

EFFECTO DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN EN LA MICROFILTRACIÓN TANGENCIAL DE CALDOS DE MICROALGAS

Orozco Alvarez C. *, García Salas S., Fernández Linares L.C. y Hernández Sánchez E.

Departamento de Bioingeniería. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología. Instituto Politécnico Nacional. Av. Acueducto S/N. Col. La laguna Ticomán. G. A. Madero. México, D.F., e-mail: corozcoa@ipn.mx

RESUMEN:

Se estudiaron la microfiltración tangencial y ultrafiltración para el procesamiento de caldos de fermentación de microalgas. Se probaron diferentes condiciones de operación. Se encontró que los valores de *flux* de la ultrafiltración son tres veces menores que los de la microfiltración cuando se estudió el efecto conjunto de la presión y la concentración celular: los *fluxes* de la microfiltración van de 40 a 170 x10⁻⁶ m/s (50 y 0.5 g/L, respectivamente, y a 210 kPa).

Por lo anterior sólo se siguió con la microfiltración. Se encontró que el *flux* se incrementa 50% al aumentar cuatro veces el flujo de alimentación, a 0.5 g/L. Mientras que a 50 g/L, el *flux* se incrementa en la misma proporción que el flujo de alimentación.

Al estudiar el efecto de la temperatura se encontró que al duplicar la temperatura el *flux* apenas se incrementa en un 45%. Finalmente se encontró ningún efecto significativo de la variación del pH en el comportamiento del *flux*.

ABSTRACT:

Tangential microfiltration and ultrafiltration for processing fermentation broths microalgae studied. Different operating conditions were tested. It was found that the values of the ultrafiltration flux is three times smaller than when the microfiltration pressure assembly and the cell concentration was studied effect : microfiltration fluxes ranging from 40 to 170 x10⁻⁶ m / s (50 and 0.5 g / L , respectively, and 210 kPa) .

Therefore only be followed with microfiltration. We found that 50 % flux increases with four times the feed flow, 0.5 g / L. While 50 g / L, the flux is increased in the same proportion as the feed flow .

In studying the effect of temperature was found that doubling the flux temperature is increased only 45%. Finally, no significant effect of pH variation in flux behavior was found .

Palabras clave:

Ultrafiltración, microfiltración, microalgas

Keyword:

Ultrafiltration, microfiltration, microalgae

Área: Microbiología y biotecnología

INTRODUCCIÓN

Actualmente la producción de microalgas está en voga como fuente de azúcares y lípidos. Su cultivo se realiza en biorreactores especiales bajo condiciones específicas de operación (Millán, 2013). Después del cultivo viene su recuperación. La filtración convencional y la centrifugación no logran una separación eficiente de la suspensión de microalgas. La microfiltración tangencial y la ultrafiltración pueden emplearse para efectuar esta separación (Cheryan, 1986). El presente trabajo estudia estas operaciones unitarias. Una de las principales metas que se deben alcanzar al implementar un proceso de filtración tangencial es la optimización del *flux*, que se logra reduciendo el área de membrana requerida y el tiempo por cada ciclo del proceso. Para tal efecto, los principales parámetros de operación, que pueden afectar el desempeño del *flux* y que deben ser caracterizados en un ejercicio de optimización son la presión transmembra, el flujo de alimentación, la temperatura y el pH de la operación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se usaron cartuchos de microfiltración de 0.1 μm de diámetro de poro y cartuchos de ultrafiltración de 100 kDa de MWCO, ambos con un área de membrana de 0.042 m², diámetro hidráulico de 0.001 m y longitud de la fibra hueca de 0.3 m (Orozco, et al., 2003). Como parte inicial del trabajo se determinó el flux de los cartuchos a diferentes presiones, utilizando agua desionizada como fluido de trabajo. Se trabajaron 0.2 L de la suspensión de microalgas para las diferentes pruebas experimentales; esta suspensión fue obtenida mediante su cultivo en raceway de mil litros alcanzando una concentración final de 0.5 g/L (Millán, 2013). Esta primera concentración fue denominada 1x; para obtener la concentración 20x se parte de 4 L de la suspensión de microalgas y se concentra hasta 0.2 L usando los mismos cartuchos, es decir, se obtiene un volumen de filtrado 3.8 L libre de células y 0.2 L de suspensión concentrada veinte veces; para obtener 50x, se parte de 10 L; y para 100x se parte de 20 L. Todas las pruebas se efectuaron a volumen constante para no alterar la concentración de la suspensión; se probaron presiones transmembrana de 0 a 210 kPa; flujos de alimentación (F_{alim}) de 7 a 28 $\times 10^{-6}$ m³/s; temperaturas de 25 a 55 °C; y valores de pH de 4 a 11. En la Fig. 1, se presenta un esquema del equipo de laboratorio.

