

Biodegradabilidad de un AR-Municipal en un SBR-columna con biomasa aerobia

Aislinn Selene, González Carmona & Ubaldo, Baños Rodríguez

A.González & U. Baños

Ingeniería en Biotecnología, Laboratorio de Fisiología Microbiana y Fermentaciones Industriales, Universidad Politécnica de Pachuca
ubaldo@upp.edu.mx

F. Trejo, (eds.). Ciencias Multidisciplinarias. Proceedings-©ECORFAN-México, Pachuca, 2017.

Abstract

Water is the component of global need, basic and overriding, so it's important the sanitation of wastewater. An easy, economical and fast option is the use of the SBR-column with aerobic biomass (AB). In this work the use of system is proposed since it presents great advantages due to its compact capacity and elevated intervals of removal of organic matter (OM), performing biodegradability tests, improving the operation of the microbial system with the use of the MATLAB computer program, effecting simulations with the mathematical modelo of *Haldane Andreu*, which was solved by the numerical methods *Runge Kutta ode45* and *Hill Climbing*, getting kinetic parameters such as: q_s , k_i , K_s , μ_{max} , $Y_{x/s}$. and in this way the efficiency of the system operation was improved, reflected in the percentage of the removal of OM, having a 100% removal in a time less than 5 hours, maintaining an initial substrate interval of 147.5-310 mgO₂/L and an initial biomass of 115-166 mgProt/L.

Agua Residual, Biomasa Aerobia, SBR-columna

1 Introducción

El agua es el componente de necesidad mundial, básica y primordial, por ello es importante el saneamiento de las aguas residuales (AR) generadas. Estas principalmente son contaminadas debido a las actividades humanas como son: el crecimiento demográfico, el desarrollo industrial y la urbanización, teniendo como resultado grandes cantidades de AR sin tratamiento alguno (Bretti, 2002). La tecnología con biomasa aerobia (BA) tiene la capacidad de soportar grandes cargas orgánicas usada en reactores discontinuos de alimentación secuenciada (SBR) según Beun *et al.*, en 1999 dicho sistema consiste en una columna de burbujeo, en donde el AR es tratada en aerobiosis en un ciclo de pocas horas, llevándose a cabo los procesos en el mismo reactor, removiendo gran cantidad de materia orgánica (MO) de AR municipales e industriales (Calvario *et al.*, 2005).

El diseño de los sistemas aerobios de tratamiento de AR como el SBR se realiza en base a parámetros bio-cinéticos que deben determinarse experimentalmente utilizando el efluente a tratar. Pero la complejidad del proceso para el tratamiento de AR ha incrementado con el transcurso del tiempo, y en consecuencia los modelos matemáticos que los representan han tenido un mayor nivel de desarrollo para controlar y predecir el comportamiento de las plantas tratadoras de agua, sin embargo, se ha mejorado la operación de los sistemas gracias a la simulación de los procesos, induciendo el diseño de programas de computación como es el uso de MATLAB el cual es capaz de efectuar la simulación propiamente dicha y proporcionar una medida de la eficiencia del funcionamiento en los sistemas microbianos de degradación de contaminantes, a partir de los datos medidos y la incertidumbre de los resultados calculados (Reichert, 1998).

Una gran variedad de modelos cinéticos de inhibición han sido utilizados para describir el crecimiento microbiano, tales como las ecuaciones de Yano y Koga, Aiba, Luong, Sokol, Edward y Haldane. Sin embargo, la ecuación de *Haldane Andrue* (ecuación 1) ha sido la más utilizada para describir este proceso.

$$\mu = \mu_{m\grave{a}x} \frac{S}{K_s + S + \left(\frac{S^2}{K_i}\right)} \quad (1)$$

Dónde:

$\mu_{m\grave{a}x}$ = Velocidad específica máxima de crecimiento de biomasa

S = Concentración de sustrato

K_s = Constante de afinidad por el sustrato

K_i = Constante de inhibición debida al sustrato

La ecuación de *Haldane* está basada en la velocidad específica de crecimiento (μ), pero también se puede relacionar con la velocidad específica de consumo de sustrato. Esto significa que los microorganismos disminuyen su velocidad de crecimiento a concentraciones elevadas de sustrato, pero si éstas bajan, pueden consumir el sustrato a una velocidad máxima (*Baños, 2010*).

