

Desarrollo y Verificación de un Modelo Matemático para el Crecimiento de Levadura Cervecera

* Julia Sierra P.

** Luis A. Caicedo

*** Hernán Hoyos V.

RESUMEN

El presente trabajo establece como objetivo el estudio cinético del crecimiento de la levadura, en cultivo por lotes durante la propagación, y el desarrollo de un modelo matemático que lo describa.

INTRODUCCIÓN

La propagación de la levadura en el proceso cervecero, tiene como fin obtener a partir de una pequeña cantidad de células una masa celular suficientemente alta que sirva de inóculo a la fermentación final.

La obtención de la cantidad de inóculo necesaria para la fermentación se realiza a partir de la propagación. Las variables como el grado de aireación, temperatura, pH y agitación entre otras (1,2)(referencias bibliográficas) tienen gran influencia sobre la cantidad y calidad de las células. De otro lado, la velocidad de crecimiento celular afectada por las variables anteriores, influye sobre la productividad de la propagación, por lo que, conocer un modelo matemático que permita predecir la velocidad de crecimiento de las células a partir de variables de proceso es de gran importancia para el diseño y control del proceso cervecero.

* Docente Universidad Militar "Nueva Granada". Facultad de Ingeniería.

** Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería • Departamento de Ingeniería Química.

*** Bavaria S.A.

ASPECTOS TEÓRICOS DE LA PROPAGACIÓN POR LOTES

El crecimiento celular puede ser analizado considerando el balance de materia para el sustrato y biomasa.

La ecuación general de balance para un componente es:

Velocidad	Flujo	Flujo	Velocidad	Velocidad
de =	de -	de +	de -	de
Acumulación	Entrada	Salida	Formación	Consumo

En los procesos por lotes, los flujos de entrada y salida son cero; luego la ecuación se reduce a:

Velocidad de Acumulación = Velocidad de formación - Velocidad de consumo

El balance para el sustrato se expresa como:

Velocidad de Acumulación = Velocidad de Consumo

MATERIALES Y MÉTODOS

En el laboratorio se llevaron a cabo dos cinéticas a volumen de siete litros y una a volumen de cinco litros; manteniendo el flujo de aire, la temperatura y la agitación constantes.

Adicionalmente, se llevó a cabo una fermentación a un volumen de cinco litros aireado durante las primeras ocho horas del proceso.

Materiales:

- Se utilizó un propagador de vidrio, de 10 litros de capacidad.
- Mosto cervicero estéril a una concentración inicial entre 10-16 grados plato (∞P).

Para el análisis de muestras se utiliza la cámara de Newbawer para hacer el

conteo celular y el analizador de cerveza para determinar consumo de sustrato.

Con el fin de estudiar el efecto del flujo de aire sobre la propagación, se fijaron dos relaciones de volumen de aire a volumen de mosto por minuto (vvm), estableciendo un flujo de aire constante y variando el volumen de mosto.

Los flujos de aire expresados como vvm son:

Para volumen de 5 L: 0.36 vvm

Para volumen de 7 L: 0.26 vvm

PARÁMETROS CINÉTICOS

Con el fin de ajustar los datos experimentales a un modelo matemático se utiliza el programa "Biokin" (7), que evalúa ocho modelos matemáticos para el crecimiento celular.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La variación de la concentración celular, concentración de sustrato y formación de alcohol con respecto al tiempo para las cinéticas de 5 litros y 7 litros, se encuentran en las figuras 1 y 2.

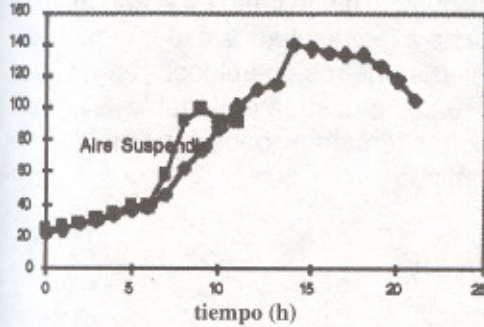


FIG. 1 Concentración celular para las cinéticas de volumen 5L \blacklozenge flujo de aire continuo, \blacksquare flujo de aire suspendido a las 8 h.

En las dos fermentaciones con 5 litros se presenta una fase lag muy larga de 4 a 6 horas, en comparación con las fermentaciones de 7 litros, debido a las condiciones del inóculo.