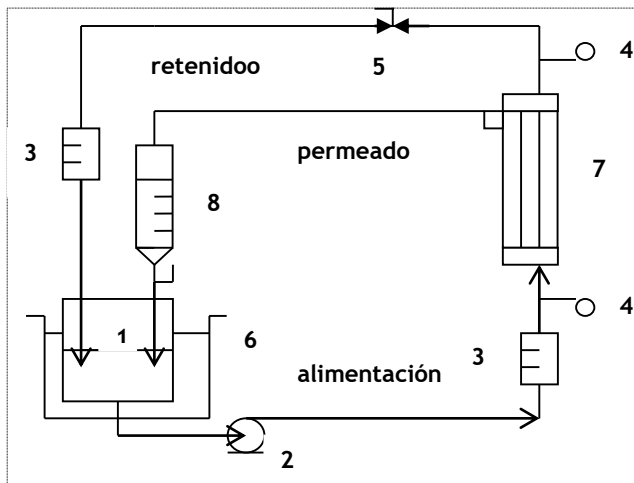


Fig. 1. Equipo de ultrafiltración. (1) tanque de alimentación, (2) bomba peristáltica, (3) rotámetro, (4) manómetro, (5) válvula de control de presión, (6) termostato, (7) módulo de fibra hueca y (8) bureta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Primeramente se trabajaron los cartuchos usando agua como fluido para conocer cuáles eran las condiciones máximas de presión transmembrana que permitía el equipo. Los resultados se muestran en la Fig. 2, donde se observa que el equipo permite trabajar hasta 210 kPa de presión transmembrana, aunque las especificaciones del cartucho recomiendan que se trabaje hasta 140 kPa para mayor tiempo de vida del mismo.

También se ve que el *flux* en el cartucho de microfiltración es aproximadamente 6 veces mayores que los obtenidos con el cartucho de ultrafiltración a cualquier presión de trabajo. Esto era de esperarse porque el diámetro de poro de la microfiltración es superior al de ultrafiltración en varios órdenes de magnitud. También es evidente que al aumentar la presión

transmembrana el *flux* de filtrado aumenta proporcionalmente (para ambas membranas), lo cual es esperado al no tener el agua ningún soluto que pueda retener la membrana (Yeh *et al.*, 2003).

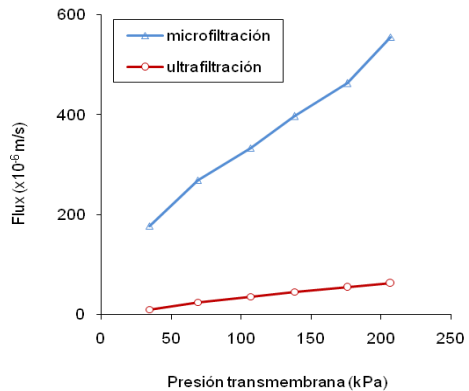


Fig. 2. Desempeño de los cartuchos con agua

Efecto de la presión transmembrana y la concentración celular

La experimentación se inició llevando a cabo la microfiltración de los caldos de microalgas y probando presiones de 0 hasta 210 kPa y concentraciones celulares de 1x hasta 100x; los resultados se muestran en la Fig. 3. Los valores de *flux* son más bajos que los obtenidos con agua: bajan cuatro veces, en promedio, a una concentración celular 1x y a cualquier presión transmembrana. Claramente se observa que a mayor concentración celular los valores de *flux* son menores a cualquier presión de trabajo. También se puede ver que a concentraciones de 20x y superiores el *flux* va tomando una tendencia hiperbólica, es decir, a valores superiores a 175 kPa el valor del *flux* ya no se incrementa significativamente (Naja *et al.*, 2006). Si comparamos los comportamientos de 1x y 100x, podemos encontrar que el *flux* disminuye cuatro veces, en promedio, cuando la concentración se eleva cien veces. El comportamiento aquí mostrado está acorde con toda la literatura reportada sobre la filtración tangencial, a saber, que a mayor concentración del soluto retenido menor es el *flux* la membrana, y que usando valores superiores a 200 kPa ya no se logra aumentar significativamente el valor del *flux* (Yeh *et al.*, 2003).