La finalidad de este trabajo es realizar una prueba de biodegradabilidad del AR municipal de Pachuca utilizando un SBR-columna con BA; desarrollando simulaciones con el modelo cinético propuesto por *Haldane* en el software de MATLAB, para lograr una remoción significativa de MO cumpliendo a su vez con la normatividad vigente.

Objetivo general

Realizar una prueba de biodegradabilidad de una AR-municipal utilizando un SBR en columna con biomasa aerobia para lograr una remoción significativa de materia orgánica cumpliendo con la normatividad vigente.

Objetivos específicos

- Aclimatar biomasa aerobia para lograr su adaptación con el sustrato correspondiente (AR-municipal)
- Definir el ciclo operativo del SBR en columna para lograr la biodegradación óptima de consumo de sustrato y el incremento de la biomasa.
- Realizar cinéticas microbianas para el monitoreo del consumo de sustrato e incremento de biomasa en el SBR en columna.
- Realizar simulaciones con modelos cinéticos para obtener los parámetros cinéticos correspondientes como: k_s , k_i , $Y_{x/s}$ y $\mu_{máx}$

Justificación

El agua es el componente básica mundialmente, por ello es importante el saneamiento de las AR generadas, estas principalmente son contaminadas debido a las actividades humanas; según CONAGUA en 2015 menciona que anualmente un mexicano en promedio genera más de 136, 800 litros de AR municipal con grandes cargas de MO y solo el 50% de esta es tratada, causando efectos nocivos para el medio ambiente. Es por ello la necesidad de crear innovadoras y efectivas tecnologías para la biodegradación de MO. En el presente trabajo se propone el uso de un SBR-columna con BA, el cual presenta grandes ventajas debido a su capacidad compacta y elevadas tasas de remoción de MO realizando simulaciones con MATLAB aplicando el modelo matemático de *Haldane Andreu*, con estas simulaciones será posible obtener parámetros cinéticos con precisión (k_s , k_i , $Y_{x/s}$ y $\mu_{máx}$) los cuales definen el fenómeno de biodegradación de MO a tratar, obteniendo el mayor porcentaje de remoción de MO.

Metodología

Se instaló y operó el SBR-columna, agregando 1.2 L de AR-municipal ($S_0 = 147.5 \text{ mgO}_2/\text{L}$) y 0.3 L de inóculo ($X_0 = 115.048 \text{ mgProt/L}$) para la cinética I y para la cinética II $S_0 = 220 \text{ mgO}_2/\text{L}$ y biomasa inicial de $X_0 = 151.055 \text{ mgProt/L}$ teniendo un volumen total de operación de 1.5 L los cuales fueron manejados en ciclos de 6 y 12 horas con aireación constante en el sistema, posterior se dio una sedimentación con duración de 0.5 horas y una extracción de 0.033 horas, durante el proceso se realizaron dos cinéticas microbianas en base a los análisis DQO para la cuantificación de sustrato según la NMX-AA-SCFI-030-2001 y se monitoreó también el crecimiento de biomasa en términos de proteínas [$X = \text{mgProt/L}$] por el método de Biuret (*Herbert et al., 1971*);

Una vez terminadas las cinéticas y teniendo los resultados de la biomasa y sustrato correspondientes se analizaron con simulaciones en el programa de computo MATLAB con el modelo matemático Haldane (ecuación 1) en base a la solución de Runge Kutta ode45 y HILL Climbing, determinando parámetros cinéticos tales como: q_s , k_i , k_s , μ_{max} , $Y_{x/s}$ que posteriormente fueron analizados para evaluar la efectividad del saneamiento del AR-municipal en el SBR-columna.

