

DESCRIPCIÓN MATEMÁTICA DE LA ETAPA FERMENTATIVA DEL PROCESO DEL TEQUILA

Javier Arrizon ⁽¹⁾⁽²⁾, Dulce María Díaz-Montaña ⁽¹⁾⁽²⁾, Anne Gschaedler ⁽¹⁾ y Orfil Gonzalez ⁽²⁾. (1) Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Av. Normalistas 800, 44270, Guadalajara, Jalisco, México. (2) Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingeniería de la Universidad de Guadalajara, Blvd M. García Barragán y Calzada Olímpica, 44460 Guadalajara, Jalisco, México. e-mail: agschaedler@ciatej.net.mx

Palabras claves: fermentación alcohólica, tequila, fenómenos de inhibición.

Introducción. El tequila es una bebida destilada producida a partir de los azúcares fermentados del jugo del *Agave tequilana* Weber var. azul. Se ha encontrado que en la mayoría de las industrias tequileras, la etapa de fermentación presenta eficiencias del 70% en la conversión de los azúcares en etanol. Las fermentaciones lentas o incompletas, son un problema muy frecuente ligado al estrés al cual están sometidas las levaduras. Las principales causas de estrés son las altas concentraciones de sustrato y de producto. Pretorius (2000) menciona a varios autores que han mitigado el estrés principalmente con la adición a los mostos de fuente de nitrógeno. El objetivo de este trabajo es el de proponer un modelo matemático, que describa el comportamiento cinético de la fermentación alcohólica en el proceso de la elaboración del tequila (formación de biomasa, consumo de sustrato y producción de etanol), en un rango amplio de concentraciones iniciales de sustrato y así mismo cuantificar los fenómenos de inhibición por sustrato y por producto en los ensayos con y sin adición de fuente de nitrógeno.

Metodología. Se trabajó en un fermentador de 2 litros (volumen útil), bajo condiciones anaerobias no estrictas, con incremento en la concentración inicial de jugo de *Agave tequilana* Weber var. azul (4, 8, 12, 16 y 20 °Bx), a 35 °C y 1 g/l de sulfato de amonio inicial. Las fermentaciones fueron realizadas sin y con adición de fuente de nitrógeno (323.4 mg/l de sulfato de amonio y 114 mg/l de amino ácidos), fijadas a 6 h para 20 °Bx y 16 °Bx y a 4 h para 8 °Bx y 4 °Bx. La levadura utilizada fue una *Saccharomyces cerevisiae* (MG) aislada de la industria tequilera. El consumo de sustrato y la formación de biomasa y de etanol fueron monitoreadas. Para la simulación de la fermentación alcohólica, se emplearon 8 diferentes modelos propuestos en la literatura (2), utilizando para el cálculo numérico MATLAB 5.3. Las simulaciones de los modelos fueron validados mediante los datos experimentales.

Resultados y discusión. En las fermentaciones realizadas con adición de la fuente de nitrógeno se produce mayor cantidad de etanol y el tiempo de fermentación disminuye arriba de un 30 %. La descripción matemática para cada tratamiento (sin y con fuente de nitrógeno) fue diferente. El modelo propuesto por Aiba, caracterizó a los ensayos sin adición de la fuente de nitrógeno (fig. 1), y el modelo acompetitivo

fue el más apropiado para describir los ensayos con adición de nitrógeno (fig. 2).

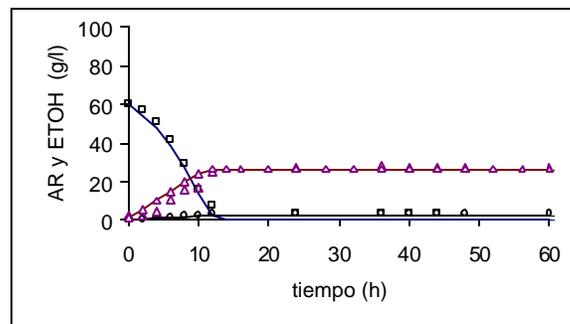


Fig. 1 Validación del modelo de Aiba en fermentaciones a 8 °Bx sin adición de la fuente de nitrógeno en la fase exponencial, utilizando *Saccharomyces cerevisiae* (MG). Datos experimentales del consumo de sustrato (?), formación de etanol (?) y de biomasa (?).

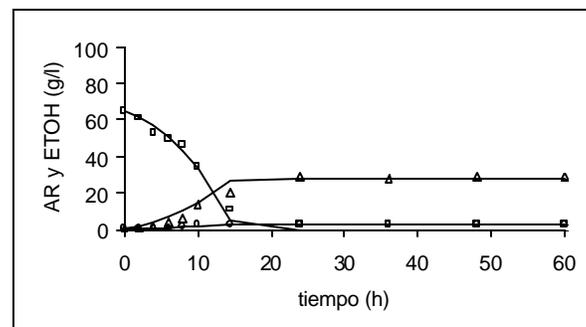


Fig. 2 Validación del modelo Acompetitivo en fermentaciones a 8 °Bx con adición de la fuente de nitrógeno en la fase exponencial, utilizando *Saccharomyces cerevisiae* (MG). Datos experimentales del consumo de sustrato (?), formación de etanol (?) y de biomasa (?).

Conclusiones. La simulación revela un adecuado ajuste con los modelos de Aiba y Acompetitivo para los ensayos sin y con fuente de nitrógeno en el rango de 4 a 20 °Bx, respectivamente. La adición de nitrógeno favoreció el transporte de azúcar y disminuyó los efectos de inhibición por sustrato y producto.

Bibliografía.

- Pretorius I. (2000). Tailoring wine yeast for the new millennium: novel approaches to the ancient art of winemaking. *Yeast*. Vol.16: 675-729.
- Marín R. (1999). Alcoholic fermentation modeling: current state and perspectives. *Am. J. Enol. Vitic.*, Vol. 50: 166-178.