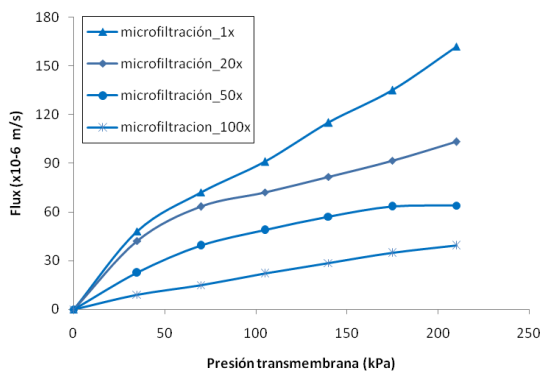


Fig. 3. Efecto de la presión transmembrana y la concentración celular en la microfiltración de caldos de microalgas: $F_{alim} 14 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$, 25 °C y pH 8.

Posteriormente se llevó a cabo la ultrafiltración de los caldos de microalgas probando las mismas presiones y concentraciones que fueron empleadas anteriormente; los resultados se muestran en la Fig. 4. Los valores de *flux* son dos veces mas bajos que los obtenidos con agua, a una concentración celular 1x y a cualquier presión transmembrana. Prácticamente se puede comentar lo mismo que ya fue discutido en los resultados de la microfiltración ya que las tendencias obtenidas son idénticas. Lo que ahora se debe comparar son los resultados entre la microfiltración y la ultrafiltración.

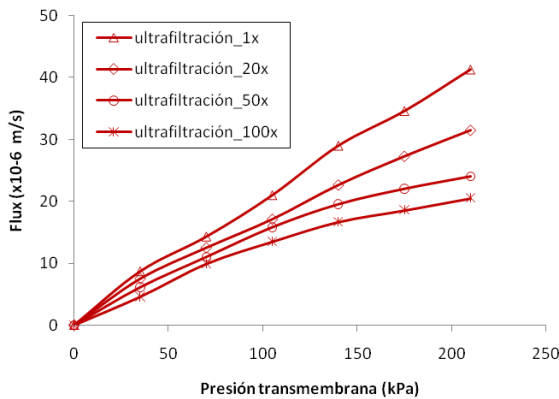


Fig. 4. Efecto de la presión transmembrana y la concentración celular en la ultrafiltración de caldos de microalgas: $F_{alim} 14 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$, 25 °C y pH 8.

Todos los valores de *flux* de la ultrafiltración son menores que sus respectivos de microfiltración: comparando concentración a concentración los *fluxes* son dos ó tres veces mas pequeños que los de microfiltración. Esto último era algo esperado puesto que los poros de la microfiltración son mayores que los de la membrana de ultrafiltración.

Para continuar con la experimentación, se decidió sólo trabajar con el cartucho de microfiltración por haber presentado mayores valores de flux que la ultrafiltración; sin embargo, las tendencias que se encuentren posteriormente con la microfiltración seguramente se presentarían en la ultrafiltración.

Efecto del flujo de alimentación

Se efectuó la microfiltración de los caldos de microalgas, a una concentración celular 1x, y usando diferentes flujos de alimentación al cartucho, los resultados se presentan en la Fig. 5.

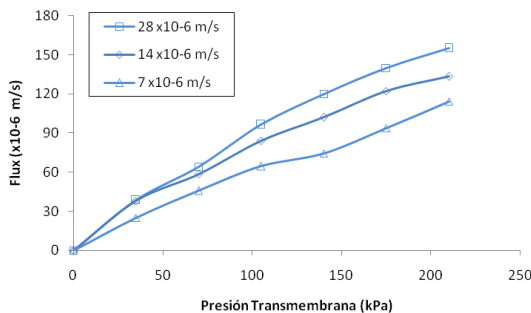


Fig. 5. Efecto del flujo de alimentación en la microfiltración de caldos de microalgas: concentración celular 1x, 25 °C y pH 8.