Resultados

En las tablas 6.1 y 6.2 se muestran los datos de las dos cinéticas microbianas realizadas en este trabajo de investigación.

Tabla 6.1 Resultados del consumo de sustrato y crecimiento de biomasa en la cinética I

Tiempo	DQO (ppm)	X[mgProt/L]
0.000	147.500	115.048
0.250	142.500	114.499
0.500	140.000	114.488
0.750	135.000	115.426
1.000	132.500	115.807
1.250	125.000	117.218
1.500	120.000	118.053
1.750	117.500	118.279
2.000	110.000	119.250
2.250	102.500	119.777
2.500	97.500	120.913
2.917	80.000	123.867
3.167	62.500	126.751
3.667	42.500	130.251
4.167	27.500	136.321
4.667	0.000	137.148

Fuente: Resultados experimentales obtenidos en el proyecto

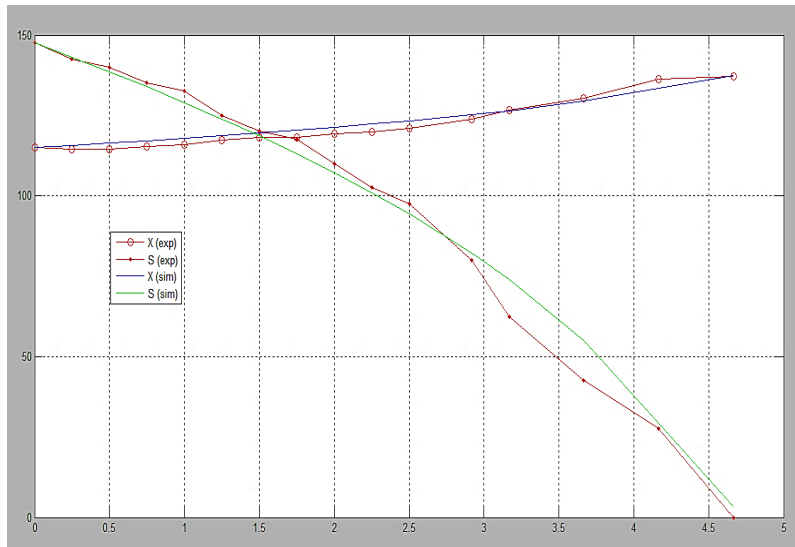
Tabla 6.2 Resultados del consumo de sustrato y crecimiento de biomasa en la cinética II

Tiempo	DQO (ppm)	X[mgProt/L]
0.000	220.000	151.055
0.250	200.000	167.413
0.500	197.500	175.346
0.750	185.000	181.898
1.000	175.000	204.115
1.250	170.000	222.090
1.500	162.500	228.238
1.750	120.000	316.995
2.000	100.000	329.662
2.250	52.500	376.548
2.500	47.500	391.903
2.917	27.500	421.872
3.167	5.000	448.020
3.667	0.000	471.913

