

# CONTROL AVANZADO DE UN REACTOR AGITADO EN OPERACIÓN LOTE Y SEMILOTE

Cabrera Yépez Mayela (1), Hernández Escoto Héctor (2)

1 Licenciatura en Ingeniería Ambiental, Universidad de Guanajuato | Dirección de correo electrónico: m.cabrerayepes@ugto.mx

2 Departamento de Ingeniería Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato | Dirección de correo electrónico: hhee@ugto.mx

## Resumen

En este trabajo se realizó un estudio de la dinámica de un reactor de fermentación para la producción de xilitol en base a un modelo matemático. El estudio constó de un análisis de sensibilidad de las concentraciones de materia prima y de parámetros para determinar cuáles eran los factores que más afectan el proceso, y también se construyó un controlador avanzado explorando dos estructuras de control, para asegurar que en cierto marco de operación, la trayectoria de la concentración de xilitol no fuese afectada en el caso de presentarse perturbaciones a lo largo del proceso.

## Abstract

This work presents a study of the dynamics of a fermentation reactor for the production of xylitol; the study is based on a mathematical model. The study consisted of a sensitivity analysis of the concentrations of raw materials and parameters to determine which factors affect the most the process, and also an advanced controller was explored with two control structures in such a way, in a certain operational framework, the path of the xylitol concentration is not affected in the case of disturbances surge along the process.

### Palabras Clave

Xilitol, Proceso de Fermentación, Análisis de Sensibilidad, Control No-Lineal

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el sector energético ha empezado a generar mucho interés por parte de los países, debido a la relación que existe entre el crecimiento de la demanda de los productos y de energía en cada lugar. Además, el incremento en el nivel de vida de la población ha generado un aumento en la demanda de energía y disminución en los recursos naturales.

En base a esto ha surgido el concepto de Biorefinerías, que son instalaciones de transformación de biomasa en una variedad de productos de valor agregado, incluyendo combustibles, energía, químicos y productos finales. Estas se conciben como la base tecnológica de una nueva industria basada en la biomasa [1]; sin embargo, es necesario decir que existen otros bioproductos que pueden ser generados mediante reactores biológicos y que además tienen una gran importancia en la industria, como es el caso del Xilitol.

El Xilitol es un azúcar-alcohol de 5 carbonos que se encuentra en pequeñas cantidades en muchas frutas y vegetales y éste se puede producir a partir de D- xilosa por medio de fermentación con levaduras [2,3]. Posee gran interés comercial debido a sus propiedades físico-químicas que facilitan su uso en las industrias alimenticia, farmacéutica y odontológica, además, presenta propiedades anticariogénicas por el hecho de no ser utilizado por los microorganismos de la flora bucal, lo que evita la formación de ácidos que atacan el esmalte dental, lo cual es muy importante para una buena salud oral [4], por otra parte, el xilitol es un excelente sustituto del azúcar que puede ser metabolizado por personas con diabetes, por lo que su utilización ha ido en aumento en la industria alimenticia [5].

La producción de xilitol puede llevarse a cabo en un reactor de tanque agitado en el cual la xilosa es fermentada por una bacteria. La reacción se lleva a cabo a una temperatura constante alrededor de 30 °C. Aunque la materia principal es la xilosa, Tochampa y colaboradores (2005), propusieron que la adición de glucosa podría aumentar el rendimiento de la producción de xilitol [5].

A lo largo de un proceso de fermentación de forma inevitable se presentan perturbaciones que

pueden afectar el rendimiento, por lo que contar con un sistema de control automático puede ser conveniente.

Tomando un modelo matemático del proceso para la producción de xilitol, en este trabajo se realiza un estudio de determinación de los factores que afectan más al proceso y se diseña un sistema de control para asegurar una trayectoria dada de producción de xilitol, buscando así, lograr resolver el problema mencionado anteriormente.

### Nomenclatura

$q_{max\_xyl}$ : Flujo másico máximo de consumo específico de la xilosa.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Metodología

Se considera un biorreactor de tanque agitado donde se lleva a cabo una fermentación de xilosa para producción de xilitol. En este reactor se supone una temperatura constante que se puede lograr a partir de la chaqueta del reactor (Imagen 1).

