

Ultrafiltración tangencial de lactosuero de queso fresco pasteurizado

Tangential ultrafiltration of fresh pasteurized cheese whey

<https://doi.org/10.5281/zenodo.5514361>

AUTORES: Mayra Proaño Cortez ^{1*}

Carlos González Gallardo ²

Gabriel Mariño Brito ³

Elena Beltrán Sinchiguano ⁴

Manuel Coronel Feijo ⁵

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA: alejandra9x@hotmail.com

Fecha de recepción: 23 / 11 / 2020

Fecha de aceptación: 14 / 02 / 2021

RESUMEN

La Ultrafiltración es un proceso tecnológico que permite concentrar componentes de alto valor nutricional. Objetivo. Estudiar la ultrafiltración tangencial de lactosuero de queso fresco pasteurizado. Materiales y métodos. El lactosuero microfiltrado pasó a la etapa de ultrafiltración tangencial a dos presiones (1 y 1.5 Bar) con una membrana de 50 kDa, se determinaron flujo de permeado (JP), presión transmembrana (PTM) y factor de retención volumétrica (FRV). Los análisis de pH, sólidos solubles, acidez titulable, proteína y lactosa se realizaron en las corrientes de alimentación, permeado y retenido. Resultados. El JP máximo con 1 Bar (PTM) fue 49.5 L/hm² ± 2.12, y el mínimo de 33.6 L/hm² ± 2.12; para la presión de 1.5 Bar el JP máximo fue de 60 L/hm² ± 0.00, y el mínimo de 39 L/hm² ± 4.24. FRV para las presiones 1 y 1.5 bar (PTM) fue 1.13 y 1.08 respectivamente. Los

¹ Ingeniera de Alimentos Universidad Tecnológica Equinoccial.

² Máster Universitario en Calidad de Alimentos de Origen Animal, Universidad Tecnológica Equinoccial.

³ Máster Universitario en Nanociencia y Nanotecnología.

⁴ Magíster en Ciencia de los Alimentos, Universidad Tecnológica Equinoccial.

⁵ Doctor en Ciencia de los alimentos, Universidad Tecnológica Equinoccial.

resultados de pH no presentaron diferencias significativas entre corrientes y presiones, mientras que acidez titulable para presiones de 1 y 1.5 Bar (PTM) si presentaron diferencia significativa en alimentación y retenido, al igual que para los sólidos solubles. Los resultados de proteína para las presiones 1 Bar y 1.5 Bar (PTM) presentaron diferencias significativas en las diferentes corrientes. La lactosa no presentó diferencias significativas entre las corrientes Conclusiones. Con los parámetros establecidos de trabajo no se logró alcanzar una concentración suficiente de proteína, aunque si es posible, bajo los mismos parámetros y concentración por lotes, obtener un concentrado de proteína de Suero.

Palabras clave: suero; tecnología de membranas; proteína; lactosa

ABSTRACT

Ultrafiltration is a technological process that allows concentrating components of high nutritional value in food liquids. Objective. To study the tangential ultrafiltration in pasteurized fresh cheese whey. Materials and methods. Microfiltered whey was subjected to tangential ultrafiltration applying two pressures 1 and 1.5 Bar (PTM), with a 50 kDa membrane, determining permeate flow (JP), transmembrane pressure (PTM), volumetric retention factor (FRV). pH analysis, soluble solids, titratable acidity, protein, and lactose were carried out to the feed, permeate and retention currents. Results. The maximum JP with 1 Bar (PTM) was $49.5 \text{ L/hm}^2 \pm 2.12$, and the minimum of $33.6 \text{ L/hm}^2 \pm 2.12$; for the pressure of 1.5 Bar the maximum JP was $60 \text{ L/hm}^2 \pm 0.00$, and the minimum of $39 \text{ L/hm}^2 \pm 4.24$. The FRV for pressures 1 and 1.5 bar (PTM) was 1.13 and 1.08 respectively. The results of the pH analysis did not show significant differences between the currents and pressures. The titratable acidity for both pressure 1 and 1.5 Bar (PTM) showed significant difference between feed and retained, as for soluble solids. The protein results for the 1 Bar and 1.5 Bar (PTM) pressures showed significant differences in the different currents. The lactose did not present significant differences between the currents. Conclusions. With the established working parameters, it was not possible to concentrate a significant amount of protein but with batch concentration and the same parameters will be possible to obtain a whey protein concentrate.

