text{kg}^{-1}\text{DQO}_{\text{ELIMINADA}}$), y la producción de metano ($345 \text{ L}_{\text{CH}_4}\cdot\text{kg}^{-1} \text{DQO}_{\text{ELIMINADA}}$) se aproximó a su rendimiento máximo teórico ($390 \text{ L}_{\text{CH}_4}\cdot\text{kg}^{-1} \text{DQO}_{\text{ELIMINADA}}$). Con respecto al sistema MPBR, se obtuvieron porcentajes de recuperación de hasta el 100% del amonio disponible para el crecimiento de la biomasa algal.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación de este trabajo al Ministerio de Economía y Competitividad (Proyecto MINECO CTM2011-28595-C02-01/02) conjuntamente con el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) y Generalitat Valenciana (GVA-ACOMP2013/203).

Referencias

- APHA (2005), Standard methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th edition. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environmental Federation, Washington DC, USA.
- Jeison D. (2007), Anaerobic membrane bioreactors for wastewater treatment: feasibility and potential applications, PhD Thesis, Wageningen University, The Netherlands.
- Xing C.-H., Wu W.-Z., Quian Y., Tardieu E. (2003), Excess sludge production in membrane bioreactors: a theoretical investigation, J. Environ. Eng. ASCE, 129, 291–297.