

- conservación y envases. pp. 1-9.
- Cameron, M., L. McMaster and T. Britz. 2009. Electron microscopic analysis of dairy microbes inactivated by ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*, 15:960-964.
- Gelvez, V., A. Pereira, D. Ramón y L. Sandoval. 2006. Efectos del ultrasonido en las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de la carne de pollo empacada al vacío. *@limentech* (4): 74-79.
- Hoover, D. 1997. Minimally processed fruits and vegetables: Reducing microbial load by nonthermal physical treatments. *Food Technol.* (51): 66-71.
- Jayasooriya, S., P. Torley, B. darcy and B. Bhandari. 2007. Effect of high power ultrasound and ageing on the physical properties of bovine Semitendinosus and Longissimus muscle. *Meat science* 75(4): 628-639.
- Mejía, A. 2012. Evaluación del efecto de factores intrínsecos de una matriz líquida sobre la inactivación microbiana mediante la aplicación de US de alta intensidad. Universidad la Sabana. Bogotá. 24-50.
- Ordoñez, J., M. Aguilera, M. Garcías and B. Sanz. 1987. Effect of combined ultrasonic and heat treatment on the survival of *Staphylococcus aureus*. *Journal of Dairy Science*, 54:61-67.
- Parentelli, C., G. Ares, M. Corona, C. Lareo, A. Gambado, M. Soubes and P. Lema. 2007. Sensory and microbiological quality of Shiiteke mushrooms in modified atmosphere packages. *Journal of the Science of Food and Agriculture* (87). pp. 1645-16
- Roble, L. y L. Ochoa. 2012. Ultrasonido y sus aplicaciones en el procesamiento de alimentos. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. México. vol. 13 (2): 109-122.
- Sermkiattipong, N., S. Jetawattana and C. Banditsing. 2002. Upgrading of Agro-wastes to Straw Mushroom by Radiation. Bangkok, Thailand (in Thai). pp. 1-12.
- Valero, M., N. Recrosio, D. Saura, N. Muñoz, N. Marti and V. Lizama. 2004. Effect of ultrasound treatments in orange juice processing. *Food Chemistry* (49): 482-489.
- Wrigley, D. 1992. Decrease of *Salmonella typhimurium* in skim milk and egg by heat and ultrasonic wave treatment. *Journal of Food Protection*, 55:678 – 680.
- Viña, S. y A. Chaves. 2003. Tecnologías Aptas para la Conservación de Hortalizas Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos Facultad de Ciencias Exactas, UNLPCONICET. pp. 37-41.

Desarrollo de Módulo Piloto Para Tratamiento de Lactosuero Residual, Aplicando el Método de Osmosis Inversa

Module pilot development for treatment of whey residual, applying the reverse osmosis method

Diana Maria Granda Restrepo¹; Luis Danilo Porras Barrientos²;

Oscar Albeiro Quintero Cardona³; Jhon Milciades Morales Castro⁴

¹ Profesora Asociada, Facultad de Química Farmacéutica, Departamento de Alimentos, Universidad de Antioquia, Grupo de Investigación Biotecnología de Alimentos (BIOALI), A.A 1226, Medellín, Colombia, dianamgranda@gmail.com

² Ingeniero de Alimentos, Facultad de Química Farmacéutica, Departamento de Alimentos, Universidad de Antioquia, lporras1025@gmail.com

³ Ingeniero de Alimentos, Facultad de Química Farmacéutica, Departamento de Alimentos, Universidad de Antioquia, oscarquintero88@hotmail.com

⁴ Estudiante de Ingeniería de Alimentos, Facultad de Química Farmacéutica, Departamento de Alimentos, Universidad de Antioquia, jhonmorales1@gmail.com