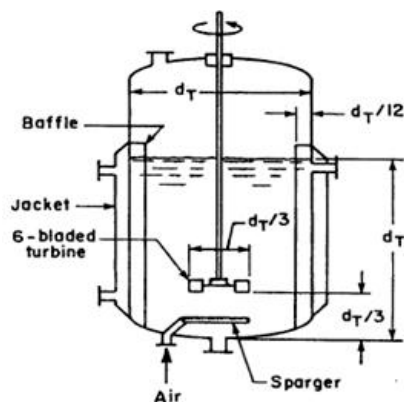


IMAGEN 1. Tanque agitado con chaqueta

La descripción del comportamiento de este reactor se obtiene a partir del modelo matemático propuesto por Tochampa y col. [5], el cual consta de un conjunto de seis ecuaciones diferenciales ordinarias que corresponden a la razón de cambio de biomasa, glucosa, xilosa, xilitol interno, xilitol externo y flujo de entrada. Dichas ecuaciones se complementan con otras obtenidas de la cinética de reacción de la biomasa. En el modelo se

incluyen parámetros iniciales que fueron obtenidos de manera empírica así como el valor óptimo de xilosa a utilizar (30 g/L).

En base a dicho modelo, se visualizó la sensibilidad del proceso con respecto a diferentes factores como más adelante se detalla, y de igual manera, se construyó un controlador siguiendo una técnica conocida como “geométrica” [6].

### Materiales

La programación y simulación del modelo matemático y controlador no lineal se llevó a cabo con el programa MATLAB R2014a.

### Métodos

Primeramente, en ausencia de glucosa, se varió la Biomasa inicial de 1-30 g/L manteniendo la Xilosa constante, 30g/L, obteniendo una trayectoria de producción de xilitol; luego, se procedió a variar la cantidad de glucosa adicionada inicialmente de 1 a 10 con los valores de 5, 10 y 15 g/L de biomasa.

Se realizó un análisis más específico, donde se varió la concentración de Glucosa en decimales de 1 a 3 g/L, con los valores de biomasa establecidos anteriormente obteniendo la trayectoria nominal, es decir, aquella en que se obtiene la mayor concentración de Xilitol en un tiempo considerable.

A continuación se llevó a cabo un análisis de sensibilidad donde se obtuvo el parámetro que afecta en mayor medida la producción de xilitol.

Se construyeron y probaron dos controladores no-lineales. Estos se diseñaron siguiendo una técnica conocida como “geométrica” [6,7]. Una primera configuración consistió en manipular flujo de entrada para seguir la trayectoria de xilitol; la segunda configuración constó en utilizar el flujo de entrada para seguir la trayectoria de xilosa, con la expectativa de que esta trayectoria hará que se siga la trayectoria de xilitol.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

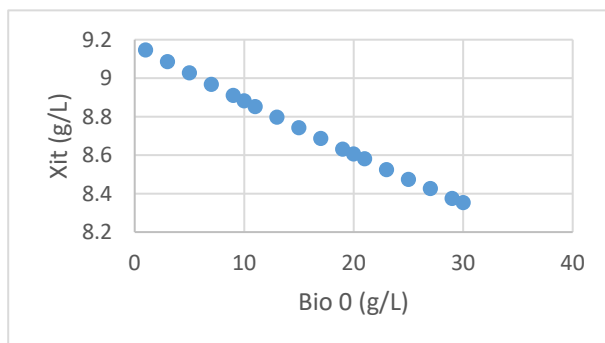


IMAGEN 2 Xilitol vs Biomasa. Sin Glucosa.

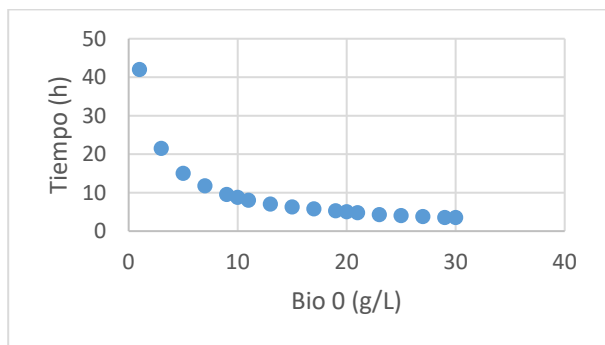


IMAGEN 3 Tiempo vs Biomasa. Sin Glucosa.

