

# **Análisis de la influencia de la temperatura en el consumo de oxígeno de la biomasa aerobia de una planta combinada UASB-MBR mediante técnicas respirométricas.**

*Autores: M. G. Pacazocchi<sup>1</sup>, M. J. Moya-Llamas, E. D. Vásquez-Rodríguez, A. Trapote y D. Prats.*

<sup>1</sup> Instituto Universitario del Agua y de las Ciencias Ambientales. Universidad de Alicante. Campus de San Vicente del Raspeig. Carretera de San Vicente del Raspeig, s/n, 03080, Alicante, España.

mariagiulia.pacazocchi@gmail.com

## **Resumen**

Esta investigación tiene como objetivo evaluar la influencia de la temperatura sobre los procesos cinéticos de la biomasa aerobia en una planta híbrida UASB-MBR. El sistema está compuesto por una primera etapa anaerobia consistente en un reactor anaerobio de manto de fangos de flujo ascendente (UASB) seguido de una segunda etapa aerobia con un biorreactor de membranas (MBR) externo compuesto por un tanque aerobio y uno de filtración. Esta planta híbrida fue puesta en marcha y operada en el laboratorio del Instituto Universitario del Agua y las Ciencias Ambientales de la Universidad de Alicante, España. Fue alimentada con agua sintética para simular el tratamiento de un agua residual urbana de alta, media y baja carga orgánica, adicionando también contaminantes emergentes de diferente naturaleza. Después una primera fase de investigación sin biosoporte, en una segunda fase se añadieron carriers al tanque aerobio para su comparación. La característica principal de la planta UASB-MBR es tener un elevado potencial de eliminación de la carga orgánica, nutrientes y contaminantes emergentes. Dado que la etapa anaerobia opera de manera óptima a temperaturas elevadas (condiciones mesófilas y termófilas) para producir biogás, la investigación se centró en el estudio del comportamiento de la biomasa aerobia del sistema híbrido en rangos de temperaturas elevadas. Las técnicas utilizadas fueron las de respirometría para evaluar el requerimiento de oxígeno de la biomasa (OUR-SOUR). El equipo empleado fue un analizador de laboratorio de la línea BM de SURCIS. Los resultados permitieron relacionar la temperatura con el consumo de oxígeno de la biomasa para la optimización energética del sistema, comparando las condiciones operativas a las diferentes cargas, con y sin biosoporte en el tanque aerobio.

**Palabras Clave:** OUR, respirometría, sistema híbrido, temperatura, UASB+MBR.

## **Introducción**

La respirometría es una medida e interpretación de la velocidad y consumo de oxígeno en condiciones experimentales bien definidas. La velocidad de respiración (OUR) es la cantidad de oxígeno por unidad de volumen y tiempo, que es consumido por los microorganismos. Dicha velocidad está relacionada con dos procesos bioquímicos importantes: crecimiento de la biomasa y consumo de sustrato (Spangers y col., 1996).

Además, mediante técnicas respirométricas es posible evaluar los parámetros que están vinculados con el balance de oxígeno (Espinosa-Rodríguez et al., 2012). De entre los principales parámetros intervinientes en el proceso, la temperatura es uno de los factores más relevantes.

En el sistema híbrido UASB-MBR el reactor anaerobio trabaja a temperaturas elevadas (condiciones mesófilas y termófilas) para aumentar la producción de biogás, en cambio el reactor aerobio opera a temperatura ambiente. En este sentido, aunque los ensayos respirométricos se llevan a cabo a temperatura standard de 20°C, la influencia de la temperatura a la cual opera el reactor UASB puede hacerse patente sobre el comportamiento de la biomasa aerobia de la etapa siguiente.

## Objetivos

El objetivo de la investigación fue el estudio del comportamiento de la biomasa aerobia a temperaturas superiores a la standard, evaluando la tasa de oxígeno requerido (OUR) mediante técnicas respirométricas, con el fin de optimizar la utilización de energía en las dos etapas que constituyen un sistema híbrido.