Resumen. En la presente investigación se diseñó un módulo piloto para tratamiento de lactosuero residual por osmosis inversa. La metodología incluyó una aplicación de cálculos basados en el modelo de solución-difusión descritos por Albert Ibarz y Gustavo Cánovas. Los resultados alcanzados fueron: 2,1616m², 0,0123 L/(m².s), 3,3667W equivalentes al área de membrana (Am), densidad de flujo (JD), y potencia de bombeo (P) respectivamente. El equipo está conformado por una membrana de poliamida de 0,0960m de alto, 0,9650m de longitud, 0,0211m de cilindro interno y área

activa total de diseño de 7,4m², con carcasa AINOX 304 con espesor de 0,002m, de 0,1016m de diámetro y 1,2m de longitud, para tratar suero dulce a 10°C con pH entre 5,8-6,6 previamente filtrado con maya mesh 80, pasterizado y centrifugado a 6000 rpm para ser enviado al módulo de osmosis inversa cuya presión de trabajo es de 600 PSI. Con la metodología de diseño utilizada, se logró desarrollar un sistema piloto para tratamiento del lactosuero residual por el método de Osmosis inversa, el cual cumple con las condiciones técnicas y operacionales para este tipo de sistemas.

Palabras clave: Diseño de equipo, membranas, suero, filtración.

Abstract. In the present research a pilot module for treatment of residual whey by reverse osmosis was designed. The methodology was performed using a design based in calculations of the solution-diffusion model described by Albert Ibarz and Gustavo Canovas. The results achieved were: 2.1616 m², 0.0123 L/(m².s), 3.3667 W equivalent to membrane area (A_m), flow density (J_D), and pumping power (P) respectively. The team is made up of a polyamide membrane 0.0960 m high, 0.9650 m long, 0.0211 m internal cylinder and design total active area of 7.4 m², with housing AINOX 304 m thickness of 0.002 m, of 0.1016 m in diameter and 1.2 m in length, for treating fresh serum at 10°C with a pH of 5.8-6.6, previously filtered with 80 mesh Maya, pasteurized and centrifuged at 6000 rpm to be sent to the reverse osmosis module whose working pressure is 600 PSI. With the design methodology used, it was possible to develop a pilot system for treatment of residual whey by the method of reverse osmosis, which complies with technical and operational conditions necessary for such systems.

Key words: Equipment design, membranes, whey, filtration.

INTRODUCCIÓN

El suero de la leche es producido en grandes cantidades a nivel mundial. Según reportes de FEDEGAN en Colombia en el año 2006 se generaron 921.672 millones de litros, convirtiéndose en uno de los principales residuos de la industria láctea (Boumba *et al.*, 2001; Parra, 2009). Es definido como un líquido remanente tras la precipitación y separación de la caseína durante la elaboración del queso. Representa alrededor del 85%-90% del volumen de la leche, cuyos componentes principales como la lactosa, calcio, sales minerales y proteínas lacto-séricas son retenidas en un 55% (González, 1996), (Sánchez *et al.*, 2009), (Liu *et al.*, 2005).

Existen varios tipos de lactosuero, el primero denominado dulce, está basado en la coagulación por la renina a pH 6,5. El segundo llamado ácido resulta del proceso de fermentación o adición de ácidos orgánicos o ácidos minerales para coagular la caseína (Jelen, 2003). Actualmente se le visualiza como una materia prima que como un desecho, donde el mayor esfuerzo se centra en la recuperación de las proteínas y vitaminas (Chacón, 2006). Los productos de suero mejoran la textura, realzan el sabor y color, presentan características de emulsificantes y estabilizantes, mejoran las propiedades de flujo, entre varias otras propiedades tecnofuncionales, lo que posibilita incrementar con éste, la calidad de muchos productos alimenticios (Fox, 2001; Candioti *et al.*, 2001). Dado a sus grandes aplicaciones en la industria se han desarrollado diferentes técnicas para el aprovechamiento de los componentes del lactosuero, las cuales se