En las imágenes 2 y 3, se observa que conforme aumenta la biomasa, disminuye la concentración de xilitol y el tiempo en el que se alcanza la máxima concentración de xilitol. Los valores donde se observó una mayor disminución del tiempo fueron en los que la biomasa fue igual a 5, 10 y 15 g/L.

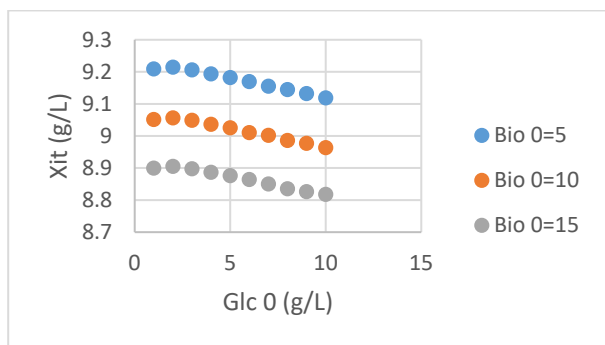


IMAGEN 4 Xilitol vs Glucosa. (Glucosa 1-10 g/L)

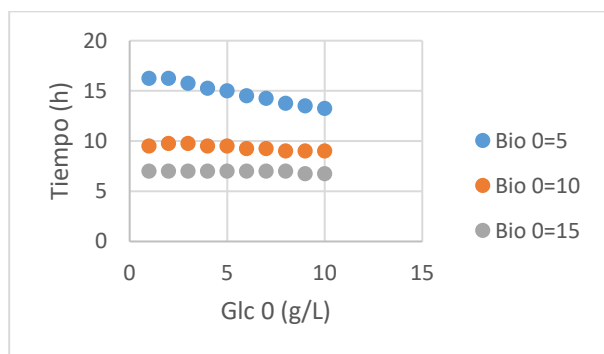


IMAGEN 5 Tiempo vs Glucosa. (Glucosa 1-10 g/L)

En la Imagen 4 se observa un comportamiento similar en los tres casos de carga inicial de biomasa. Se inicia con un valor considerable de xilitol producido, posteriormente se presenta un máximo y se procede a comenzar una disminución continua en la generación. Mientras que en la imagen 5 se observa que el tiempo, en todos los casos disminuye conforme aumenta la glucosa.

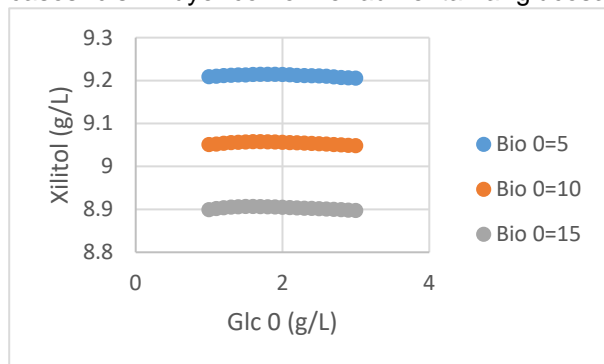


IMAGEN 6 Xilitol vs Glucosa. (Glucosa 1-3 g/L)

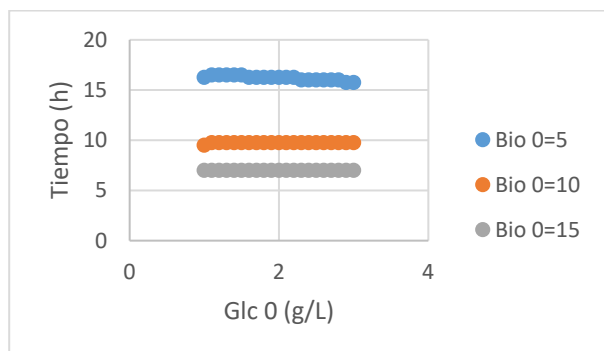


IMAGEN 7 Tiempo vs Glucosa. (Glucosa 1-3 g/L)

Imagen 6, en todos los casos existe un ligero aumento en los valores de xilitol, y después de cierto punto comienza una disminución. Por otro lado en la Imagen 7, se observa que para biomasa igual a 5 g/L, existe un aumento, llega a un máximo y ahí comienza una disminución del tiempo; para Biomasa igual a 10 g/L, se percibe un aumento en el tiempo y después se mantiene constante, mientras que en el caso de 15 g/L, el tiempo se mantiene constante.