Keywords: whey; membrane technology; protein; lactose

INTRODUCCIÓN

En 2013 Ecuador alcanzó una producción lechera de 5 423 225 L/d. El 18% de leche fue procesada por la industria quesera donde se generaron 780 944 L/d de suero (MIPRO, 2013). El suero, fracción líquida de la leche, es rico en proteínas (0,8%), lactosa (4,5%), minerales (0,53%) y grasa (0,5%). Se separa de la caseína durante la elaboración del queso por acción del cuajo. Químicamente, el suero es una mezcla de proteínas como beta-lactoglobulina (~ 65%), alfa-lactoalbúmina (~ 25%) y albúmina sérica (~ 8%). Retiene aproximadamente el 55% de todos los ingredientes de la leche (Adolfo et al., 2009).

Las proteínas del suero pueden jugar un papel fundamental desde el punto de vista económico nutricional y funcional (sistema inmunológico). Forman la fracción más importante del suero y sus aplicaciones son de gran interés en diversas áreas (Smithers, 2008). Sus aplicaciones alimentarias, por propiedades tecnológicas, lo hacen un buen agente gelificante, emulsionante, espumante o espesante. Además, resulta valioso como ingrediente alimentario para aportar al valor nutricional (González-Martínez et al., 2002).

Los concentrados de proteína de suero (WPC, por sus siglas en inglés), alcanzan en su mayoría un 35%. En 2005 se produjeron 170 millones de kg en Estados Unidos, y el 86% se destinó al consumo humano. Resultan útiles como sustitutos de leche desnatada, en salsas, fideos, galletas, pasteles, carnes, productos de panadería y formulaciones para niños (Foegeding y Luck, 2002).

Para concentrar o fraccionar un líquido, se puede utilizar tecnología de membranas. Esta se basa en la permeabilidad selectiva del líquido que atraviesa la membrana (permeado) y el material retenido. Gradientes de concentración, presión, temperatura o potencial eléctrico conforman la fuerza impulsora para separar componentes según el tamaño molecular (Raventós, 2005). Los procesos de filtración con membranas más importantes para la industria alimentaria son: microfiltración (MF), ultrafiltración (UF), nanofiltración (NF), y ósmosis inversa (RO). El gradiente de presión es la fuerza impulsora en todos ellos (Romero, 2011).

La microfiltración y ultrafiltración tangencial tienen mecanismos similares, se diferencian por la naturaleza del retenido y permeado. En la microfiltración, los poros de membrana tienen entre 0,1 y 5,0 μm de diámetro. Mejoran la calidad microbiológica (retención

bacteriana) del suero y pueden retener grasa (reducción de contenido) (Ortiz et al., 2008). En la ultrafiltración, la membrana separa partículas de rango de 5 a 100 nm de pesos moleculares entre 0.5 y 500 kDa. El diámetro de poro (0.001 y 0.1 μm) permite retener moléculas de alto peso molecular, como las proteínas (Cheryan, 1998).

La mayor parte de aplicaciones de tecnología de membranas están orientadas al sector lácteo. Destacan el tratamiento de leche por ultrafiltración (UF), producción de queso, tratamiento de suero (UF) y procesamiento de leche microfiltrada (Chacón, 2005). Por lo anterior, el objetivo fue estudiar la ultrafiltración tangencial de suero de queso fresco pasteurizado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se realizó en los laboratorios del Centro de Investigación de Alimentos, Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias de la Universidad UTE en Quito, Ecuador; localizado a -0.18 latitud sur y -78.51 de longitud oeste.

