

# ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN UN REACTOR DE CHAROLAS PARA FERMENTACIÓN EN MEDIO SÓLIDO

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, e-mail: favela@xanum.uam.mx

**Palabras clave:** transferencia de calor, reactor de charolas, fermentación en medio sólido

**Introducción.** En la fermentación en medio sólido (FMS) uno de los principales problemas es la remoción del calor generado por la actividad metabólica de los microorganismos (1). La remoción de calor de los lechos de fermentación está limitada por baja conductividad de los sustratos empleados, la que ocasiona un bajo coeficiente de transferencia de calor. Esto provoca acumulación de calor en los lechos, que afecta el crecimiento de los microorganismos (1). Estimar el coeficiente de transferencia de calor es importante pues se incluye en los balances de masa y calor (2), los cuales permiten proponer y evaluar diferentes estrategias de remoción de calor metabólico.

El objetivo del trabajo fue estimar el coeficiente global de transferencia de calor en un reactor de charolas para FMS a partir de un balance de calor y agua, así como estudiar su relación con el espesor del lecho, el número de Reynolds ( $N_{Re}$ ) y la acumulación de calor.

**Metodología.** Para la FMS se usó salvado de trigo y harina de soya que se empacó en charolas de aluminio cerradas a una densidad aparente de  $370\text{kgm}^{-3}$  con alturas de lecho de 0.20, 0.67 y 0.92 cm con aireación de 0.8 VKgM y a un espesor de 1 cm con aireación de 3.7 VKgM y  $N_{Re}$  ( $N_{Re} = Lv\rho_a\mu_a^{-1}$ , L, longitud de la charola paralela al flujo de aire; v, velocidad del aire,  $\rho_a$  y  $\mu_a$  densidad y viscosidad del aire) de 1.5, 4330 y 8630, durante 120h. Se inoculó con *Aspergillus niger* AT. Cuatro charolas se colocaron en el reactor, que se incubó en un cuarto a 30°C. Se midió la temperatura del lecho ( $T_b$ ) y del aire entre las charolas ( $T_c$ ). En algunos experimentos se sobresaturó con agua el aire dentro del reactor. El balance de calor es: Acumulado ( $Q_{acum}$ ) = Metabólico ( $Q_{met}$ ) – Evaporativo ( $Q_{evap}$ ) – Conv/Cond ( $Q_{cc}$ ).  $Q_{acum}$  se obtiene a partir del perfil de temperaturas del lecho.  $Q_{met}$  se obtiene a partir de la producción de  $\text{CO}_2$  (2).  $Q_{evap}$  se obtiene a partir de un balance integral de agua que permite calcular la cantidad de agua evaporada.  $Q_{cc}$  se obtuvo a partir del balance de calor anterior en las primeras 48 h.  $Q_{cc} = UA(T_b - T_c)$  donde A ( $\text{m}^2$ ) es el área de transferencia y U ( $\text{Jh}^{-1}\text{m}^2\text{K}^{-1}$ ) el coeficiente global de transferencia de calor, estimado numéricamente. Para el sistema estudiado,  $U = [(1/h_c) + (1/h_o) + (\delta_b/k_b) + (\delta_t/k_t)]^{-1}$ , donde  $h_c$  y  $h_o$  coeficientes de transferencia de calor fuera y dentro de la charola;  $\delta_b$  y  $\delta_t$  espesor de lecho y de charola respectivamente,  $k_b$  y  $k_t$  conductividad térmica del lecho y de charola respectivamente (3).

**Resultados y discusión.** El aumento de la altura del lecho disminuye el coeficiente de transferencia de calor (U), aumentando la acumulación de calor en el mismo (Cuadro 1).

Aumentar  $N_{Re}$  de 1.5 a 4330 aumenta el valor de U en aproximadamente el doble, sin embargo, aumentar  $N_{Re}$  de 4330 a 8630 reduce el valor de U, posiblemente por la formación de remolinos (3). La sobresaturación con agua del aire en el reactor aumentó el valor de U entre un 20 y 25 % respecto a experimentos similares sin sobresaturación. El aumento en U tiene un efecto positivo en la remoción de calor metabólico en el lecho de fermentación, ya que se observa una disminución en la acumulación de calor (Fig.1).

**Cuadro 1.** Efecto de la altura del lecho y  $N_{Re}$  sobre U y  $Q_{acum}$  con sobresaturación del aire dentro del reactor. (\*)

Altura de lecho cm	$N_{Re}$ adimensional	U $\text{Jh}^{-1}\text{m}^2\text{K}^{-1}$	$Q_{acum}$ $\text{J}(\text{gMHI})^{-1}$
0.20	?	2911	189
0.67	?	1281	269
0.92	?	1224	283
1	1.5	2234	255
1	1.5*	2693	233
1	4330	4393	144
1	4330*	5462	63
1	8630	2175	238

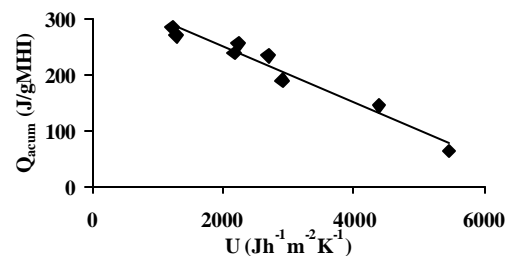


Fig. 1. Relación entre el coeficiente global de transferencia de calor (U) y el calor acumulado ( $Q_{acum}$ ).

**Conclusiones.** El aumento de la altura del lecho disminuye el coeficiente global de transferencia de calor (U). Los valores estimados de U obtenidos en el presente trabajo son menores a los reportados ( $9000\text{Jh}^{-1}\text{m}^2\text{K}^{-1}$ ) para charolas abiertas y perforadas (4). El valor de U permitió evaluar las estrategias de remoción de calor que se podrían usar ( $N_{Re}$  y sobresaturación con agua del aire dentro del reactor)

**Agradecimientos.** CONACYT, Becario 127584; Alltech de México, S.A. de C.V.

## Bibliografía.

- Saucedo-Castañeda G, Gutiérrez-Rojas M, Bacquet G, Raimbault M, Viniegra-González G. (1990). Heat transfer simulation in solid state fermentation. *Biotechnol. Bioeng.* 35: 802-808.
- 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. Geankoplis CJ. (1998). Secado de materiales de proceso. En: *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. CECSA, México. 579-649.
4. Szewczyk KW. (1993). The influence of heat and mass transfer on solid state fermentation. *Acta Biochimica Polonica*. 40: 90-92