

# Optimización de la producción de bioetanol en procesos fermentativos del mucílago de Cacao CCN – 51 en un biorreactor tipo *batch*

Jorge Delgado, Jaime Soler, José Ángel Peña

Grupo de Catálisis, Separaciones Moleculares e Ingeniería de Reactores (CREG)  
Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)  
Universidad Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas, Carrera de Ingeniería Química  
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.

El objetivo de este estudio fue optimizar la producción de bioetanol generado en la fermentación de mucílago de Cacao CCN – 51 con levadura *Saccharomyces cerevisiae* mediante el proceso experimental y la aplicación de los modelos: *Logístico* y *Gompertz modificado* [1], y la simulación con el modelo de *Andrew y Levenspiel* [2].

La fermentación discontinua se desarrolló en un biorreactor de tipo *batch* bajo diferentes condiciones de pH, temperatura y concentración de levadura. Durante la reacción se evaluó, la cantidad de biomasa, etanol y sustrato consumido mediante los métodos de peso seco, microdifusión y FTIR respectivamente.

El resultado de la concentración final de bioetanol fue de 22,06 g/L a una temperatura de 35 °C, pH de 4 y concentración de levadura de 3 g/L y los modelos ajustaron los datos experimentales con coeficientes de determinación superiores a 0,9.

## Introducción

Debido al volátil mercado mundial de energía y las crecientes preocupaciones ambientales, los combustibles alternativos como el bioetanol han recibido mucha atención como posibles reemplazos

de los combustibles fósiles [3]. Entre los biocombustibles más utilizados está el biodiesel y bioetanol, ya que estos aditivos oxigenados sirven para incrementar el octanaje original del combustible y disminuir emisiones [4].

Adicionalmente, las riquezas agrícolas entre ellas las del Ecuador aporta con biomasa residual que constituye una fuente renovable con un alto potencial de aprovechamiento energético, como la palma africana, banano, arroz y cacao [5]. El cacao posee un residuo mucilaginoso compuesto por células esponjosas, parenquimatosas, que contienen células de savia ricas en azúcares (10 - 13%), pentosas (2 - 3%), ácido cítrico (1 - 2%), y sales (8 - 10%) [6].

A nivel industrial los procesos de fermentación buscan obtener altas concentraciones de etanol [2], siendo el interés estudiar los parámetros cinéticos de la fermentación con modelos que ayuden a predecir y mejorar rendimientos [1].

## Experimental

El mucílago extraído de cacao CCN-51 corresponde a la zona geográfica 6 del Ecuador, en el cantón La Troncal, punto de georreferencia: 2°29'25"S y 79°19'3"O. Esta variedad se utilizó debido a su mayor productividad en el Ecuador

La fermentación alcohólica 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 72 a 120 horas dependiendo de los parámetros de operación y

utilizando levadura del tipo *Saccharomyces Cerevisiae*.

La cuantificación de glucosa se realizó en un espectrofotómetro infrarrojo (FT-IR, marca: ThermoFisher Scientific ASB1504156), realizando previamente las curvas de calibración. La cuantificación de biomasa se realizó mediante el método analítico peso seco, que consistió en la toma de muestras que luego se trasladaron a una estufa en donde permanecieron a una temperatura de 105 °C hasta alcanzar el peso constante. La cuantificación del bioetanol durante la experimentación se realizó por el método de *Winnick* o microdifusión [7], para lo cual previamente se centrifugaron las muestras durante 15 minutos a 4000 rpm y se extrajeron 1 mL de sobrenadante, mismo que se aforó a 100 mL con agua destilada.

La ecuación *Logística Integrada* y la ecuación de *Gompertz modificado* se utilizaron para modelar la producción de biomasa y bioetanol durante el proceso de fermentación, respectivamente. La simulación con el modelo de *Andrew y Levenspiel* se utilizó para determinar parámetros cinéticos como ( $P_{X,max}$ ,  $K_{SP}$ ,  $K_{IS}$ ,  $K_{IP}$ ,  $m$ ,  $q_{max}$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $Y_{X/S}$ ,  $Y_{P/S}$ ,  $\mu_{max}$ ,  $K_S$ ) que ajustaron los datos experimentales. Los valores de estos parámetros pueden apreciarse en la Tabla 1.