Materia prima

El suero se obtuvo a partir de la elaboración de queso fresco pasteurizado (etapa de primer desuerado), de una empresa ubicada en cantón Rumiñahui (provincia de Pichincha, Ecuador), se transportó de inmediato al laboratorio y se congeló (-11 °C) durante 4 semanas, luego se descongeló en baño María a 25 °C, y se sometió a microfiltración

Caracterización de suero

Se realizó medición de pH, análisis de sólidos solubles y acidez titulable de las muestras.

Ultrafiltración de suero microfiltrado

El proceso de ultrafiltración tangencial se hizo en un equipo de escala laboratorio Millipore (Labscale Tangential Flow Filtration System), el cual consta de una membrana de 50 kDa (Biomax), con superficie de filtrado de 50 cm^2 , y material PES (Poliestersulfona), tiene una longitud de 18,8 cm. En el proceso de ultrafiltración tangencial se utilizó como alimentación el permeado de suero microfiltrado previamente (1,5 Bar), y luego fue almacenado en congelación (-11 °C) en frascos de vidrio de 800ml. Las presiones transmembrana utilizadas en los diferentes experimentos fueron de 1 y 1,5 bar. Los

parámetros analizados fueron: flujo de permeado (JP), presión transmembrana (PTM), factor de retención volumétrica (FRV).

Las fórmulas se presentan a continuación:

- Flujo de permeado (JP):

$$Jp = \frac{1}{Am} \frac{dV}{dt} \quad [3.1]$$

Donde:

Am= area transversal de la membrana

V= volumen de permeado

t= tiempo

- Presión transmembrana (PTM):

$$PTM = \frac{Pe+Ps}{2} - Pp \quad [3.2]$$

Donde:

Pe= Presión de entrada de la alimentación de membrana

Ps= Presión de salida de retenido

Pp= Exceso de presión de permeado, generalmente atmosférica

- Factor de retención volumétrica (FRV):

$$FRV = \frac{Va}{Vr} = \frac{Vr+Vp}{Vp} = 1 + \frac{Vp}{Vr} \quad [3.3]$$

Donde:

Va= volumen de alimentación

Vr= volumen de retenido

Vp= volumen de permeado

Análisis de proteína

Se utilizó el método Kjeldahl, acorde con Lynch y Barbano (1999), el equipo que consta de un digestor y destilador marca Velp Scientifica, UDK 127.

Análisis de lactosa

Para el análisis de lactosa se siguió como referencia el estándar (AOAC, 1930), se utilizó el kit Lactosa / D-Galactosa de la marca r-biopharm.

Análisis estadístico

Para el análisis de resultados se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), con la presión de trabajo como variable de estudio y el programa estadístico Infostat. Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) y Tukey para encontrar diferencias, con un nivel de confianza del 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ultrafiltración de suero microfiltrado

La Figura 1 presenta la curva de ultrafiltración, donde el flujo transmembrana máximo para 1 bar de presión (PTM) alcanzó $49.5 \text{ L/hm}^2 \pm 2.12$, flujo estabilizado en $33.6 \text{ L/hm}^2 \pm 2.12$. Esta disminución de flujo de permeado (J_P) incrementa en el tiempo, probablemente porque el flujo de permeado se ve afectado por fenómenos como la polarización de la concentración y el ensuciamiento o colmatación de membrana (Ortiz et al., 2008). El tiempo total medio de las dos ultrafiltraciones fue de 88 minutos. El promedio del flujo transmembrana máximo (PTM = 1.5 Bar) fue de $60 \text{ L/hm}^2 \pm 0.00$, comparado con el proceso a presión de 1 bar incrementó en un 21.2%, mientras que el valor mínimo fue de $39 \text{ L/hm}^2 \pm 4.24$. Chacón Villalobos (2005), indica que el ensuciamiento de la membrana disminuye cuando incrementa la fuerza impulsora, porque altas presiones de trabajo se provoca mayor turbulencia entre el fluido de alimentación y la superficie de la membrana. Además, Cheryan (1998) menciona que el descenso de los flujos al inicio es más rápido, pero disminuyen con el tiempo, lo que genera relaciones cuasi lineales.