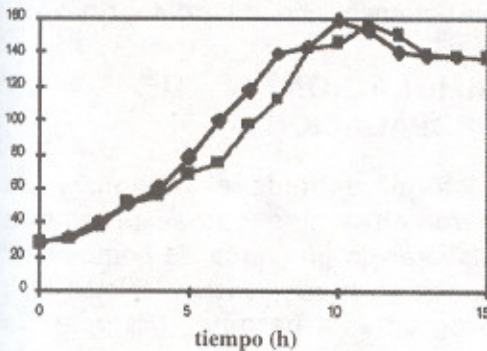


FIG. 2 Concentración celular para las cinéticas de volumen 7L con flujo de aire continuo.

Al analizar las propagaciones con volúmenes de 5 litros, puede observarse que al suspender el aire a las ocho horas, el crecimiento celular cesa, mientras una aireación continua asegura un crecimiento celular hasta las 13 horas, logrando así una mayor concentración final.

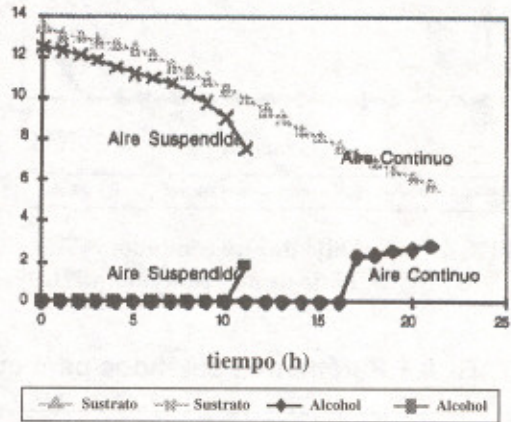


FIG. 3 \blacktriangle , X, Flujo de aire continuo, $v=5L$.
 \star , \blacksquare , Flujo de aire suspendido a las 8h, $v=5L$.

En la propagación con flujo de aire continuo se alcanza a las 14 horas una concentración celular máxima de 140.5 millones de células/mL; mientras que en la de flujo de aire discontinuo una concentración de 99.25 millones de células/mL, a las 9 horas.

La velocidad de consumo de sustrato está asociada a la velocidad de crecimiento celular como se aprecia al comparar las figuras 1 y 3, lo que confirma que la producción de levadura corresponde a una fermentación tipo I según la clasificación de Gaden (3).

Se puede concluir en esta fase que el suministro de oxígeno continuo es esencial para la propagación

MODELO CINÉTICO PARA LA PROPAGACIÓN

Al probar los diferentes modelos propuestos por el programa Biokin (7), se pudo concluir que el de Monod presenta una menor suma de cuadrados residuales, por lo tanto es el que más se ajusta a los resultados experimentales. Los parámetros obtenidos: m_{max} , $Y_{x/s}$, K_s ; se muestran en la tabla 1-1, para las tres fermentaciones con flujo de aire continuo.

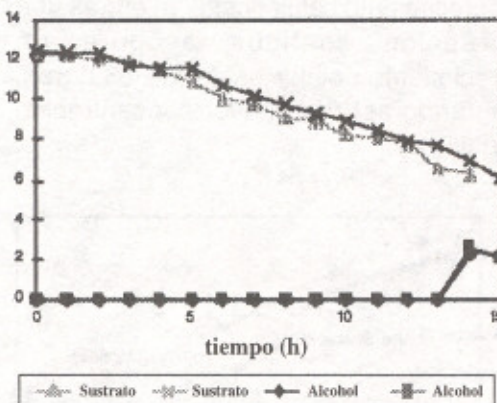


FIG. 4 X, ▲, Flujo de aire continuo, $v=7L$.
 ☆, ■, Flujo de aire continuo, $v=7L$.

TABLA 1 Parámetros cinéticos para cultivos por lotes

Volumen	K_s	u_{max}	$Y_{x/s}$
5*	6214	93.26	23.88
7	1389	23.60	28.92
7	1539	27.79	29.69

★ Se descarta la fase lag de cuatro horas en la determinación de los datos cinéticos.

El flujo de aire influye directamente en la constante de saturación K_s , y en la velocidad específica de crecimiento m_{max} , a mayor flujo de aire se tienen valores más altos de K_s y velocidad máxima de crecimiento, como en la cinética de 5 litros; pero inversamente en las concentraciones celulares y rendimientos como se aprecia en las cinéticas de 7 litros.

SIMULACIÓN DE LA PROPAGACIÓN

Al tener definido el modelo y los parámetros cinéticos se procede a elaborar un programa de computador que simule la propagación por lotes. Este programa permite conocer la concentración celular y de sustrato a diferentes intervalos de tiempo durante el proceso.

