



ESTIMACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN UN REACTOR DE CHAROLAS PARA FERMENTACIÓN EN MEDIO SÓLIDO USANDO UN SOPORTE INERTE

Arturo Figueroa-Montero, Mariano Gutiérrez-Rojas, Sergio Huerta-Ochoa y Ernesto Favela-Torres
Departamento de Biotecnología, UAM-Iztapalapa, San Rafael Atlixco 186, Col. Vicentina, Iztapalapa, México D.F.
09340 MÉXICO, Fax: 58 04 65 54, correo-e: aafiguerfima@hotmail.com

Palabras clave: transferencia de calor, reactor de charolas, fermentación en medio sólido, soporte inerte.

Introducción. En los procesos de fermentación en medio sólido (FMS) a gran escala, uno de los principales problemas es la remoción del calor metabólico (1). La baja conductividad de los sustratos empleados ocasiona bajos coeficientes de transferencia de calor, lo que limita la remoción de calor de los lechos de fermentación. Esto provoca el aumento en la temperatura de los lechos, afectando el crecimiento de los microorganismos (1). El desarrollo de balances de calor para procesos de FMS es importante ya que permiten proponer y evaluar diferentes estrategias de remoción de calor metabólico.

El objetivo del trabajo fue desarrollar balances de calor en un reactor de charolas para FMS que permita evaluar la contribución de los diferentes mecanismos de transferencia de calor en la remoción del calor metabólico.

Metodología. Para la FMS se usó agrolita impregnada de medio Pontecorvo modificado, con 200 mg de sacarosa por g de soporte inerte (SI) que se empacó en charolas de aluminio abiertas con una densidad aparente de 141 kgm^{-3} , altura de lecho de 2.5 cm y humedad inicial de 50 %. Se inoculó con *Aspergillus niger* C28B25. Las charolas se colocaron dentro del reactor, que se incubó en un cuarto a 30°C . Se midió la temperatura del lecho (T_b), del aire entre las charolas (T_c), del aire a la entrada (T_{en}) y a la salida (T_{sal}) del reactor. El balance de calor en el lecho de fermentación es:

$$Q_{acum} = -Q_{cc} - Q_{evap} - Q_{sen} + Q_{met} \quad (\text{Ec. 1})$$

Para cada elemento tenemos:

$$C_{p_b} \frac{dT}{dt} = -UA_K (T_b - T_c) - \lambda_w \frac{dW_{evap}}{dt} - \frac{G \rho_{air} C_{p_{air}} (T_{sal} - T_{en})}{m_b} + \frac{\alpha r_{CO_2}}{m_b} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde se tiene que:

$$\lambda_w \frac{dW_{evap}}{dt} = h_c A_K (T_b - T_c) \quad (\text{Ec. 3})$$

Las descripciones de las variables de las Ec. 1, 2 y 3 así como, sus valores y unidades se encuentran en los Cuadros 1 y 2.

Cuadro 1. Variables y resultados del balance de energía.

Variabl e	Descripción	Valor y Unidades
C_{p_b}	Capacidad calorífica el lecho	$0.9211 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
U	Coef. global de transf. de calor (charola)	$6.74 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$
h_c	Coef. convectivo de transf. de calor	$9.79 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$
A_K	Área de transferencia de calor	$0.000236 \text{ m}^2\cdot\text{gSI}^{-1}$
λ_w	Calor latente de vaporización del agua	Depende de T_b , $\text{J}\cdot\text{g}^{-1}$
W_{evap}	Masa de agua evaporada	$0.384 \text{ g}\cdot\text{gSI}^{-1}$
G	Gasto de aire	$1900 \text{ cm}^3\cdot\text{min}^{-1}$
ρ_{air}	Densidad del aire	Depende de T_{en}
$C_{p_{air}}$	Capacidad calorífica del aire	Depende de T_{en} , $\text{J}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
m_b	Masa de lecho	475.66 gSI
α	Calor por mol de CO_2 producido	$460 \times 10^3 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}$
r_{CO_2}	Tasa de producción de CO_2	molh^{-1}

El valor de h_c (remoción de calor arriba del lecho) se calculó numéricamente a partir de la integración de la Ec. 3 para todo

el intervalo de tiempo de la fermentación (30 h). Con el valor de h_c , se calculó, numéricamente, el valor de U (remoción de calor por la charola) integrando la Ec. 2 para las primeras 22 horas de fermentación, que es cuando se alcanza la temperatura máxima (2). Una vez conocido U con la Ec. 1, se calculó el calor acumulado (Q_{acum}) durante la fermentación.

Resultados y discusión. En el Cuadro 1 se observan los valores de los coeficientes de transferencia de calor, obtenidos a partir del balance de energía. El valor de h_c es aproximadamente un 45% más grande que el de U ; esta diferencia se presenta también en las magnitudes de Q_{evap} con respecto a Q_{cc} (Cuadro 2). En el Cuadro 2 se puede observar que la remoción de calor por evaporación representa el 59% de la remoción de calor total (Q_{rem}), mientras que la remoción de calor por conducción y convección a través de la charola representa el 40% de la remoción total. La remoción de calor sensible (Q_{sen}), es prácticamente despreciable (1%). Hasta la fecha no existen trabajos que reporten la estimación de coeficientes de transferencia de calor en reactores de charola para FMS. A diferencia de otros trabajos, en el presente se demuestra que la remoción de calor por evaporación es un proceso convectivo y no de carácter difusivo exclusivamente (3).

Cuadro 2. Elementos del balance de energía.

Elemento	Descripción	$\text{J}\cdot\text{gSI}^{-1}$
Q_{met}	Calor metabólico	1807.0
Q_{evap}	Calor evaporativo	-925.3
Q_{cc}	Calor conductivo-convectivo	-636.6
Q_{sen}	Calor sensible	-8.3
Q_{rem}	Calor removido total	1570.2
Q_{acum}	Calor acumulado	236.8

Conclusiones. El balance de calor propuesto permitió la estimación de los coeficientes de transferencia de calor en un reactor de charolas para FMS. La remoción de calor por evaporación representa el 50% de la remoción total.

Agradecimientos. CONACYT, Becario 127584.

Bibliografía.

1. Saucedo-Castañeda G, Gutiérrez-Rojas M, Bacquet G, Raimbault M, Viniestra-González G. (1990). Heat transfer simulation in solid state fermentation. *Biotechnol. Bioeng.* 35: 802-808.
2. Nagel FJJI, Tramper J, Bakker MSN, Rinzema A. (2001) Temperature control in a continuously mixed bioreactor for solid state fermentation. *Biotechnol. Bioeng.* 72(2): 219-230.
3. Khanahmadi, M, Roostazad, R, Safekordi, A, Bozorgmehri, R and Mitchell, DA. (2004). Investigating the use of cooling surfaces in solid-state fermentation tray bioreactors: modelling and experimentation. *J Chem Technol Biotechnol.* 79: 1228-1242.