Fuente: Resultados experimentales obtenidos en el proyecto

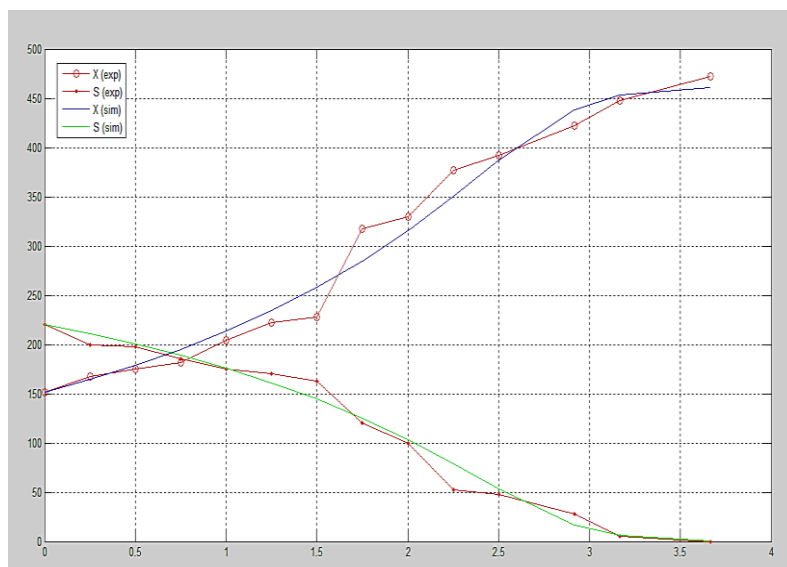
Una vez obtenidos los resultados del consumo de sustrato ($S = \text{DQO}$) y crecimiento de biomasa ($X = \text{mgProt/L}$) de ambas cinéticas, estos se graficaron para desarrollar simulaciones ajustadas a datos experimentales con el programa editado en el software MATLAB considerando el modelo cinético de *Haldane* (ver Grafico 6.1 y 6.2, donde las curvas con líneas continuas representan las simulaciones de mejor ajuste, al considerar 100 iteraciones en el programa Hill Climbing en cada simulación); y así se determinaron parámetros cinéticos que definen la biodegradabilidad de $[S]$ y crecimiento de $[X]$ con el Biorreactor y sus condiciones operativas propuestos.

Grafico 6.1 Simulación con MATLAB de la *cinética I* representando datos experimentales y modelados, representando en eje X el tiempo en h, y en los ejes Y-Y' las concentraciones de S y X, [$S_0 = 147.5 \text{ ppm}$, $X_0 = 115.048 \text{ mgProt/L}$]



Fuente: Gráficos obtenidos en las simulación de MATLAB versión 2015

Grafico 6.2 Simulación con MATLAB de la *cinética II* representando datos experimentales y modelados, representando en eje X el tiempo en h, y en los ejes Y-Y' las concentraciones de S y X, [$S_0 = 220 \text{ ppm}$, $X_0 = 151.055 \text{ mgProt/L}$]



Fuente: Gráficos obtenidos en las simulación de MATLAB versión 2015

Adicionalmente se realizaron regresiones lineales de los datos obtenidos del consumo de sustrato para las cinéticas I y II (ver Gráficos 6.3 y 6.4) para determinar la velocidad de consumo de sustrato $q_s = -30.85 \text{ mg O}_2/\text{L}\cdot\text{h}$ con una correlación del 95.52% para la cinética I y para la cinética II una $q_s = -68.023$ con una correlación del 95.6%.

