

# Modelado cinético de un reactor biológico SBR para el tratamiento de aguas residuales de industrias fitosanitarias

Raúl Molina, M. Isabel Pariente<sup>\*</sup>, Iván Rodríguez, Juan Antonio Melero y Fernando Martínez

Departamento de Tecnología Química y Energética, Tecnología Química y Ambiental, Tecnología Mecánica, y Química Analítica Universidad Rey Juan Carlos. Tulipán s/n, 28933, Móstoles, Madrid.

\*isabel.pariente@urjc.es

## Resumen

El objetivo de este trabajo fue el tratamiento de un agua residual de origen agroquímico mediante un proceso biológico secuencial posterior a un proceso físico-químico de coagulación-floculación. Asimismo se ha modelado el reactor SBR considerando un modelo de inhibición de Haldane combinado con uno de sustrato complementario de Andrews para el crecimiento de microorganismos. También se ha considerado la muerte microbiana y la hidrólisis parcial de la materia orgánica poco biodegradable para formar sustrato rápidamente biodegradable. El modelo propuesto permite simular el funcionamiento del reactor incluso a cambios en la concentración de la alimentación.

## Abstract

The aim of this work was the treatment of an agrochemical wastewater by coagulation/flocculation and subsequent biological process. Moreover, the modelling of the SBR has been performed considering a Haldane inhibition model combined with Andrews' model for the growth of the microorganisms. Furthermore, microbial death and partial hydrolysis of the low biodegradable organic matter to form readily biodegradable substrate have been taken account. The proposed model allows simulating the reactor behaviour even with changes in the feed concentration.

## 1. Introducción

La gran cantidad de aguas residuales generadas tanto en la agricultura como en la industria ha motivado el estudio y el desarrollo de tecnologías para su regeneración y reutilización. En este sentido, es importante destacar la elevada solubilidad de los compuestos fitosanitarios, haciendo extremadamente fácil su propagación en el medio ambiente. Además, muchos de ellos son refractarios a tratamientos convencionales (Burrows y col., 2002). Es por ello, por lo que existe una gran diversidad de trabajos centrados en el tratamiento y evaluación de diferentes técnicas para el tratamiento de pesticidas, herbicidas e insecticidas. En algunos casos, estas técnicas se han utilizado como pretratamiento anterior a un proceso biológico (Pariente y col., 2013).

En este trabajo se ha estudiado el modelado de un reactor biológico secuencial (SBR) para el tratamiento de un efluente procedente de una industria de formulación de fitosanitarios pretratada mediante un sistema físico-químico de coagulación-floculación.

## 2. Materiales y métodos

El proceso de coagulación/floculación se realizó utilizando policloruro férrico con una relación molar OH/Fe de 2 (Molina et al., 2014). El reactor biológico SBR tiene un volumen de 2 L con 1 L de volumen de intercambio de líquido clarificado. La operación

del reactor por cada ciclo de funcionamiento ha consistido en 5 etapas de alimentación/reacción de 120 minutos cada uno, con el objetivo de maximizar la degradación de materia orgánica lentamente biodegradable. Estos ciclos están seguidos por una etapa de sedimentación, vaciado del clarificado y homogeneización antes de alimentar de nuevo el reactor. El tiempo de retención hidráulico es de 1 día, mientras que el tiempo de residencia celular se ha fijado en 30 días. El oxígeno disuelto, la temperatura ( $25 \pm 2$  °C) y el pH (7,5) se midieron durante todo el funcionamiento del SBR. Inicialmente, el SBR fue inoculado con biomasa procedente de una estación depuradora de aguas residuales localizada en Móstoles (España). El fango tuvo un proceso inicial de adaptación durante un periodo de 30 días utilizando un agua sintética sin productos fitosanitarios (Carrera y col., 2001) utilizando glucosa, sacarosa y acetato de sodio como principales fuentes orgánicas. Tras el periodo de adaptación, el agua agroquímica pretratada se alimentó al SBR de forma gradual, incrementando el contenido en carbono orgánico total procedente del agua agroquímica respecto al carbono total (agroquímica + sintética) en 2, 4, 10, 20 y 50 %. La relación C:N:P se mantuvo en 100:3:1 durante todos los experimentos.

Con objeto de realizar un seguimiento de la reacción biológica, se midieron, el carbono orgánico total, los sólidos volátiles totales, el nitrógeno en forma de amonio, nitritos y nitratos, del efluente antes y después del tratamiento biológico.