## Resultados y discusión

Al aplicar el diseño factorial para estudiar el efecto de las variables del proceso de fermentación discontinua existen 4 efectos significativos, estos son: el pH, la combinación de pH-Concentración de levadura, concentración de levadura y finalmente la temperatura.

Se determinó que el tiempo óptimo de producción de biomasa y bioetanol fue de 34,5 horas a una temperatura de 35 °C, pH de 4 y concentración de levadura de 3 g/L, tiempo en cual la velocidad máxima de producción de bioetanol (rpm) alcanza su máximo valor cuando se genera la mayor concentración de bioetanol en la fermentación [8]. En este estudio, la concentración máxima de bioetanol fue de 22,06 g/L con un rpm de 1,30 g/(L.h).

El valor de la tasa de crecimiento específico ( $\mu$ ) de la fermentación discontinua de etanol a partir del mucílago de cacao fue de 0,18 h<sup>-1</sup>. Resultado similar (0,197 h<sup>-1</sup>), fue reportado por *Macías y Saavedra* [9]

cuya variación es por la diferencia de la metodología realizada.

Los coeficientes de determinación obtenidos a partir de los datos experimentales de biomasa, etanol y glucosa con el modelo de *Andrew y Levenspiel*, son valores de R<sup>2</sup> que excedieron 0,75 (valor aceptable más bajo) [2], lo que refleja el buen ajuste del modelo.

## 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.

La aplicación de un diseño experimental completo 2<sup>3</sup>, permitió establecer las condiciones óptimas de operación en donde se generó la mayor producción de biomasa y bioetanol.

Este estudio utilizó modelos cinéticos empíricos como son el *Logístico Integrado*, *Gompertz modificado* y *Andrew y Levenspiel* que mostraron un buen ajuste con los datos experimentales obtenidos y presentan aceptabilidad para predecir y controlar sistemas fermentativos con mucílago de cacao CCN-51.

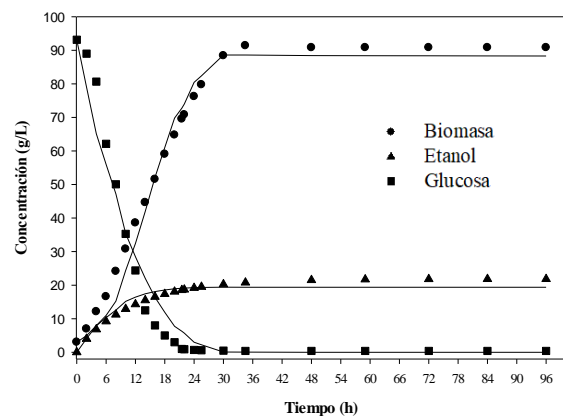
## Referencias

- [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.jtice.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, 192–197. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.05.016>
- [9]. MACÍAS, S., y SAAVEDRA, M. Determinación de la cinética de fermentación alcohólica del mucílago de cacao CCN-51 en condiciones óptimas de operación de temperatura, pH y concentración de Levadura. Caso - Zona 6. Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca, Ecuador, 2017.

**Tabla 1. Parámetros cinéticos obtenidos con el modelo de Andrew y Levenspiel.**

Parámetros	Resultado	Unidad
$\mu_{max}$	0,2996	$h^{-1}$
$q_{max}$	1	$g/(g \cdot h)$
$K_S$	11,4492	$g/L$
$K_{SP}$	34,9954	$g/L$
$K_{IS}$	400	$g/L$
$K_{IP}$	250	$g/L$
$Y_{X/S}$	3	$g/g$
$Y_{P/S}$	0,2999	$g/g$
$m$	1,00E-5	$h^{-1}$
$P_{X,max}$	18,9683	$g/L$
$\alpha$	0,1742	$g/L$
$\beta$	2,2555	$g/L$



**Figura 1.** Crecimiento de biomasa, consumo de glucosa y producción de bioetanol en la fermentación de mucílago de cacao CCN-51. Símbolos: figuras sólidas, datos experimentales; línea continua, curva ajustada.