Gráfico 6.3 Regresión lineal para hallar q_s de la cinética I

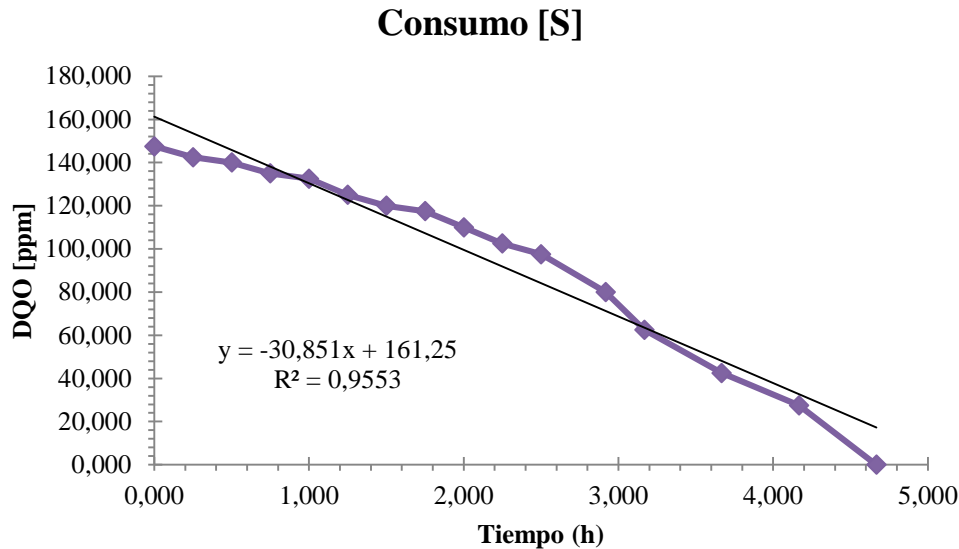
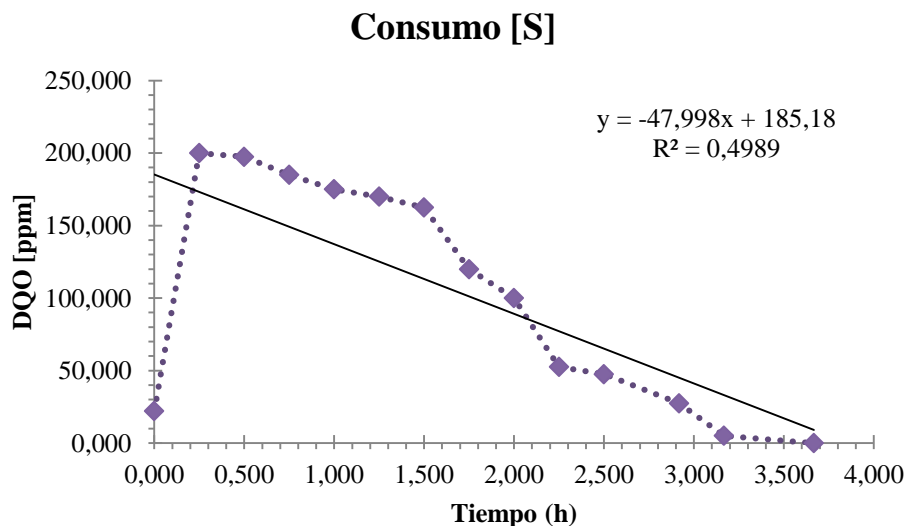


Gráfico 6.4 Regresión lineal para hallar q_s de la cinética II



En la tabla 6.3 se resumen los parámetros cinéticos a partir de las simulaciones realizadas con el programa *Hill Climbing* en el software de MATLAB de las cinéticas realizadas (Baños, 2010).

Tabla 6.1 Parámetros cinéticos obtenidos para las cinéticas I y II

Parámetro cinético	Valor obtenido		Unidades
	Cinética I	Cinética II	
μ	0.50	0.20	h^{-1}
$Y_{X/S}$	0.22	2.03	mgProt/mgO ₂
K_s	50.00	82.00	mg O ₂ /L
K_i	8.00	100.00	mg O ₂ /L
q_s	-30.85	-68.023	mg O ₂ /L·h

Fuente: Datos obtenidos de la solución de la ecuación 1 con los valores correspondientes para cada cinética

Como se puede apreciar existe discrepancia en los valores de los parámetros cinéticos obtenidos en ambas cinéticas, esto puede asociarse en primer momento por la diferencia en las concentraciones iniciales de [S] y [X] en ambas cinéticas y en la estabilidad operativa del SBR-columna, sin embargo se aprecia una velocidad media específica de crecimiento de biomasa de $\mu = 0.35 h^{-1}$, una afinidad media por el sustrato de $k_s = 66 mg O_2/L$, una inhibición media por el sustrato de $K_i = 54 mg O_2/L$, un rendimiento medio de biomasa/sustrato de $Y_{X/S} = 1.125 mgProt/mg O_2$, y una velocidad media de consumo de sustrato de $q_s = 49.44 mg O_2/ L h$.