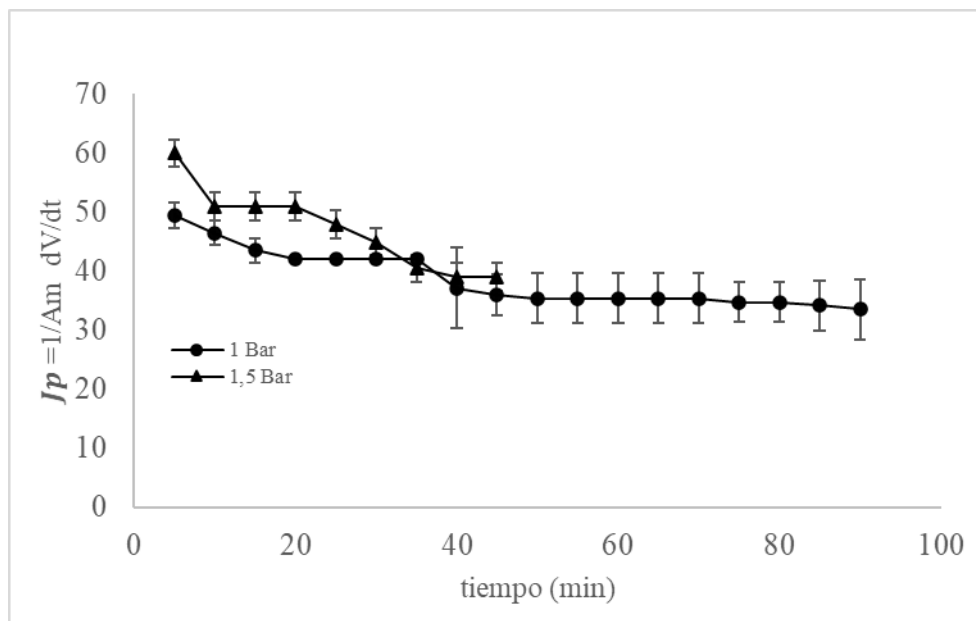


Figura 1. Estandarización UFT de suero de leche microfiltrada a 1 y 1,5 bar (PTM)

Los flujos de alimentación para los dos procesos a 1 y 1.5 bar (PTM) fueron 2400 y 2450 mL respectivamente. En la tabla 1 se aprecia que el retenido tiene un volumen mayor con respecto al permeado, lo que significa que FRV es un pequeño número; por otro lado, a menor volumen de retenido, sube FRV; lo que implica que, cuanto mayor sea el factor de retención volumétrica, incrementará la eficiencia del sistema.

Tabla 1. Volumen de alimentación, Permeado y Retenido con FRV (1 y 1,5 bar)

Parámetros	1 bar	1,5 bars
Volumen de alimentación (Va) (ml)	2400	2400
Volumen Permeado (Vp) (mL)	254	184
Volume Retenido (Vr) (mL)	1920	2100
FRV = 1+ (Vp/Vr)	1,13	1,08

El FRV es bajo, dado que no se utilizó recirculación en el sistema y se hizo una separación o fraccionamiento de compuestos, Zeman et al., (1996) mencionan que el FRV es la

relación entre el volumen de alimentación (V_a) y el volumen retenido (V_r), y puede tener relación, a su vez, con el desempeño del proceso.

Caracterización de suero ultrafiltrado

pH

Los resultados del análisis de pH para presiones de 1 bar y 1,5 bar (PTM) se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. pH, permeado, alimentación y retenido a dos presiones transmembrana

Presión (bar)	pH		
	Alimentación	Permeado	Retenido
1	5,79 ± 0,15 ^a	5,78 ± 0,13 ^a	5,79 ± 0,013 ^a
1,5	5,72 ± 0,08 ^a	5,79 ± 0,12 ^a	5,71 ± 0,13 ^a

n = 4; ± desviación estándar.

