XIII Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería
SIPAL Simposio Internacional de Producción de Alcoholes y Levaduras
VII Simposio Internacional de Producción de Alcoholes y Levaduras

MODELO CINÉTICO DE LA FERMENTACIÓN: ESTUDIO DE DOS CEPAS TEQUILERAS

Flores Fernández J.M., Díaz Montaño D.M., Álvarez García J.A., *Herrera López E.J.
CIATEJ: Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C.
Av. Normalistas 800. Colinas de la Normal, GDL., Jal. Mex., C.P. 44270, *eherreraciatej@yahoo.com.mx.

Palabras clave: *Modelo matemático, Saccharomyces cerevisiae, Kloeckera africana*.

Introducción. La etapa fermentativa en la producción de bebidas alcohólicas es de suma importancia, dado que en ésta se produce el etanol. En un proceso fermentativo es deseable maximizar la producción de un metabolito deseado; no obstante, no es una tarea sencilla de lograr, dado que la fermentación es afectada por factores ambientales, fisicoquímicos, biológicos o por la carencia de un adecuado conocimiento del proceso. Modelar un proceso de fermentación presenta ventajas como: simulación del proceso, disminución de costos en la experimentación industrial, estimación de parámetros, optimización matemática y control del proceso [1].
En el presente trabajo se generaron dos modelos matemáticos del proceso fermentativo del tequila, referente a las levaduras *Saccharomyces cerevisiae* y *Kloeckera africana* con el propósito de entender su comportamiento cinético.

Metodología. Se utilizaron las cepas *Saccharomyces cerevisiae* GU4 y *Kloeckera africana* TE4, obtenidas del cepario de CIATEJ. Se realizaron fermentaciones de ambas levaduras por duplicado utilizando como fuente carbono jugo de agave a diferentes concentraciones. Se adicionó 1g/L de fosfato de amonio como fuente de nitrógeno. Se controló la temperatura a 35°C. Se determinaron azúcares reductores directos, etanol por cromatografía de gases y población por peso seco. De los datos experimentales se determinaron los parámetros cinéticos que caracterizan a cada levadura μ_{max}, qp_{max}, qs_{max}, $Y_{p/s}$ y $Y_{x/s}$. Se probaron y ajustaron los parámetros a diferentes modelos cinéticos combinando inhibición por sustrato y producto [2]. Las ecuaciones diferenciales fueron integradas con MATLAB® 6.5 que ayudaron a predecir la formación de biomasa, consumo de sustrato y producción de etanol.

Resultados y discusión. Resultados de simulación han demostrado que la mejor aproximación para describir el comportamiento dinámico de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* GU4 es la combinación de las velocidades específicas del modelo de Moser y Levenspiel (1), mientras que para *Kloeckera africana* TE4 es la de Moser y Luong (2). Se obtuvieron resultados satisfactorios para ambas levaduras; una correlación global de 0.9762 para *Saccharomyces cerevisiae* y de 0.9495 para *Kloeckera africana*, tal como se puede apreciar en la tabla 1 y 2 respectivamente.

Moser y Levenspiel
$$\mu(S,P)=\frac{\mu_m S^n}{ks+S^n}\left(\frac{1-P}{Kp}\right)^m \quad (1)$$

Moser y Luong
$$\mu(S,P)=\frac{\mu_m S^n}{ks+S^n}\left(1-\left(\frac{P}{Kp}\right)^m\right) \quad (2)$$

Tabla 1.Correlaciones para Saccharomyces cerevisiae.

Concentración	Biomasa	Sustrato	Producto	R^2 Total
30 g/L	0.9577	0.9771	0.9605	0.9651
60 g/L	0.9923	0.9934	0.9873	0.9910
90 g/L	0.9563	0.9981	0.9924	0.9823
120 g/L	0.9393	0.9918	0.9946	0.9752
200 g/L	0.9126	0.9951	0.994	0.9672
Promedio	0.9516	0.9911	0.9858	**0.9762**

Tabla 2. Correlaciones para Kloeckera africana.

Concentración	Biomasa	Sustrato	Producto	R^2 Total
30 g/L	0.8687	0.8629	0.9646	0.8987
60 g/L	0.9145	0.999	0.9981	0.9705
90 g/L	0.9343	0.9974	0.993	0.9749
120 g/L	0.7785	0.9968	0.9973	0.9242
200 g/L	0.9598	0.9949	0.9824	0.9790
Promedio	0.8912	0.9702	0.9871	**0.9495**

Conclusiones. El modelo cinético para *Saccharomyces cerevisiae* presenta mayor robustez que el de *Kloeckera africana*, ya que este último sólo tiene una buena aproximación en el rango de 60g/L a 200g/L. No obstante, las fermentaciones tequileras son realizadas a concentraciones mayores a 100 g/L. Se confirmó que *Saccharomyces cerevisiae* produce mayores concentraciones de etanol que la levadura *Kloeckera africana*. Actualmente se está realizando un análisis de sensibilidad para mejorar las estimaciones de ambos modelo cinéticos.

Agradecimiento. A CONACYT por los apoyos otorgados a los proyectos 24547 y 79987.

Bibliografía.

1. Volesky B, and Votruba H. (1992). Chapter 1. *Modeling and Optimization of Fermentation Processes*. Elsevier, Amsterdam.
2. Arellano, M, Herrera, E, Díaz, D, Moran, A, y Ramírez, J. (2007). Unstructured kinetic model for tequila batch fermentation. *International Journal of Mathematics and computers in simulation*. vol 1(1):1-6. http://www.naun.org/journals/mcs/mcs-1.pdf