

Aplicación de Aspen Custom Modeler (ACM) en la fermentación del residuo mucilaginoso de cacao CCN-51

Jorge Delgado¹, Jaime Soler², José Ángel Peña²

¹Universidad Cuenca, Departamento de Química Aplicada y Sistemas de Producción (dQUIMPROd)

²Grupo de Catálisis, Separaciones Moleculares e Ingeniería de Reactores (CREG)

Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)

Universidad Zaragoza, Mariano Esquillor 3, 50018, Zaragoza, Spain.

Tel. +34-976762707, e-mail: jorge.delgado@ucuenca.edu.ec

Resumen

La biomasa residual no ha sido totalmente valorada y aprovechada en Ecuador desde el punto de vista energético. Ejemplo de ello es el mucílago de cacao que en la actualidad es un residuo sin aprovechamiento útil y rentable. Sin embargo, representa un alto potencial energético en la producción de bioetanol para uso como aditivo en gasolinas, resultando un posible reemplazo de los combustibles fósiles [1].

El objetivo de este estudio fue el uso del software *Aspen Custom Modeler* (ACM) para modelar la producción de bioetanol generado en la fermentación de mucílago de Cacao CCN – 51 aplicando el modelo cinético de *Andrew y Levenspiel* [2].

Introducción

Las fuentes fósiles primarias de energía han sido y son la fuerza impulsora del desarrollo económico y prosperidad de las naciones, por ejemplo, en el año 2015 representaron alrededor del 81 % de la producción de energía primaria mundial, teniendo como aporte principal al petróleo, carbón y gas natural [3].

Sin embargo, debido al volátil mercado mundial de energía y las crecientes preocupaciones ambientales, los combustibles alternativos como los biocombustibles han recibido mucha atención como posibles reemplazos de los combustibles fósiles. Entre los biocombustibles más utilizados está el biodiésel y bioetanol, ya que estos aditivos oxigenados sirven para incrementar el octanaje original del combustible y disminuir emisiones [4].

En el caso concreto del cacao, éste posee un residuo mucilaginoso compuesto por células esponjosas, parenquimatosas, que contienen células de savia ricas en azúcares [5]. El volumen total de exudado es

considerable, pero hasta la actualidad no se ha encontrado un uso adecuado a nivel industrial [6].

El modelo de *Andrews y Levenspiel* es un modelo cinético propuesto para representar la tasa de crecimiento específico (μ) teniendo en cuenta el fenómeno de la inhibición mixta por sustrato y producto. Con el uso de módulos especializados en simulación como el módulo Aspen Custom Modeler® (ACM) de Aspentech, permite desarrollar simulaciones en estado estable y dinámico y exportar los modelos o diagramas de flujo a otros módulos del software [2].

Experimental

El mucílago extraído de cacao CCN-51 corresponde a la zona geográfica 6 del Ecuador. Esta variedad se utilizó debido a su mayor productividad en el país sudamericano.

La fermentación anaerobia se llevó a cabo en un biorreactor homogéneo de tipo batch de marca BiotronGX con una agitación constante de 250 rpm. La experimentación transcurrió entre 30 y 96 horas dependiendo de los parámetros de operación y utilizando levadura del tipo *Saccharomyces Cerevisiae* [7].

La cuantificación de sustrato se realizó por el método fenol-ácido sulfúrico en un espectrofotómetro UV y luz visible de marca *Ciba-Corning 2800 spectrascan*, realizando previamente las curvas de calibración. Las levaduras se cuantificaron por conteo directo y los pesos de células secas se determinaron mediante secado por liofilización, en un liofilizador *FT 33* marca *Armfield*, permaneciendo en el mismo por 48 horas. La cuantificación del bioetanol durante la

experimentación se realizó por el método de *Winnick* o microdifusión [7].

La simulación con el modelo de *Andrew y Levenspiel* se utilizó para determinar parámetros cinéticos como ($P_{X,max}$, K_{SP} , K_{IS} , K_{IP} , m , q_{max} , α , β , $Y_{X/S}$, $Y_{P/S}$, μ_{max} , K_S) que ajustaron los datos experimentales. Los ajustes se realizaron empleando el método de mínimos cuadrados no lineales de *Levenberg-Marquardt*. Para resolver las ecuaciones diferenciales se utilizó un método de *Runge-Kutta* de tercer orden (ODE23) en MATLAB. Los resultados de concentraciones obtenidas con la experimentación y MATLAB fueron corroborados con la aplicación del programa Aspen Custom Modeler (ACM). Adicionalmente este programa permitió determinar la velocidad de producción de bioetanol, velocidad del consumo de sustrato y velocidad de crecimiento de levaduras (Figura 1).

Resultados y discusión

El tiempo óptimo de fermentación para producción de biomasa y bioetanol fue de 36 horas a una temperatura de 35 °C, pH de 4 y concentración de levadura de 3 g/L, tiempo en cual se consumieron los azúcares y obtuvieron buenos ajustes para la producción de levadura ($R^2 = 0.9038$), etanol ($R^2 = 0.9450$), y de consumo de sustrato (azúcares) ($R^2 = 0.9831$). (Figura 2)

Aspen Custom Modeler resultó ser una herramienta útil para construir una unidad personalizada de fermentación, ya que permitió crear el modelo, declarar dominios, declarar distribución para cada variable, escribir ecuaciones diferenciales parciales sobre el dominio, escribir condiciones de contorno y finalmente escribir condiciones iniciales. Todas estas posibilidades sumadas al correcto método de discretización, permitió obtener concentraciones de etanol, levadura y azúcares semejantes a las experimentales y a las obtenidas con MATLAB.