basan en el empleo de membranas que permiten la concentración y el fraccionamiento de estos, debido a que todos sus componentes tienen entre ellos una diferencia de tamaños macromoleculares significativa, lo que permite fraccionarlos con estos métodos mecánicos. Dichas metodologías poseen ventajas como son una mínima desnaturalización de las proteínas, una alternativa para la disminución de la demanda biológica y química en las plantas de tratamiento, además de ser fuente de obtención de constituyentes de mayor importancia comercial para la elaboración de derivados lácteos (Muñí *et al.*, 2005), (Riquelme, 2010), (Chollangi *et al.*, 2007). Dentro de estas tecnologías, se destaca la Osmosis Inversa (OI), en la cual la retención selectiva de moléculas de bajo peso molecular a altas presiones de trabajo se lleva a cabo (Ibarz, *et al.*, 2005). El objetivo de este trabajo fue diseñar un sistema piloto para tratamiento del lactosuero residual por Osmosis inversa.

MATERIALES Y MÉTODOS

El diseño del módulo piloto se basó en el modelo de solución-difusión aplicando los cálculos descritos por (Ibarz *et al.*, 2005); el cual no contempla los posibles efectos de la capa de polarización que puede presentar la membrana. Aunque el sistema puede presentar dicho fenómeno por la concentración de sólidos presentes en el suero, este modelo permite obtener una aproximación más cercana a las condiciones óptimas de operación de la presión transmembrana y la velocidad de circulación de alimentación. Los cálculos se basaron en la aplicación de las siguientes ecuaciones:

Parámetro	Ecuación
Balances de masa global y de componentes	$F = P + S$ $FC_0 = PC_p + SC_s$
Determinación de la Presión Osmótica	$\pi = i C_c R T$
Determinación de la densidad de flujo	$J_D = A (\Delta P - \Delta \pi)$
Determinación del área de la membrana	$A_m = \frac{P}{J_D}$

Dónde:

F: Flujo de alimentación.

P: Flujo de Permeado.

S: Flujo de Retención.

C₀: Concentración de alimentación.

C_p: Concentración de permeado.

C_s: Concentración de retención.

i: Numero de iones para solutos ionizables.

C_c: Concentración media del retenido.

R: Constante universal de los gases.

T: Temperatura del componente.

A: Coeficiente de permeabilidad de la membrana al agua.

Presión diferencial.

Presión Osmótica.

P: Flujo de Permeado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El módulo de Osmosis Inversa dimensionado se conformó de una membrana polimérica de poliamida en configuración espiral Marca Filmtec® (DOW RO-3838/30-FF) de 0,0960m de alto, 0,9650 m de longitud, 0,0211 m de cilindro interno y área activa total de diseño de 7,4 m², con carcasa ainox 304 con espesor de 0,002 m, de 0,1016 m de diámetro y 1,2 m de longitud. Por su parte, el prototipo se diseñó con un tanque de acero inoxidable tipo 304 calibre 16 de 20 litros de capacidad, el cual se definió para colocar la muestra de suero en el equipo, previamente filtrado (maya de acero inoxidable tipo 304 mesh 80), pasteurizado (72°C por 15s) y centrifugado (6000 rpm) y bombeado al módulo de osmosis inversa con una presión de trabajo de 600 PSI (Ibarz et al, 2005). A la entrada del módulo de Osmosis Inversa se dispone de un manómetro analógico y un sensor de presión tipo T Marca SIEMENS® que permite medir la presión del sistema; al igual de una válvula tipo aguja para regular la presión cuando esta se ha alcanzado o se ha sobrepasado. Dicha configuración se observa en la Figura 1. En la Tabla 1 se observan los parámetros de la Densidad de flujo (JD), Área de membrana (Am) y Potencia de Bombeo (P) del sistema de Osmosis Inversa los cuales sintetizan el resultado final de proceso de todo el procedimiento de cálculo.