Los ensayos se realizaron a tres temperaturas del rango psicrófilo (20°C, 23°C y 26°C) para cada escalón de carga fijados en el Proyecto TRACE (agua residual urbana a carga orgánica alta, media y baja).

En cada uno de los escalones y para las diferentes temperaturas se pretendió obtener y comparar la tasa de consumo de oxígeno por parte de los microorganismos contenidos en el licor mezcla del tanque de membranas, que forma parte del biorreactor de membranas externo de la planta híbrida UASB-MBR escala laboratorio.

Puesto que este ensayo se llevó dentro del Proyecto citado, el alimento de dicha planta fue dopado con diferentes contaminantes emergentes. Además, después una primera fase de investigación sin biosoporte, se añadieron carriers y fue posible comparar los resultados respirométricos de las dos condiciones para el caso de carga media.

## Materiales Y Métodos

Las pruebas de respirometría se realizaron en el laboratorio del Instituto Universitario del Agua y las Ciencias Ambientales de la Universidad de Alicante (España) con el equipo BM-EVO. Se utilizó un analizador de laboratorio de respirometría, incluido en la gama de respirómetros de la línea BM de SURCIS consistente en un sistema batch provisto de recirculación, que permite la ejecución de tres ensayos (Estático OUR, Cíclico OUR y Dinámico R), de los cuales el Estático fue utilizado en la presente investigación, realizándolo a tres temperaturas diferentes (20°C, 23°C y 26°C) para cada escalón de carga orgánica (alta, media y baja).

Los ensayos respirométricos se llevaron a cabo utilizando el licor mezcla procedente de la planta híbrida escala laboratorio utilizada para el estudio de la degradación y eliminación de contaminantes emergentes en aguas residuales de origen urbano, investigación enmarcada en el citado Proyecto TRACE (CTM2013-46669-R, del Ministerio de Economía y Competitividad), y compuesta por una primera etapa anaerobia consistente en un reactor anaerobio de manto de fangos de flujo ascendente (UASB) seguido de una segunda etapa aerobia con un biorreactor de membranas (MBR) externo compuesto por un tanque aerobio y uno de filtración.

El contenido de sólidos del licor mezcla se mantuvo en niveles inferiores a los 4000 mg/L en los tres escalones de carga analizados, motivo por el cual no requirió de una dilución previa.

Cada muestra fue preparada un día antes de la ejecución del ensayo poniéndola en condiciones de aireación, agitación y recirculación de manera que permitiese al licor mezcla alcanzar las condiciones endógenas dentro de 24 horas. Durante este mismo tiempo se inhibió el proceso de nitrificación adicionando Allylthiourea a la muestra en la proporción de 3 mg·gSSV<sup>-1</sup>.

Una vez que la muestra se saturaba de oxígeno y alcanzaba la primera de las temperaturas establecidas era posible iniciar el ensayo OUR: se paraba la aireación y la recirculación (pero se seguía agitando ininterrumpidamente). A partir de este momento, automáticamente se empezaba a registrar la pendiente de caída del oxígeno por consumo del mismo por parte de los microorganismos. La pendiente es la velocidad de consumo de oxígeno o tasa de respiración denominada por el programa como OUR (Oxygen Uptake Rate):

OUR = pendiente (OD, t) (1)

siendo:

OUR: tasa (velocidad) de consumo de oxígeno en el licor mezcla, mgO<sub>2</sub> consumido·L<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>.

OD: oxígeno disuelto presente en el licor mezcla en cada instante, mgO<sub>2</sub>·L<sup>-1</sup>.

t: tiempo, h.

A partir de la tasa OUR se determinó la tasa específica de consumo de oxígeno (SOUR-Specific Oxygen Uptake Rate). Ésta es una relación entre la actividad media de los lodos y los sólidos en suspensión volátiles (XSSV) existentes en el reactor biológico. Un fango es más activo cuando, para una misma cantidad de sustrato y una misma población de microorganismos, depura más deprisa y, por lo tanto, la tasa SOUR es mayor.