Conclusiones

El mucílago de cacao CCN-51, residuo de la creciente industria cacaotera, representa una materia prima con un gran potencial para la obtención de bioetanol, puesto que contienen azúcares fermentables y se encuentra de manera abundante en el Ecuador.

Este estudio utilizó el modelo cinético de *Andrew y Levenspiel* y se modeló con Aspen Custom Modeler,

mostrando un buen ajuste con los datos experimentales obtenidos, incluye términos de inhibición por el consumo de sustrato, los términos de inhibición del producto y presentan aceptabilidad para predecir y controlar sistemas fermentativos con mucílago de cacao CCN-51.

Referencias

- [1]. PHUKOETPHIM, N., SALAKKAM, A., LAOPAIBOON, P. and LAOPAIBOON, L. 2017. Kinetic models for batch ethanol production from sweet sorghum juice under normal and high gravity fermentations: Logistic and modified Gompertz models. *Journal of Biotechnology*. Thailand, 243, 69–75. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiotec.2016.06.023>.
- [2]. ARIYAJAROENWONG, P., LAOPAIBOON, P., and SALAKKAM, A. 2016. Kinetic models for batch and continuous ethanol fermentation from sweet sorghum juice by yeast immobilized on sweet sorghum stalks. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. Thailand, 66, 210–216. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiotec.2016.12.012>
- [3]. SÁNCHEZ Ó. and CARDONA C. Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. *Bioresour Technology* [en línea]. 2008, (99). 5270–5295 [Consulta: Enero 2018]. DOI 10.1016/j.biortech.2007.11.013.
- [4]. MELO, E., SÁNCHEZ, Y., FERRER, N., y FERRER, N. Evaluación de un motor de encendido por chispa trabajando con mezclas etanol-gasolina. *Ingeniería Energética* [en línea]. 2012, 33(2), 94–102 [Consulta: enero 2018]. ISSN 1815 – 590.
- [5]. VALLEJO, C., y GOYA, M. Obtención de una bebida alcohólica a partir de mucílago de cacao, mediante fermentación anaerobia en diferentes tiempos de inoculación [en línea]. Tesis de pregrado. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, 2013. [Consulta: enero 2018]. Disponible en: <http://repositorio.uteq.edu.ec/jspui/handle/43000/336>
- [6]. KALVATCHEV, Z., GARZARO, D., y GUERRA, F. *Theobroma Cacao L.: Un nuevo enfoque para nutrición y salud*. *Agroalimentaria* [en línea]. 1998, 4(6), 23–25 [Consulta: Enero 2018]. ISSN-e 1316-0354. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3233588>
- [7]. AUGUSTO, J., y MORA, H. Producción de etanol a partir de glicerina por vía fermentativa con *Saccharomyces cerevisiae* y simulación del proceso a escala industrial. Tesis de maestría. Universidad de Manizales, Colombia, 2015.
- [8]. DODIĆ, J., VUČUROVIĆ, D., DODIĆ, S., GRAHOVAC, J., POPOV, S., and NEDELJKOVIĆ, N. 2012. Kinetic modelling of batch ethanol production from sugar beet raw juice. *Applied Energy*. Serbia, 99,

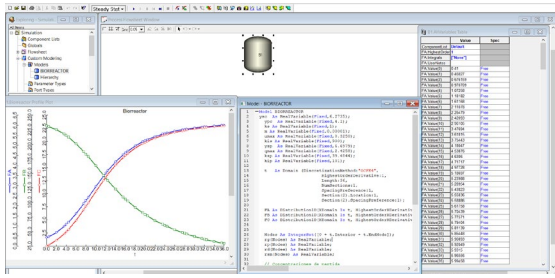


Figura 1. El tablero ACM del modelo del Biorreactor para fermentación de mucílago de cacao CCN-51.

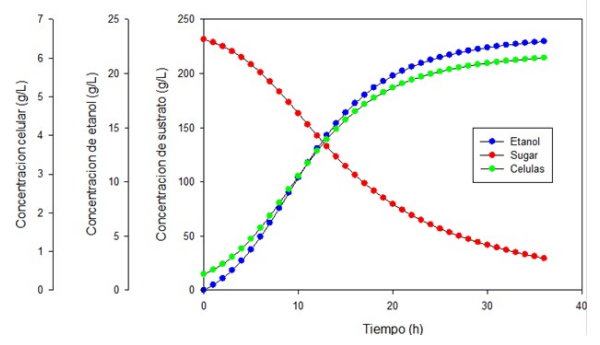


Figura 2. Crecimiento de biomasa, consumo de glucosa y producción de bioetanol en la fermentación de mucílago de cacao CCN-51. Símbolos: línea continua, curva ajustada.