Los parámetros cinéticos obtenidos permiten definir la biodegradabilidad de la materia orgánica presente en el AR-municipal para posterior hacer prospectivas de optimización y escalamiento del SBR-columna con diferentes cargas másicas de sustrato.

Conclusiones

- Con las cinéticas desarrolladas en el SBR-columna fue posible obtener los valores experimentales de consumo de sustrato y crecimiento de biomasa, para posteriormente realizar las simulaciones matemáticas usando el modelo de inhibición por el sustrato de *Haldane* resuelto utilizando los métodos numéricos *Runge Kutta ode45* y el método de optimización numérica *Hill Climbing* en el software Matlab; obteniendo los parámetros cinéticos: velocidad media específica de crecimiento de biomasa de $\mu = 0.35 h^{-1}$, constante de afinidad media por el sustrato de $k_s = 66 mg O_2/L$, constante de inhibición media por el sustrato de $K_i = 54 mg O_2/L$, rendimiento medio de biomasa/sustrato de $Y_{X/S} = 1.125 mgProt/mg O_2$, y por regresión lineal la velocidad media de consumo de sustrato de $q_s = 49.44 mg O_2/ L h$, las diferencias entre los valores obtenidos de los parámetros respecto a cada cinética se atribuye a: la diferencia en las concentraciones iniciales de [S] y [X] en cada cinética y el alcance en la estabilidad operativa del SBR-columna con tiempos de retención hidráulica de 3.6 a 5h, logrando remociones de materia orgánica del 100% en todas las cinéticas, manteniendo el sustrato inicial en un intervalo de 147.50 a 310 mgO₂/L y biomasa inicial en un intervalo de 115 a 166 mgProt/L.
- El cálculo de los parámetros cinéticos considerando la biomasa como proteínas mostró que éste es un parámetro más adecuado para el análisis del crecimiento de la biomasa [X] y que proporciona menos error que la determinación de SST. Por otra parte, también se observó que en la primera serie de experimentos (primera cinética) los microorganismos degradaban la materia orgánica con menores velocidades específicas de crecimiento, atribuible a su etapa de aclimatación por el sustrato (AR-municipal); siendo evidente el incremento posterior en estas velocidades de crecimiento de biomasa en las subsiguientes cinéticas, indicando por lo tanto diferencias en la composición de las poblaciones microbianas presentes en el SBR-columna.

- Los parámetros cinéticos obtenidos permiten definir la biodegradabilidad de la materia orgánica presente en el AR-municipal para posteriormente hacer prospectivas de optimización y escalamiento del SBR-columna con diferentes cargas másicas de sustrato.

Referencias

Baños, U (2010). *Aplicación de modelos cinéticos al tratamiento biológico de efluentes fenólicos en reactores discontinuos de alimentación secuenciada*. Universidad Autónoma de Pachuca. Pachuca de Soto Hidalgo.

Bretti J. F., (2002) *Sistema de Tratamiento SBR*. Reporte Técnico. Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas e Ingeniería, Pontificia Universidad Católica Argentina. Buenos Aires.

Beun J; Hendriks A; Van Loosdrecht M; Morgenroth E; Wilderer P y HEIJNEN J. (1999). Aerobic granulation in a sequencing batch reactor, *Water Res.* 33 (10): 2283-2290

Calvario, C. (2006). *Biodegradación de fenol en un reactor aerobio de granulación*. Centro de Investigación en Tecnologías de información y Sistemas. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca de Soto Hidalgo.

CONAGUA. (2015). Cuidemos y valoremos el agua que mueve a México. Recuperado de: http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/carrera_agua_2015.pdf
Fecha de consulta: 24/05/2016

NMX-AA-030-SCFI-2001. Análisis de agua-Determinación de la Demanda Química de Oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- Métodos de prueba, publicada en el Diario Oficial de la Federación.

Reichert P. (1998). *Aquasim 2.0. User Manual. Computer Program for the Identification and Simulation of Aquatic Systems*; 2-10, Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology (EAWAG), Dübendorf, Suiza.