

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

TECNOLOGÍAS DE MEMBRANAS EN LA AGROINDUSTRIA LÁCTEA¹

Alejandro Chacón-Villalobos²

RESUMEN

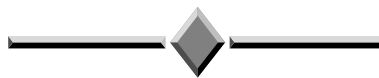
Tecnologías de membranas en la agroindustria láctea. Actualmente, las tecnologías de membranas representan una importante tendencia en el procesamiento de la leche y sus derivados. Este trabajo abordó los principales aspectos asociados con el uso de membranas en la industria láctea desde el punto de vista de los conceptos físicos fundamentales del proceso haciendo hincapié en el fenómeno del colmataje y en los tipos de membranas. Las principales metodologías de los procesos de membranas son analizadas (ósmosis inversa, ultrafiltración, microfiltración, nanofiltración). Aplicaciones industriales prácticas de las tecnologías de membranas en la concentración y fraccionamiento de los componentes de la leche fueron también discutidas. Entre ellas se estudia el aprovechamiento y tratamiento del suero lácteo; la concentración de la leche; evaluaciones microbiológicas, separación de la grasa y la lactosa; así como la eliminación de antibióticos, el tratamiento de aguas residuales, la separación de anticuerpos y concentración de inmunoglobulinas.

Palabras clave: Ultrafiltración, microfiltración, ósmosis inversa, filtración, productos lácteos, colmataje, membranas.

ABSTRACT

Membrane technologies in the dairy industry. Nowadays, membrane technologies represent a growing trend in milk processing and dairy products industry. This paper overviews the principal facts associated with membranes technology use in dairy processing from the point of view of their physical fundamentals, and emphasizing membrane types and fouling phenomena. The main processes on membrane technology are reviewed (reverse osmosis, ultra-filtration, nano-filtration, and micro-filtration). Practical agro-industrial applications of membrane technologies are also discussed. Among them, the treatment and utilization of whey, milk concentration, microbiological studies, fat and lactose separation, antibiotics elimination, waste water treatment, antibody separation and immunoglobulin concentration are worth mentioning.

Key words: Ultrafiltration, microfiltration, reverse osmosis, filtration, dairy products, fouling, membranes.



INTRODUCCIÓN

Los procesos membranarios constituyen una serie de técnicas de separación que consisten en emplear un gradiente, ya sea de presión o electrostático, para forzar el paso de componentes de una disolución a través de una membrana porosa semipermeable, para que se obtenga una separación sobre la base del tamaño, e

incluso de la carga molecular (University of Guelph 2005). Estos conceptos de separación son aplicados desde hace muchos años en la industria lechera, donde las tecnologías de membranas representan un área de gran éxito desde finales de los años sesenta (Twiford 2004). De hecho es, en el área agroalimentaria, la industria de la leche la que emplea masivamente estas tecnologías. Para finales de los años ochenta ya se

¹ Recibido: 30 de agosto, 2005. Aceptado: 3 de febrero, 2006. Inscrito en Vicerretoría de Investigación N° 737-A4-040.

² Estación Experimental Alfredo Volio Mata. Facultad de Ciencias Agroalimentarias. Universidad de Costa Rica. Correo electrónico: achaconv@cariari.ucr.ac.cr

utilizaban en esta industria alrededor de 250.000 m² de membranas (Mahaut 1992). En los últimos años se ha generado un creciente interés en la funcionalidad que muchos componentes de la leche tienen, una vez separados de su matriz original, así como por las características que este fluido presenta una vez eliminados o disminuidos estos componentes (Brans *et al.* 2004).