El funcionamiento del proceso biológico SBR se simuló considerando un modelo de inhibición de Haldane combinado con uno de sustrato complementario de Andrews para el crecimiento de microorganismos. También se ha considerado la muerte microbiana y la hidrólisis parcial de la materia orgánica poco biodegradable para formar sustrato rápidamente biodegradable. Los parámetros del modelo se han obtenido mediante calibración experimental con respirometría LSF (la medida de la concentración de oxígeno se realiza en fase líquida a través de un sensor de oxígeno disuelto y no se produce alimentación de líquido durante la medida, aunque sí de gas) y ajuste de parámetros, mediante un método de análisis de sensibilidad. Este modelo se ha integrado en los balances de materia en cada una de las fases de funcionamiento del reactor SBR.

Durante la fase de llenado, los balances de materia para los componentes (tanto disueltos como para la biomasa), y la variación de volumen durante cada etapa, quedarían descritos según las ecuaciones 1 y 2, respectivamente. Por otro lado, el balance másico para el oxígeno se puede describir según la ecuación 3. Todos los componentes de las ecuaciones están descritos en la Tabla 1.

$$\frac{dS_i}{dt} = \frac{Q}{V} (S_{E\_i} - S_{i(t=0)}) + r_{Si} \quad (1)$$

$$\frac{dV}{dt} = Q \quad (2)$$

$$\frac{dO_2}{dt} = k_{O_2} \cdot (O_{2\_saturation} - O_2(t)) + r_{O_2} \quad (3)$$

Durante la etapa de reacción, el caudal de alimentación es nulo, modificándose por tanto, las ecuaciones 1 y 2 convenientemente para  $Q = 0$ . Considerando que la conversión biológica tiene lugar únicamente durante la etapa de llenado y reacción, los componentes disueltos no cambian durante las etapas de sedimentación y re-suspensión, mientras que la biomasa se concentrará al final de la etapa de sedimentación en un factor determinante por la relación  $V_{total}/V_{clarificado}$ .

La velocidad de cada componente ( $r_{Si}$ ) según el modelo propuesto se describe en las ecuaciones 4-7. La ecuación 5 incluye el crecimiento y muerte celular, mientras que la ecuación 6 contabiliza la hidrólisis del sustrato lentamente biodegradable.

$$r_{Sc} = -\left(\frac{1}{Yc}\right) \cdot \mu_{max} \cdot \left(\frac{\cdot S_c}{K_s + S_c + \frac{S_c \cdot S_c}{K_i}}\right) \cdot \left(\frac{O_2}{K_{O+O_2}}\right) \cdot X_h + k_x \cdot S_{pc} \quad (4)$$

$$r_{X_h} = \mu_{max} \cdot \left(\frac{\cdot S_c}{K_s + S_c + \frac{S_c \cdot S_c}{K_i}}\right) \cdot \left(\frac{O_2}{K_{O+O_2}}\right) \cdot X_h - b_a \cdot X_h \quad (5)$$

$$r_{S_{pc}} = -k_x \cdot S_{pc} \quad (6)$$

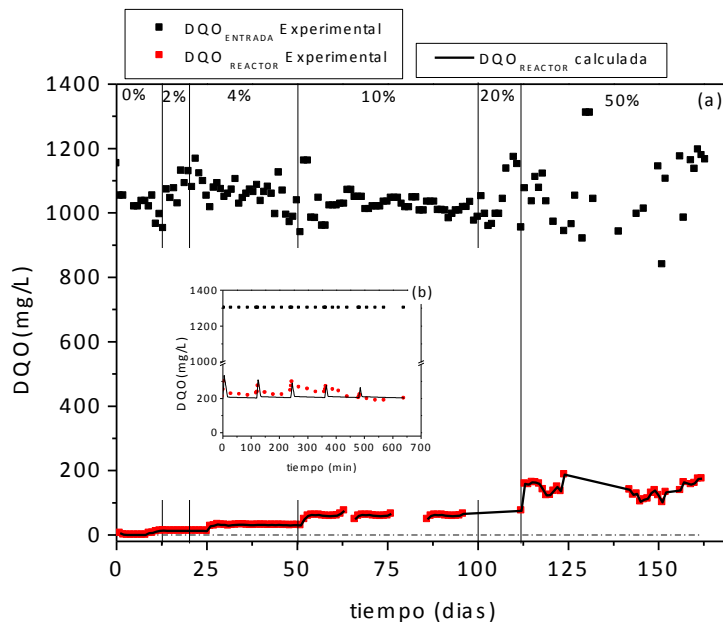
$$r_{O_2} = -\left(\frac{1-Yc}{Yc}\right) \cdot \mu_{max} \cdot \left(\frac{\cdot S_c}{K_s + S_c + \frac{S_c \cdot S_c}{K_i}}\right) \cdot \left(\frac{O_2}{K_{O+O_2}}\right) \cdot X_h \quad (7)$$