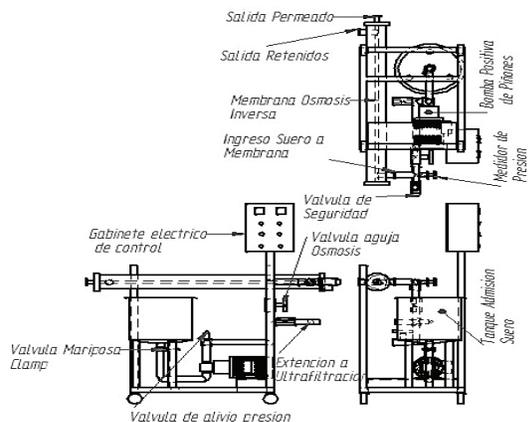


Figura 1. Vista Prototipo de Osmosis Inversa.

Tabla 1. Parámetros del sistema de Osmosis Inversa

Parámetro	Resultado
Densidad de Flujo (l/m ² .s)	0,0123
Área de Membrana (m ²)	2,1616
Potencia de Bombeo (W)	3,3667

CONCLUSION

El diseño de un sistema piloto para el tratamiento del lactosuero

residual por el método de osmosis inversa fue elaborado, el cual es uno de los métodos de filtración usados actualmente en la industria láctea para mejorar procesos tecnológicos, ambientales y productivos.

AGRADECIMIENTOS

Fondo de Innovación Programa Gestión Tecnológica y Grupo de Investigación BIOALI U de A.

BIBLIOGRAFÍA

- Candioti, M., C. Zalazar, C. Meinardi and E. Hynes. 2001. Susceptibility of whey proteins to the action of commercial proteases used in food processing. *The Australian Journal of Dairy Technology* 56: 35-37.
- Boumba, V., L. Voutsinas and C. Philippopoulos. 2001. Composition and nutritional value of commercial dried whey products from feta cheese manufacture. *International Journal of Dairy Technology* 54 (4):141-145.
- Chacón, A. 2006. Tecnologías de membranas en la agroindustria láctea. *Agronomía Mesoamericana* 17 (2): 243-264.
- Chollangi, A. and M. Hossain. 2007. Separation of proteins and lactose from dairy wastewater. *Chemical Engineering and Processing* 46(5): 398-404.
- Fox, F. 2001. Milk proteins as food ingredients. *International Journal of Dairy Technology*. 54(2):41-55.
- González, I. 1996. The biotechnological utilization of cheese whey: a review. *Bioresource Technology*. 57:(1):1-11.
- Ibarz, AyG. Cánovas. 2005. Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos. Mundi-Prensa. Madrid, España. 865p.
- Jelen, P. 2003. Whey processing. Utilization and Products. In: H. Roginski, J.W. Fuquay and P.F. Fox (Eds.). *Encyclopedia of Dairy Sciences*. Academic Press, London, UK. 2739-2745.
- Liu, X., Y. Chung, S. Yang and A. Yousef. 2005. Continuous nisin production in laboratory media and whey permeate by immobilized *Lactococcus lactis*. *Journal Process Biochemistry* 40:(1) 13-24.
- Muñi, A., G. Páez, J. Faria., J. Ferrer y E. Ramones. 2005. Eficiencia de un sistema de ultrafiltración/nanofiltración tangencial en serie para el fraccionamiento y concentración del lactosuero. *Revista científica*.15: (4). 361-367.
- Parra, R. 2009. Lactosuero: importancia en la industria de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*. Medellín 62(1): 4967-4982.
- Riquelme, L. 2010. Desarrollo por ultrafiltración de un concentrado proteico a partir de lactosuero. Tesis de grado. [Internet]. [Acceso el 15 de Febrero del 2014]. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/2789/1/107412.2010.pdf>
- Sánchez, G., M. Gil, A. Gil, F. Giraldo, L. Millán y M. Villada. 2009. Aprovechamiento del suero lácteo de una empresa del norte antioqueño mediante microorganismos eficientes. *Producción + Limpia*. 4: (2). 65-74.