En la figuras 5, 6, 7, 8, se observan las curvas correspondientes a los datos experimentales y a los datos que arroja el programa de simulación.

Como se observa en las gráficas, el modelo es una buena aproximación a los resultados experimentales obtenidos en el laboratorio.

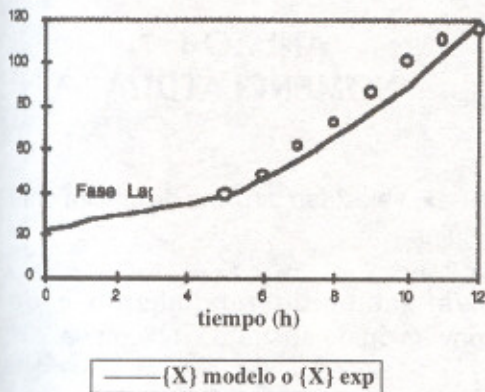


FIG. 5 Simulación de la concentración celular para la cinética de volumen 5L.

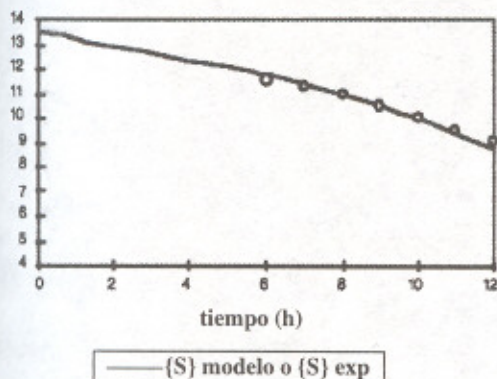


FIG. 6 Simulación de la concentración celular para la cinética de volumen 5L.

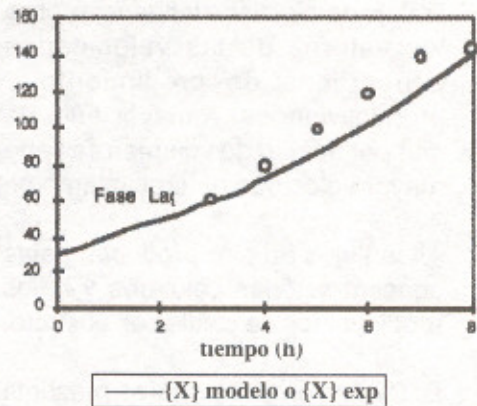


FIG. 6 Simulación de la concentración celular para la cinética a $v=7L$.

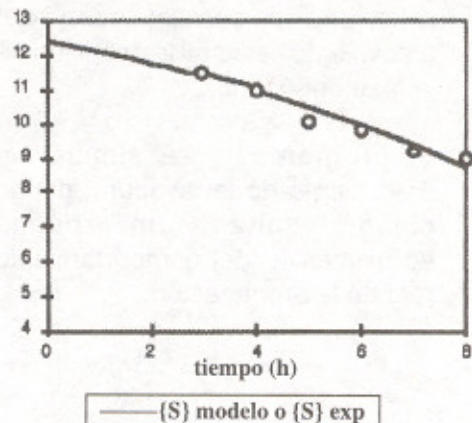


FIG. 6 Simulación de la concentración de sustrato para la cinética a $v=7L$.

CONCLUSIONES

- La ausencia de aire afecta la población celular, frenando la reproducción y crecimiento de la levadura; por lo tanto, la aireación continua es muy importante para obtener una alta reproducción y una buena atenuación del sustrato.

- El flujo de aire tiene influencia sobre los valores de las velocidades específicas de crecimiento y productividades. A mayor flujo de aire por unidad de volumen se tiene mayor velocidad de crecimiento.
- Altos flujos de aire producen bajas concentraciones celulares y bajos rendimientos de células en sustrato.
- La formación de alcohol se presenta cuando la concentración de sustrato llega a valores inferiores de 8 grados plato. Esta formación esta relacionada con el cese del crecimiento celular y la aparición de la fase endógena.
- El programa logra simular el crecimiento de la levadura, dando como resultado una buena aproximación del comportamiento real de la propagación.

AGRADECIMIENTOS

- Al Ing. Luis A. Caicedo, por su colaboración y asistencia.
- A la empresa BAVARIA S.A, donde se realizó la parte experimental de este estudio, especialmente al Dr. Hernan Hoyos.

ANEXO 1 NOMENCLATURA

m_{max} : velocidad máxima de crecimiento celular.

$Y_{x/s}$: factor de rendimiento o de conversión de sustrato en biomasa.

K_s : constante de saturación.