Tabla 1 Valor máximo de xilitol, tiempo, Glucosa y Biomasa inicial igual a 5, 10 y 15 g/L.

Biomasa inicial	Glc	Xit	Tiempo
5	1.8	9.214362954	16 hrs. y 15 min
10	1.7	9.057444741	9 hrs. Y 45 min
15	1.6	8.906446173	7 hrs.

En base a los resultados se estableció que la trayectoria nominal será con biomasa igual a 10 g/L y Glucosa igual a 1.7 g/L, donde el valor máximo de xilitol es de 9.057444741 g/L en 9 horas y 45 minutos.

Para probar el controlador se supone un escenario de perturbaciones que hacen disminuir la concentración de xilitol. Este escenario consiste en introducir cambios en ciertos parámetros del modelo e inclusive en las concentraciones iniciales de biomasa, glucosa y xilosa. En la imagen 8 se puede apreciar el efecto del parámetro que causó mayor perturbación.

Al realizar la Ley de control 1, donde se pretendió controlar el Xilitol por medio del flujo de entrada, no se obtuvo un resultado adecuado, ya que el sistema jamás convergió.

Por esta razón se llevó a cabo la realización de una segunda Ley de control, donde se utilizó el flujo de entrada para controlar la Xilosa, ésta última, funcionó de manera adecuada.

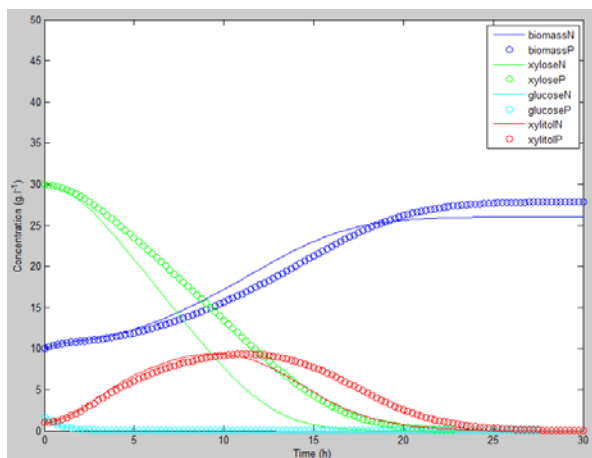


IMAGEN 8. Producción Nominal vs Producción Proceso. Sin controlador

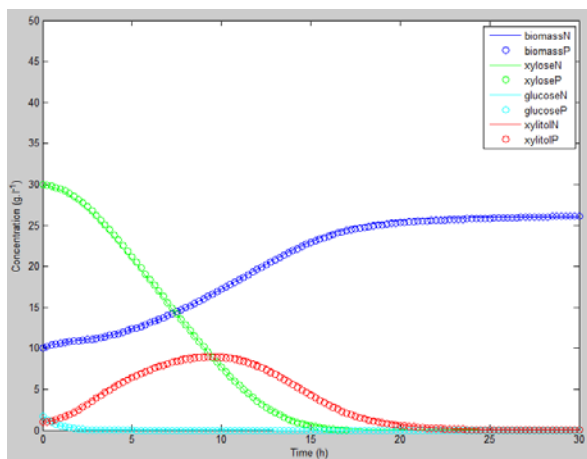


IMAGEN 9. Producción Nominal vs Producción Proceso. Con controlador

En la imagen 8 se presenta el comportamiento del sistema perturbado y el nominal. Se puede observar que la producción de xilitol se ve disminuida, mientras que el tiempo de producción es mayor. De igual manera, el tiempo en que se consume la xilosa aumenta al igual que la generación de biomasa.

Por otro lado, en la imagen 9, donde se presenta el escenario perturbado y el nominal pero ahora aplicando el controlador, se observa que inmediatamente la trayectoria del proceso se une a la trayectoria nominal, lo que nos indica que el controlador funciona de manera adecuada.