Letras diferentes entre tratamientos indican diferencias significativas (P < 0.05)

El suero fresco obtenido inicialmente fue congelado (-11°C), por un tiempo de 4 semanas, luego se descongeló (25°C) en baño María y registró un pH 6.2. Luego del proceso de microfiltración tangencial (PTM 1.5 bar), el permeado obtenido también fue congelado, y este es un factor que pudo haber provocado cambios en el pH. Según Pelegrine & Gasparetto (2005), la temperatura puede provocar la disociación de moléculas de agua en hidrógeno y oxígeno, y la liberación de algunos iones de hidrógeno, esto a su vez provocaría disminución del pH. Según un estudio de Brandsma y Rizvi (1999) al microfiltrar suero, el permeado registró un pH 6, con resultados similares. Se puede observar que no existe diferencia significativa entre los valores de pH de las corrientes, así como entre las dos presiones, de esta forma, los valores en la alimentación, permeado y retenido fueron 5.76, 5.79 y 5.75 respectivamente. Daufin y col. (1994) refieren que el pH influye significativamente en el comportamiento de proteínas y minerales, pues, valores de pH cercanos al punto isoeléctrico (pI) de las proteínas, hace que su solubilidad se reduzca y los flujos se vean afectados, por tanto, el pH debe estar lejos del pI (4.6) de las proteínas.

Acidez titulable

La Tabla 3 muestra los resultados de acidez titulable, expresados en (%) ácido láctico, de las dos presiones transmembrana utilizadas (1 y 1,5 bar)

Tabla 3. Resultados de acidez: permeado, alimentación y retenido a dos presiones transmembrana (1 y 1,5 bar)

Presión (Bar)	Acidez titulable (% ácido láctico)		
	Alimentación	Permeado	Retenido
1	0,054 ± 0,007 ^a	0,083 ± 0,003 ^a	0,11 ± 0,01 ^b
1,5	0,103 ± 0,02 ^a	0,09 ± 0 ^a	0,126 ± 0,007 ^b

n = 4; ± desviación estándar

Letras diferentes entre tratamientos indican diferencias significativas (P <0.05)

De la tabla 3 se desprende que no existen diferencias significativas entre alimentación y permeado, aunque la corriente de retenido si presenta, causado probablemente por el tamaño de poro de la membrana utilizada 50 kDa (0.006µm), donde si se consiguió retención de componentes. Hobman (1992) estudió el proceso de microfiltración en suero de leche obtuvo una media de 0,1% de ácido láctico, similar a lo conseguido en este trabajo.

Sólidos solubles

La tabla 4 presenta el contenido de sólidos solubles para presiones transmembrana 1 y 1,5 bar.

Tabla 4. °Brix: alimentación, permeado y retenido a dos presiones transmembrana

Presión (bar)	°Brix		
	Alimentación	Permeado	Retenido
	n		
1	5 ± 1,15 ^a	6 ± 0 ^{ab}	6,5 ± 0,57 ^b
1,5	6 ± 1,15 ^a	6 ± 0 ^{ab}	7,5 ± 0,57 ^b

n = 4; ± desviación estándar, Letras diferentes entre tratamientos indican diferencias significativas (P <0.05)

Los sólidos solubles tanto para alimentación como la corriente de retenido muestran diferencias significativas, en promedio se obtuvieron 5.5 y 7° Brix respectivamente; mientras que el permeado se encuentra entre los valores °Brix mencionados, esto significa que la membrana de 50 kDa debe retener los sólidos solubles del suero. Muñi et al. (2005) afirman que los sólidos solubles del suero prefiltrado y centrifugado alcanzaron un valor de 6,31 °Brix, mientras que Faría et al. (2003) obtuvieron en el permeado 5,17 °Brix; según el trabajo realizado por McDonough et al. (1974) donde concentró proteína, obtuvo 6. 6° Brix en la corriente de retenido, el suero utilizado para su estudio fue de queso Cheddar y requesón.

Análisis de proteína

Los resultados del análisis de proteínas se indican en la Tabla 5, para las tres corrientes actuales: alimentación, permeado y retenido a 1 y 1,5 bar (PTM).