Claramente se observa que a mayores flujos de alimentación se obtienen mayores valores de *flux*. El modelo de gel polarizante, ampliamente utilizado en la filtración tangencial, explica que el *flux* es directamente proporcional al coeficiente de transferencia de masa del soluto que se retiene en la superficie de la membrana (en este caso la célula microalgal), y que este coeficiente se incrementará si se aumenta el flujo de alimentación, y precisamente esto es lo que se observa en los resultados obtenidos (Cheryan, 1986; Charcosset y Choplin, 1996). Sin embargo el incremento del *flux* es apenas del 50% a pesar de que el aumento del flujo de alimentación es de 300%. Esta no proporcionalidad es debida a la baja concentración celular, es decir, si esta experimentación se realizara con solo agua, los valores de *flux* no variarían aunque se variara el flujo de alimentación, precisamente porque no hay un soluto suspendido a retener por la membrana. Esta misma experimentación se repitió pero ahora trabajando una concentración celular de microalgas de 100x, y los resultados se exponen en la Fig. 6.

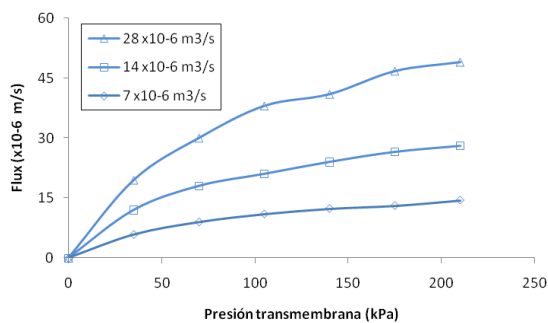


Fig. 6. Efecto del flujo de alimentación en la microfiltración de caldos de microalgas: concentración celular 100x, 25 °C y pH 8.

Como ya se había comentado anteriormente, también se nota que a mayor flujo mayor es el valor de *flux*, porque un mayor flujo de alimentación mejora la transferencia de masa y por lo tanto eleva el *flux*. Ahora sí se puede observar la proporcionalidad entre el *flux* y el flujo de alimentación, establecido por la teoría de gel polarizante, al incrementar cuatro veces el flujo provoca que el *flux* se eleve también cuatro veces (Yeh *et al*, 2003).

Finalmente, los valores de *flux* son de tres a cuatro veces menores que los obtenidos a una concentración celular 1x y a cualquier flujo de alimentación que se compare. Esto era lo esperado según el modelo de gel polarizante ya que el *flux* es una función inversa de la concentración del soluto retenido.

Efecto de la temperatura.

Para conocer el efecto de la temperatura en la microfiltración de los caldos de microalgas se probó un intervalo de temperaturas de 25 a 55 °C, los resultados se indican en la Fig. 7. Se puede decir fácilmente que temperaturas elevadas mejoran el valor de *flux*. Esto era esperado puesto que una mayor temperatura incrementa la transferencia de masa y por lo tanto se incrementa el valor de *flux* como lo predice la teoría de gel polarizante que hemos venido explicando. Sin embargo, aunque la temperatura se duplique el *flux* apenas se incrementa en un 45%. Cabe señalar que los valores a 25 °C son inferiores a los resultados de la figura 5 (comparables a 28 x10⁻⁶ m³/s) lo cual no era esperado, pero revisando esta parte de la experimentación, se encontró que el cartucho de microfiltración no había sido limpiado

adecuadamente por lo que los valores de *flux* resultaron menores, a pesar de esto, el efecto encontrado de la temperatura sigue siendo válido.

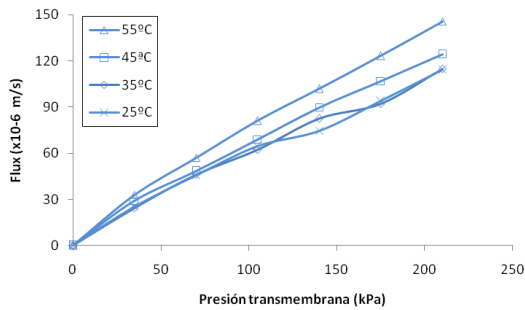


Fig. 7. Efecto de la temperatura en la microfiltración de caldos de microalgas: concentración celular 1x, $F_{alim} = 28 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ y pH 8.