**Tabla 1.** Nomenclatura para las ecuaciones del modelo propuesto.

Símbolo	Descripción	Análisis Dimensional	Valor
$S_i$	Concentración de componente $i$ . $S_c$ para la DQO rápidamente biodegradable y $S_{pc}$ para la poco biodegradable. En caso de la biomasa se sustituye por $X_h$ .	$ML^{-3}$	-
$Q$	Caudal de alimento	$L^3 T^{-1}$	-
$V$	Volumen del reactor	$L^3$	-
$S_{E_i}$	Concentración de componente $i$ en la corriente de alimentación	$ML^{-3}$	-
$S_{i(t=0)}$	Concentración de componente $i$ al inicio del ciclo	$ML^{-3}$	-
$k_{O_2}$	Coeficiente de transferencia de oxígeno del aire al agua	$T^{-1}$	$0,6 \text{ min}^{-1}$
$O_{2\_saturation}$	Concentración de saturación del oxígeno en agua	$ML^{-3}$	-
$Yc$	Rendimiento de producción de biomasa	-	$0,5866$
$\mu_{max}$	tasa máxima de crecimiento específica	$T^{-1}$	$10 \text{ d}^{-1}$
$K_s$	Constante de saturación del sustrato	$ML^{-3}$	$20 \text{ mg} \cdot L^{-1}$
$K_{O_2}$	Constante de saturación del oxígeno	$ML^{-3}$	$0,2 \text{ mg} \cdot L^{-1}$
$K_i$	Constante de inhibición	$ML^{-3}$	$80 \text{ mg} \cdot L^{-1}$
$k_x$	Constante cinética de velocidad correspondiente al proceso de hidrólisis	$T^{-1}$	$0,42 \text{ mg} \cdot L^{-1}$
$b_a$	Coeficiente de muerte específico	$T^{-1}$	$0,14 \text{ d}^{-1}$

### 3. Resultados y discusión

Los resultados de la Figura 1a muestran los datos experimentales y calculados en términos de DQO durante el funcionamiento del reactor con los diferentes porcentajes de alimentación de carbono orgánico total procedente del agua agroquímica, mientras que la Figura 1b representa un ciclo de funcionamiento del reactor con una alimentación correspondiente al 20%. Se puede observar como el modelo es capaz de simular el comportamiento del reactor, incluso con variaciones en la alimentación, obteniéndose principalmente como efluente lo correspondiente a la DQO lentamente o poco biodegradable.



**Figura 1.** Evolución de la demanda química de oxígeno (DQO) durante las diferentes etapas de funcionamiento del reactor SBR para el tratamiento de agua residual durante todo el tiempo de funcionamiento (a) y durante un ciclo (b). Resultados experimentales y calculados respecto del modelo propuesto.

## 4. Conclusiones

En este trabajo ha sido posible realizar el modelado de un reactor biológico secuencial siguiendo un modelo de inhibición de Haldane y otro de Andrews de sustrato complementario para el crecimiento de los microorganismos. El modelo obtenido es capaz de reproducir con elevada exactitud el funcionamiento del reactor durante cada etapa de funcionamiento en términos de DQO total en el reactor, siendo una herramienta indispensable para poder estudiar de forma teórica la respuesta del sistema ante cambios de las características del agua residual tratada o en los parámetros de operación del sistema.

## 5. Bibliografía

- Burrows, H.D., Canle, M., Santaballa, J.A., Steenken, S. 2002. Reaction pathways and mechanisms of photodegradation of pesticides. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 67, 71-108.
- Carrera, J., Sarrà, M., Lafuente, F.J., Vicent, T. 2001. Effect of Different Operational Parameters in the Enhanced Biological Phosphorus Removal Process. *Experimental Design and Results. Environmental Technology* 22, 1439-1446.
- Molina, R., Pariente M.I., Rodríguez, I., Martínez F., Melero J.A. 2014. Treatment of an agrochemical wastewater by combined coagulation and fenton oxidation. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* (accepted).
- Pariente, M.I., Siles, J.A., Molina, R., Martínez, F., Melero, J.A. 2013. Treatment of an agrochemical wastewater by integration of heterogeneous catalytic wet hydrogen peroxide oxidation and rotating biological contactors. *Chemical Engineering Journal* 226, 409-415.