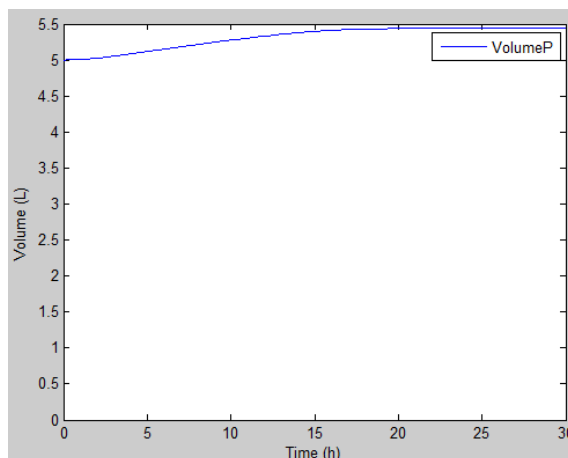


IMAGEN 10. Volumen del reactor durante el proceso.

Un factor importante para evaluar el funcionamiento del controlador es el volumen que se obtiene al aplicarlo, por esta razón en la imagen 10, se observa que al simular la perturbación e instalando el controlador el volumen del reactor aumenta un poco y después se mantiene constante, lo que nos indica que el controlador funciona bien.

## CONCLUSIONES

Al llevar a cabo todo el análisis dinámico de producción de Xilitol donde se considera a la Glucosa como sustrato se observó que si bien mostró un aumento en la producción ésta no es muy grande.

De igual manera, al realizar el análisis de sensibilidad se obtuvo que el parámetro que muestra una mayor influencia en el proceso es el  $q_{max\_xyl}$ .

Al evaluar la ley de control 1, donde se intentó controlar la producción de xilitol por medio del flujo no se logró el fin de la ley.

Por otro lado, al evaluar la ley de control 2, donde controló la producción de xilitol mediante la trayectoria de xilosa, ésta funcionó de manera adecuada al controlar no solo la xilosa obtenida sino el xilitol, por lo que se puede decir que la xilosa es importante en la producción de xilitol. Con esta, además, se observó que el volumen del

reactor no se ve afectado, por lo que este controlador es óptimo.

## AGRADECIMIENTOS

A Elena Bricio, por su compromiso, apoyo y paciencia brindados durante la realización del proyecto.

Al Dr. Héctor Hernández Escoto, por permitirme trabajar con él estas semanas, y brindarme el apoyo y conocimientos necesarios para llevar a cabo el proyecto.

A la Universidad de Guanajuato, por promover estos espacios en que los estudiantes podamos trabajar en proyectos de interés y además desarrollar distintas aptitudes.

## REFERENCIAS

- [1] Sacramento, J., Romero, G., Cortés, E., Pech, E., Blanco, S. (2010). Diagnóstico del Desarrollo de Biorrefinerías en México. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 9 (3), ISSN: 261-283.
- [2] Winkelhausen E, Kuzmanova S (1998) Microbial conversion of D-xylose to xylitol. *J Ferment Bioeng* 86:1-14
- [3] Kim JH, Ryu YW, Seo JH (1999) Analysis and optimization of a two-substrate fermentation for xylitol production using *Candida tropicalis*. *J Ind Microbiol Biotechnol* 22:181-186
- [4] Villalba, M., Vélez, T., Arias, M., Arrázola, G. Producción de Xilitol a partir de cascarilla de arroz utilizando *Cándida guilliermondii*. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*. 62 (1), pp. 4897-4905. ISSN: 0304-2847.
- [5] Tochampa, W., Sirisansaneeyakul, S., Vanichsriratanana, W., Srinophakun, P., Bakker, H., Chisti, Y. (2005). A model of xylitol production by the yeast *Candida mogii*. *Bioprocess Biosyst Eng* 28, pp. 175-183, DOI: 10.1007/s00449-005-0025-0.
- [6] Bastin G. and Dochain, D. (1990). *On-Line Estimation and Adaptive Control of Bioreactors*. Amsterdam, The Netherlands. Elsevier Sci. Pub.
- [7] Khalil, H. K. *Nonlinear Systems* (3<sup>rd</sup> edition) (2002). New Jersey. Prentice Hall. Capítulo 3.