Tabla 5. Proteínas: alimentación, permeado y retenido a dos presiones transmembrana

Presión (bar)	Proteína (%)		
	Alimentación	Permeado	Retenido
1	0,52 ± 0,02 ^a	0,105 ± 0,001 ^b	0,62 ± 0,02 ^c
1,5	0,52 ± 0,01 ^a	0,15 ± 0,014 ^b	0,65 ± 0,01 ^c

n = 2; ± desviación estándar

Letras diferentes entre tratamientos indican diferencias significativas (P <0.05)

Se puede observar diferencia significativa entre las corrientes de alimentación, permeado y retenido, así como en los dos niveles de presión. Según los trabajos de Camacho (2010) con ultrafiltración tangencial de suero se obtuvo 0.5% de proteína, a PTM 2 bar y tamaño de poro de 0,2 µm.

En la corriente de permeado el valor disminuye, porque la ultrafiltración tangencial retiene moléculas de alto peso molecular (proteínas) y permite el paso de agua y moléculas de bajo peso (azúcares y sales) (Cheryan, 1998). Para el caso de los retenidos, no se obtuvieron valores altos de proteína porque no se realizó la concentración por recirculación en el sistema. En promedio, se obtuvo 0.64% y de acuerdo con el Código de Estados Unidos de las Regulaciones Federales, un WCP (Whey Protein Concentrate), es la sustancia que se obtiene mediante la eliminación de constituyentes no proteicos de modo que el producto

seco final contenga no menos del 25% de proteína, la mayoría de los WCP contienen entre 34-35% de proteína (Foegeding y Luck, 2002), por tanto, el suero ultrafiltrado en este estudio no puede incluirse en esta categoría aún.

A una presión de 1,5 bar (PTM) los porcentajes de proteína aumentaron, los valores en las corrientes de permeado incrementaron de 0.10% a 0.15% de proteína. Timmer y Horst (1998) obtuvieron en el permeado 0.18%, mientras que, en el flujo de retención, el valor aumentó de 0.62% a 0.65%, (4.8% de incremento). Por otro lado, Hobman (1992) deduce que las altas presiones pueden acentuar los efectos de la polarización. Además, se reduce la posibilidad de desnaturalización de proteínas durante el proceso, pues los niveles de temperaturas no superan los 20°C. Baldasso et al. (2011) comentan que las proteínas del suero son termolábiles y su desnaturalización suele ocurrir alrededor de los 80°C. Dullius et al. (2018) encontraron que, sobre todo, la conformación y forma de las macromoléculas se modifican por la temperatura y la fuerza iónica. Las diferencias en la forma son una razón por la cual el peso molecular difiere para los perfiles de las proteínas contra las membranas.

Análisis de Lactosa

Los resultados del análisis de lactosa a 1 y 1,5 bar (PTM) son presentados en la Tabla 6.

Tabla 6. Resultados de lactosa: alimentación, permeado y retenido a dos presiones transmembrana (1 y 1,5 bar)

Presión (bar)	Lactosa (g/L)		
	Alimentación	Permeado	Retenido
1	4,063 ± 0,01 ^b	4,16 ± 0,02 ^a	4,07 ± 0,008 ^b
1,5	4,07 ± 0,004 ^b	4,25 ± 0,02 ^a	4,04 ± 0,007 ^b

n = 2; ± desviación estándar

Letras diferentes entre tratamientos indican diferencias significativas (P <0.05)

Las corrientes de alimentación y permeado presentaron diferencias estadísticamente significativas entre sí. Según Muñi et al. (2005) el suero prefiltrado y luego centrifugado presenta 4.95% (p/p) de lactosa, dato relativamente cercano al presente estudio, mientras que el retenido sí presenta valores semejantes a la alimentación, (promedio 4.6 g / L) probablemente dado por las membranas de ultrafiltración, diseñadas para retener los solutos de mayor diámetro de partícula y además porque la lactosa presente al inicio en el suero

pasa por al permeado del proceso de ultrafiltración (Cuartas-Uribe et al., 2009). La lactosa se encuentra entre 0,0008 y 0,004 μm de diámetro y la membrana de ultrafiltración utilizada es de 50 KDa (0,006 μm), lo que permitirá la retención de proteínas y naturalmente el paso de lactosa. En la Tabla 11 se observa que los valores de retención en la corriente de permeado difieren según las presiones empleadas 4.16 (g / L) \pm 0.02 y 4.25 (g / L) \pm 0.02 obtenidas de las presiones 1 y 1.5 bar, esto sugiere que la presión influye de manera considerable en el proceso de separación por membranas. Guastalli (2009) encontró además que, presiones más altas, pueden agravar los efectos de incrustaciones o ensuciamiento de la membrana.