También se estudió el efecto de la temperatura empleando ahora una concentración celular de 100x, los resultados se grafican en la Fig. 8. Prácticamente se obtiene la misma tendencia explicada anteriormente, es decir, mayores temperaturas provocan mayores valores de *flux*. Los comportamientos tienden a ser hiperbólicos debido a la mayor concentración celular como ya fue desarrollado en su momento, así como también el flux es aproximadamente tres veces menor que a una concentración de 1x. Se puede señalar que la operación en sí es generadora de calor debido al bombeo, por lo que durante ésta la temperatura puede elevarse hasta 40 °C, de tal forma que no se requiere un gasto energético adicional excepto a temperaturas superiores (Orozco *et al.*, 2003).

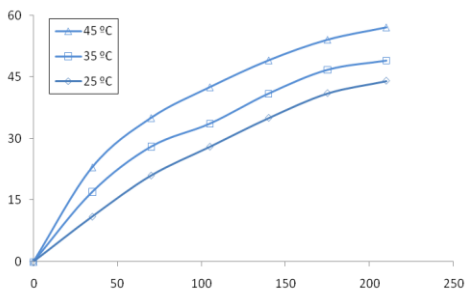


Fig. 8. Efecto de la temperatura en la microfiltración de caldos de microalgas: concentración celular 100x, $F_{alim} = 28 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ y pH 8.

Efecto del pH

Para esta parte de la experimentación se probaron valores de pH de 4 hasta 11, y empleando una concentración celular de 1x, los resultados se reportan en la Fig. 9. A pesar del amplio intervalo de valores de pH empleados se puede ver claramente que éste no tiene ningún efecto sobre el *flux* de filtrado. Posiblemente la no afectación del pH se deba a la baja concentración celular, donde a pesar de que, probablemente, las células suspendidas tengan una carga neta, están tan diluidas que no interactúan entre sí para formar un probable conglomerado que a su vez afecta el desempeño de la membrana.

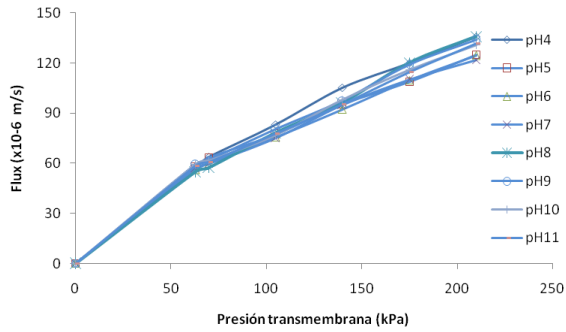


Fig. 9. Efecto del pH en la microfiltración de caldos de microalgas: concentración celular 1x, $F_{alim} = 28 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ y $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

CONCLUSIONES

Para concentrar caldos de fermentación de microalgas es mejor hacerlo por microfiltración porque los valores de *flux* son superiores a los de la ultrafiltración. Las condiciones de operación que maximizaron el *flux* fueron: 175 kPa de presión transmembrana, flujo de alimentación de $28 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, dejar que la temperatura se eleve sola hasta $40 \text{ }^\circ\text{C}$, y trabar al pH que tenga el caldo de microalgas.

Agradecimientos: Proyecto SIP 20150455. Instituto Politécnico Nacional.

BIBLIOGRAFÍA

- Charcosset, C. y Choplin, L. (1996). *Ultrafiltration of No – Newtonian Fluids*. Journal of Membrane Science. 115: 147 – 160.
- Cheryan, M. (1986). *Ultrafiltration Handbook*. Technomic Publishing Company. USA. 1 – 374.
- Millán Oropeza Aarón. (2013). Estrategias de operación de cultivos microalgales en *Raceway* para incrementar la productividad lipídica. Tesis de maestría. UPIBI-IPN.
- Naja, G., Volesky, B. y Schnell, A., *Performance análisis of an integrated tangencial microfilter-fermenter*, Chem Technol Biotechnol, 81:648-658 (2006).
- Orozco, A. C., Vidal, R. D., García, S. S. y Ordaz, C. L. (2003). *Concentración de suspensiones de levadura por filtración tangencial*. Tecnología de alimentos, 38 (2), 7-17.
- Yeh, H. M., H. P. Wu, and J. F. Dong. (2003). Effects of design and operating parameters on the declination of permeate flux for membrane ultrafiltration along hollow-fiber modules. Journal of Membrane Science, 213:33-44.