SOUR = OUR/XSSV (2)

siendo:

SOUR: tasa (velocidad) específica de consumo de oxígeno en el licor mezcla, mgO<sub>2</sub> consumido·gMLSSV<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>.

XSSV: concentración de sólidos volátiles en el licor mezcla, gMLSSV·L<sup>-1</sup>.

El ensayo se daba por finalizado en el momento en que los microorganismos habían consumido todo el oxígeno y, por tanto, la concentración de éste se mantenía constante.

Este ensayo a tres temperaturas diferentes (20°C, 23°C y 26°C) se repitió para los tres escalones de carga orgánica a los que se fue sometida la planta híbrida: alta (0,80-0,60 KgDQO/m<sup>3</sup>·d), media (0,52-0,35 KgDQO/m<sup>3</sup>·d) y baja (0,13-0,09 KgDQO/m<sup>3</sup>·d). Además en una segunda fase de la investigación se añadieron carriers al tanque aerobio y se volvió a hacer los ensayos respirométricos para comparar los resultados de las dos fases en condición de carga media.

Resultados y Discusión

La Figura 1 representa un respirograma a 20°C donde se grafían los valores de OD calculados en función del tiempo. La pendiente de la curva corresponde al valor del OUR a la temperatura citada. A partir de este valor se obtiene el SOUR empleando la Ecuación (2).

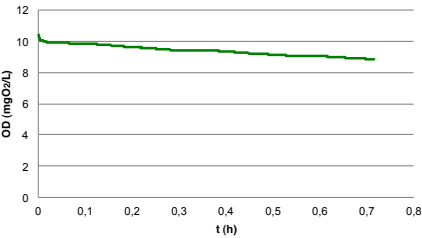


Figura 1. Respirograma OD-tiempo a la temperatura de 20°C. (Elaboración propia)

Los resultados individuales y los parámetros de proceso se presentan en la Tabla 1.

RESULTADOS CARGA ALTA				
TEMPERATURA °C	OD inicial mgO <sub>2</sub> /L	MLSSV g/L	OUR mgO <sub>2</sub> /L·h	SOUR mgO <sub>2</sub> /gMLSSV·h
20	10,43	2	1,50	0,75
23	9,69	2	2,23	1,11
26	8,95	2	2,92	1,46

RESULTADOS CARGA MEDIA				
TEMPERATURA °C	OD inicial mgO <sub>2</sub> /L	MLSSV g/L	OUR mgO <sub>2</sub> /L·h	SOUR mgO <sub>2</sub> /gMLSSV·h
20	10,43	1,6	1,23	0,77
23	10,23	1,6	1,94	1,21
26	9,59	1,6	2,47	1,54

RESULTADOS CARGA BAJA				
TEMPERATURA °C	OD inicial mgO <sub>2</sub> /L	MLSSV g/L	OUR mgO <sub>2</sub> /L·h	SOUR mgO <sub>2</sub> /gMLSSV·h
20	10,43	0,57	0,74	1,30
23	9,69	0,57	1,01	1,77
26	8,95	0,57	1,35	2,37

Tabla 1. Resultados y parámetros de proceso a las temperaturas elegidas. (Elaboración propia)

La Figura 2 representa como OUR y SOUR varían con la temperatura por cada carga. De los resultados se desprende que tanto el OUR como el SOUR aumentan con el incremento de la temperatura, es decir, la actividad de los microorganismos es más rápida a temperaturas más altas. Además, con una carga orgánica mayor la velocidad de consumo del oxígeno (OUR) aumenta. Respecto al SOUR, en carga media y alta los valores son muy similares debido a un aumento de los sólidos volátiles del licor mezcla en condiciones de carga alta.