CONCLUSIONES

Las diferencias encontradas de acidez titulable y sólidos solubles en las corrientes de alimentación y retenido sugiere que la membrana utilizada (50kDa) logró retener algunos componentes.

El uso de las presiones transmembrana utilizadas, que generaron a su vez cambios significativos en el flujo de permeado, sugiere que existe una relación directa entre estos dos factores.

El factor de retención volumétrica alcanzado se debe a la falta de recirculación en la alimentación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adolfo, R., Huertas, P., & Parra, R. (2009). Lactosuero: importancia en la industria de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín; Vol. 62, Núm. 1 (2009); 4967-4982* 2248-7026 0304-2847, 62(1), 4967–4982. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v62n1/a21v62n1.pdf>
- AOAC. (1930). Official Method 930.28 Lactose in milk. Gravimetric method munson-wal.
- Baldasso, C., Barros, T. C., & Tessaro, I. C. (2011). Concentration and purification of whey proteins by ultrafiltration. *Desalination*, 278(1–3), 381–386. <https://doi.org/10.1016/J.DESAL.2011.05.055>
- Brandsma, R. L., & Rizvi, S. S. H. (1999). Depletion of Whey Proteins and Calcium by

- Microfiltration of Acidified Skim Milk Prior to Cheese Making. *Journal of Dairy Science*, 82(10), 2063–2069. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75447-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75447-0)
- Camacho Chiriboga, M. E. (2010). Obtención de un concentrado proteico del suero de leche de vaca utilizando tecnología de membranas. Retrieved from <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1657>
- Chacón Villalobos, A. (2005). Tecnologías de membranas en la agroindustria láctea. *Agronomía Mesoamericana*, 17(2), 243. <https://doi.org/10.15517/am.v17i2.5164>
- Cheryan, M. (1998). *Ultrafiltration and Microfiltration Handbook*. Taylor & Francis Routledge. Technomic Pub. Co. <https://doi.org/97-62251>
- Cuartas-Uribe, B., Alcaina-Miranda, M. I., Soriano-Costa, E., Mendoza-Roca, J. A., Iborra-Clar, M. I., & Lora-García, J. (2009). A study of the separation of lactose from whey ultrafiltration permeate using nanofiltration. *Desalination*, 241(1–3), 244–255. <https://doi.org/10.1016/J.DESAL.2007.11.086>
- Daufin, G., Labbe, J.-P., Quemerais, A., Michel, F., & Merin, U. (1994). Optimizing clarified whey ultrafiltration: influence of pH. *Journal of Dairy Research*, 61(3), 355. <https://doi.org/10.1017/S0022029900030776>
- Dullius, A., Inês Goettert, M., & Fernanda Volken de Souza, C. (2018). Whey protein hydrolysates as a source of bioactive peptides for functional foods – Biotechnological facilitation of industrial scale-up. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.12.063>
- Faria, J. F., García, A. C., & García, A. C. (2003). Eficiencia en la concentración de la proteína de lactosuero con una planta móvil de ultrafiltración y nanofiltración. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias*, 13(5), 347-352.
- Foegeding, E. ., & Luck, P. (2002). Whey protein products. In *Encyclopedia of Foods Sciences and Nutrition*. New York: Academic Press.
- González-Martínez, C., Becerra, M., Cháfer, M., Albors, A., Carot, J. M., & Chiralt, A. (2002). Influence of substituting milk powder for whey powder on yoghurt quality. *Trends in Food Science & Technology*, 13(9–10), 334–340. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00160-7](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00160-7)
- uastalli, A. R., Labanda, J., & Llorens, J. (2009). Separation of phosphoric acid from an industrial rinsing water by means of nanofiltration. *Desalination*, 243(1–3), 218–228.