La presión requerida para forzar el paso a través de alguna membrana suele ser proporcional al tamaño de los poros, siendo necesario incrementar sustancialmente su magnitud a medida que el tamaño de estos decrece (Brans *et al.* 2004). Entre ambos lados de la membrana se establece un diferencial de presión denominado “presión transmembranaria” y que es utilizado como un parámetro importante asociado al rendimiento del proceso de membranas (Gesán-Guizoiu *et al.* 2000). La permeabilidad de una membrana es adecuada cuando se registra una relación lineal entre un flujo de agua de baja dureza y la presión transmembranaria que se registra en la misma (Carneiro *et al.* 2002). Este rendimiento de la membrana en términos de la cantidad de permeado obtenido, no sólo depende de esta presión transmembranaria, sino también de la velocidad del flujo de alimentación, la temperatura, la concentración del fluido y las características fisicoquímicas de la membrana (Gesán-Guizoiu *et al.* 2000).

Las membranas utilizadas para asegurar un adecuado rendimiento son de una gran diversidad tanto en formas como en materiales. En términos del material de fabricación (Vaillant *et al.* 2004), las membranas pueden estar hechas de acetato de celulosa (celulósicas), de polímeros orgánicos (polisulfonas, teflón, propileno, poliamidas, polisulfuros, polipropileno), o compuestas de sales inorgánicas (ZrO₂, Al₂O₃, TiO₂). Las membranas celulósicas tienden a ser más sensibles a la temperatura (50 °C máximo), al deterioro químico (pH entre 3 y 8), y biológico; por otro lado las poliméricas si bien es cierto resisten mejor los factores anteriores (pH 2-12, temperaturas < 80 °C), no soportan muy bien la compactación y los agentes clorados, a diferencia de las inorgánicas que se muestran como las más resistentes a todos los factores anteriores (pH 0-14, temperaturas > 300 °C, presiones > 1MPa) (Mahaut 1992).

En términos de apariencia, las membranas pueden ser aplanadas o en forma de cartucho tubular de paredes permeables, varios autores concuerdan con dos configuraciones predominantes descritas a continuación (Dauffin *et al.* 2001; University of Guelph 2005). La

membrana tubular abierta es la primera de ellas y corresponde a un tubo con diámetro de entre 1,2 cm a 2,54 cm y longitudes de 3,66 m en donde a medida que la leche circula por el interior hueco, ésta se va permeando a través de las paredes del mismo que actúan como membrana. Las membranas formadas con fibras huecas representan el segundo tipo de configuración y son muy similares a las membranas tubulares abiertas, solo que en estas no existe un solo tubo sino cientos de túbulos membranosos huecos compactados en una sola fibra filtrante a modo de cartucho. Además se tiene una tercera configuración no muy empleada llamada la configuración de espiral, que trata de maximizar el área en un mínimo espacio y consiste en capas consecutivas de membranas enrolladas en espiral dentro de un tubo de soporte en acero perforado (University of Guelph 2005).

Es deseable que las membranas, indiferentemente del material de su construcción, sean capaces de resistir la presión transmembranaria y la temperatura a la que sean sometidas, así como a las características químicas de la leche, y la acción de los diferentes agentes sanitizantes y de limpieza con que sean tratadas posteriormente a su uso (Vaillant *et al.* 2004).

Aquellos componentes que traspasan la membrana bajo la acción de la presión y debido a que poseen un tamaño molecular menor al de las porosidades de la misma, reciben el nombre de “permeado”, mientras que aquellos no permeables a la misma, se denominan “retenido”. Por necesidades técnicas y económicas en ocasiones es obligatorio reducir al máximo el volumen del retenido especialmente si se desea emplear la tecnología de membranas para la concentración. El factor de reducción volumétrico (FRV) constituye un parámetro útil para medir esta disminución y está directamente relacionado con el rendimiento del proceso. Se define en términos del volumen de alimentación (V_a), del volumen de retenido (V_r) y del permeado (V_p):

$$FRV = \frac{V_a}{V_r} = 1 + \frac{V_p}{V_r} \quad \text{Ecuación 1}$$

Según sea el flujo de la disolución sometida al proceso de membrana en relación a la presión aplicada, se habla de un proceso tangencial o de uno frontal. El principio básico esquemático general de los procesos de membranas se presenta en la Figura 1.

En el caso de la industria lechera, las técnicas de filtración generalmente se circunscriben al ámbito de