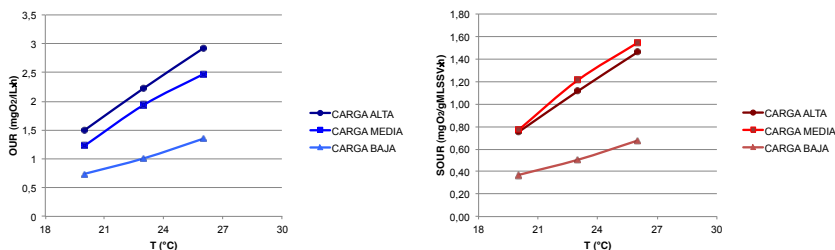


Figura 2. Comparación de los valores de OUR y SOUR para las diferentes cargas y temperaturas. (Elaboración propia)

La presencia del bioportador influyó sobre el consumo de oxígeno como demuestra la Figura 3: tanto el OUR como el SOUR bajan, pero la actividad de la biomasa sigue subiendo aumentando la temperatura de operación.

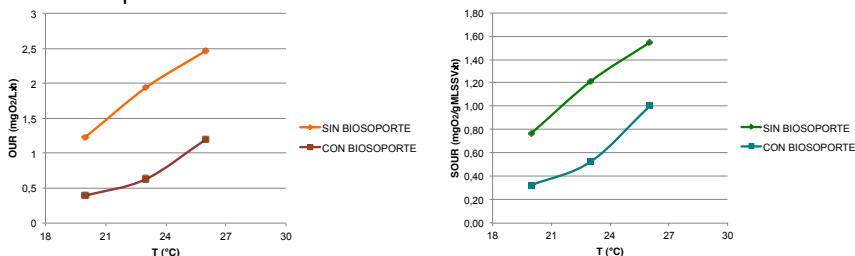


Figura 3. Comparación de los valores de OUR y SOUR sin y con bioportador a carga media. (Elaboración propia)

## Conclusiones

De los resultados obtenidos se puede concluir que se produjo un aumento en la velocidad del consumo de oxígeno con el incremento de la temperatura empleada durante cada ensayo y de la carga orgánica en la alimentación, evidenciándose especialmente en el caso de carga orgánica alta.

El mayor consumo de oxígeno denotó una buena actividad de los microorganismos, permitiendo entonces una depuración más intensa.

En resumen, las altas temperaturas a las cuales suele trabajar un reactor UASB supusieron una mejora de la eficiencia de la depuración del siguiente sistema aerobio, a pesar de que aumentó el consumo de oxígeno. No obstante, esto no representó un obstáculo para la eficiencia global del sistema ya que el aumento de la energía para la aireación quedó compensado con una mayor producción de biogás derivada de las temperaturas de trabajo elevadas del reactor anaerobio.

La adición de bioportador registró una mayor actividad de la biomasa al aumentar la temperatura con menor requerimiento de oxígeno que en la etapa anterior. Gracias a la presencia de los carriers en el tanque aerobio se obtuvo una evidente mejora de la eficiencia del sistema híbrido, puesto que a las altas prestaciones en depuración de esta tipología de planta con bioportador cabe añadir el consiguiente ahorro energético, factor que convierte al conjunto en más rentable.

## Agradecimientos

Este estudio fue parcialmente financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad vía el proyecto "Tratamientos combinados para la degradación y eliminación de contaminantes emergentes en agua" (CTM2013-46669-R).

## Referencias

1. Spangers H., Vanrolleghem P., Olsson G. and Dold P. (1996) *Respirometry in control of the activated sludge process. Water Science and Technology*, 34, 117-126.
2. Espinosa-Rodríguez M. A., Flores-Álamo N., Esparza-Soto M. and Fall C. (2012) *Efecto de la temperatura en la tasa de crecimiento y decaimiento heterotrófico en el rango de 20-32°C en un proceso de lodos activados. Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 11, 309-321.