<https://doi.org/10.1016/J.DESAL.2008.04.024>

Hobman, P. G. (1992). Ultrafiltration and Manufacture of Whey Protein Concentrates. In *Whey and Lactose Processing* (pp. 195–230). Dordrecht: Springer Netherlands.

https://doi.org/10.1007/978-94-011-2894-0_6

L.J. ZEMAN, ZYDNEY, A. L., & Dekker, M. (1996). Microfiltration and Ultrafiltration - Principles and Applications. *Chemie Ingenieur Technik*, (69), 1479.

<https://doi.org/10.1002/cite.330691022>

Lynch, J. M., & Barbano, D. M. (1999). Kjeldahl Nitrogen Analysis as a Reference Method for Protein Determination in Dairy Products. *JOURNAL OF AOAC INTERNATIONAL*, 82(6). Retrieved from

[http://lib3.dss.go.th/fulltext/Journal/J.AOAC 1999-2003/J.AOAC1999/v82n6\(nov-dec\)/v82n6p1389.pdf](http://lib3.dss.go.th/fulltext/Journal/J.AOAC 1999-2003/J.AOAC1999/v82n6(nov-dec)/v82n6p1389.pdf)

McDonough, F. E., Hargrove, R. E., Mattingly, W. A., Posati, L. P., & Alford, J. A. (1974). Composition and properties of whey protein concentrates from ultrafiltration. *Journal of Dairy Science*, 57(12), 1438–1443. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(74\)85086-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(74)85086-1)

MIPRO; Ministerio de Industrias y Productividad. (2013). POLÍTICAS INDUSTRIALES EN EL SECTOR DE ALIMENTOS. Retrieved from <http://www.scpm.gob.ec/wp-content/uploads/2013/09/2.6-DavidVillegas-MIPRO-Politica-Industrial-de-Desarrollo-en-el-Sector-de-Alimentos.pdf>

Muñi, A., Páez, G., Faría, J., Ferrer, J., & Ramones, E. (2005). EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE ULTRAFILTRACIÓN/NANOFILTRACIÓN TANGENCIAL EN SERIE PARA EL FRACCIONAMIENTO Y CONCENTRACIÓN DEL LACTOSUERO Evaluation of Efficiency of a Tangential Ultrafiltration/Nanofiltration on Series System to Fractionation and Concentration. *Revista Científica*, 4(4), 361–367. Retrieved from <http://catalogo.unillanos.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=29217>

Ortiz Jerez, M. J., Antonio, C., Pasos, V., Edinson, Y., & Mejía, F. (2008). Modelos matemáticos de la colmatación de membranas en microfiltración tangencial Mathematical models of membrane fouling in cross-flow micro-filtration. *ABRIL DE*,

- 28(1), 123–132. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v28n1/v28n1a13.pdf>
- Pelegrine, D. H. G., & Gasparetto, C. A. (2005). Whey proteins solubility as function of temperature and pH. *LWT - Food Science and Technology*, 38(1), 77–80.
<https://doi.org/10.1016/J.LWT.2004.03.013>
- Raventós Santamaria, M. (2005). *Industria alimentaria, tecnologías emergentes*. Edicions UPC. Retrieved from <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.3/36183?locale-attribute=es>
- ROMERO GONZALEZ, J. F. (2011). CONTROL AVANZADO EN PROCESOS INDUSTRIALES DE MICROFILTRACIÓN Y ULTRAFILTRACIÓN TANGENCIAL. Retrieved from <https://riunet.upv.es/handle/10251/14051?show=full>
- mithers, G. W. (2008). Whey and whey proteins—From “gutter-to-gold.” *International Dairy Journal*, 18(7), 695–704. <https://doi.org/10.1016/J.IDAIRYJ.2008.03.008>
- Timmer, J. M. K., & Horst, H. C. van der (Netherlands I. for D. R. E. (Netherlands)). (1998). Whey processing and separation technology: state-of-the-art and new developments. International Dairy Federation. Retrieved from <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=BE1999001213>