

Capítulo XCIII

Aplicaciones de la tecnología de ultrafiltración en la elaboración industrial del queso

Marcelino González Cáceres

La industria láctea es una de las fuentes importantes en la economía de países industrializados y en desarrollo. Aproximadamente entre el 85 al 90% de la leche utilizada para la elaboración del queso es eliminada como lacto suero el cual retiene cerca del 55% del total de los ingredientes de la leche como proteínas solubles, lactosa y sales minerales. Algunas posibilidades de utilización de este subproducto han sido propuestas pero las estadísticas indican que una buena parte de este residuo es descartado como efluente generando un grave problema ambiental (Parra, 2009; Aider *et al.*, 2009).

Cada año entre 110-115 millones de TM de lacto suero son producidas a nivel mundial debido a la elaboración de quesos, de este valor 40% se desechan en ríos y alcantarillados y otros centros de recolección de aguas residuales. Colombia para el año 2006 produjo 6.024 millones de litros de leche destinando para su producción de queso 1.084 millones y obteniendo una producción de lacto suero de 921.672 millones de litros (Parra, 2009). En Venezuela para el año 2008 la producción de leche fue de 1.266,03 millones de litros se destinaron para la producción de queso el 63,1%, es decir, 798,67 millones de litros, obteniéndose por consecuencia unos 698,83 millones de litros de lacto suero anuales, de los cuales un 25% es utilizado en la producción de ricota, requesón y consumo animal, el resto se desecha (Faria *et al.*, 2003; CAVILAC, 2008).

El lacto suero es un subproducto de la industria láctea de gran interés no solamente por la presencia de lactosa sino por su contenido en proteínas solubles, α -lactoalbumina y la β -lactoglobulina ricas en aminoácidos esenciales, las cuales representan el 20% y 50% respectivamente, con un alto valor funcional y nutricional (Riquelme, 2010).

De manera tradicional se han recuperado estas proteínas precipitándolas por calentamiento en medio ácido obteniendo ricota o requesón (Graselli *et al.*, 1997), aprovechándose así las propiedades nutricionales pero perdiendo las funcionales como la solubilidad, emulsificación, retención de agua/grasa, espumado, gelificación que la

hacen atractiva como ingrediente en la industria alimenticia debido a que este procedimiento las desnaturaliza (Veisseyre, 1980; Harper, 1992).

La utilización industrial del suero plantea numerosos problemas y por lo tanto un gran volumen se descarta al medio ambiente. En la actualidad, esta práctica está prohibida y necesariamente debe ser depurada; esta operación es costosa y mantiene una gran pérdida de elementos nutrientes, por lo tanto, es preferible utilizar técnicas apropiadas para su aprovechamiento. Los procesos industriales actuales se centran en la eliminación del agua, recoger las sales minerales, cristalizar la lactosa y recuperar las proteínas solubles del suero sin alterar sus propiedades funcionales y nutricionales, por lo tanto la utilización industrial del lacto suero va a depender del componente del mismo que se quiera aprovechar (Almecija, 2007).

FILTRACIÓN TRANSMEMBRANA Y SUS ALCANCES

A comienzos de los años 1970 fue introducido en la industria láctea la tecnología de membranas (Cadotte *et al.*, 1981; Hutson, 1982) que permite retener las proteínas de una solución utilizando una membrana semi permeable de poros pequeños (Graselli *et al.*, 1997). Durante estos primeros años se presentaron inconvenientes asociados al desarrollo de la membrana y su durabilidad así como al sistema de diseño y su limpieza, actualmente estos problemas han sido solucionados encontrándose equipos con diseño de membrana de elevada eficiencia, fácil limpieza y bajo costo (Hutson, 1982; Faria *et al.*, 2003).

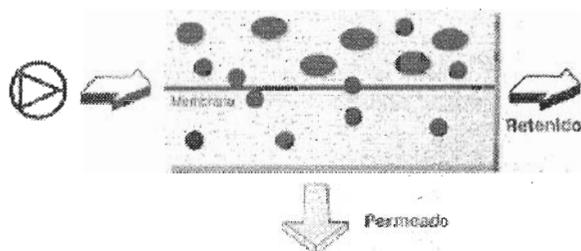
La tecnología de separación con membranas en la industria láctea ha permitido obtener numerosos productos multiplicando la vida y valorización de sus componentes (Maugas, 2002); obtener cargas de contaminación menor en los efluentes y mayores beneficios económicos por la recuperación de las proteínas y otros componentes (Pearce, 1996). En países como Francia, Estados Unidos, Australia, Nueva Zelanda, con el uso de éstas técnicas se han obtenido concentrados con alto contenido proteico (WPC y MPC), utilizados en las industrias lácteas y de alimentos en general (Novak, 1996; Muñi *et al.*, 2005); sin embargo, en Venezuela su aplicación no está muy difundida (Faria *et al.*, 2003).

La industria láctea aplica la técnica de ultrafiltración en el lacto suero obtenido de la elaboración del queso para recuperar las proteínas solubles y usarlas en la formulación de nuevos productos o incorporarlas posteriormente a la leche destinada a la producción del mismo mejorando su rendimiento. Éste proceso tecnológico se usa en la industria del queso con resultados satisfactorios en cuanto al aprovechamiento de las proteínas del suero y mejoras en el rendimiento de la producción del queso (Pedersen & Ottosen 1992; Cunningham, 2007).

Las mayores aplicaciones de la tecnología de ultrafiltración (UF) es para la producción de quesos frescos que tradicionalmente han sido elaborados con leche tratada a altas temperaturas; los quesos elaborados con tecnología de UF pueden contener cantidades elevadas de proteínas de suero, lo que conduce a obtener un producto con alto rendimiento (Maubois *et al.*, 1988; Pedersen *et al.*, 1992).

Como respuesta a la necesidad de mejorar y optimizar los procesos en la práctica de las líneas de producción y al problema medio ambiental se aplican las técnicas de

filtración tangencial; procesos físicos de separación transmembrana que permite separar o concentrar los constituyentes de una mezcla líquida en función de sus propiedades (Taglietti, 1991); es un proceso en el que una solución fluye bajo presión sobre la superficie de una membrana, como resultado de la presión aplicada y en función de las propiedades de la membrana el solvente y ciertos solutos pasan a través de ella mientras otros son retenidos (Jelen, 1992; De la Casa, 2006); el sistema separa una corriente de entrada en dos efluentes, el retenido ó retentado y el filtrado, llamado también permeado. La Figura 1, esquematiza como se genera el proceso de separación por filtración tangencial.



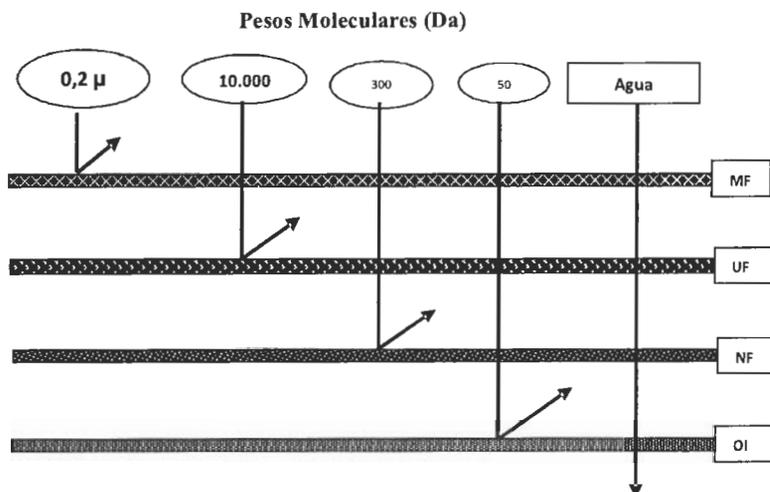
Fuente: Vidal, (1999).

Figura 1. Esquema de separación por Filtración Tangencial.

En la actualidad la filtración tangencial emplea diferentes tipos de membrana clasificadas según el tamaño de poro de la misma; la definición más útil para estos procesos es el tamaño de partículas que pueden retener durante un determinado proceso. De acuerdo a ello, cada proceso se define por el tamaño de poro ó por el peso molecular de corte (Rodríguez, 1997; Riquelme, 2010).

La técnica de filtración tangencial según el tamaño de partícula retenida se puede clasificar en Micro Filtración (MF), con capacidad para retener partículas de $0,1 \mu$ a 5μ , bajo presión de 0,5 a 3 bar, la Ultrafiltración (UF) con dominio de $0,01 \mu$ a $0,1 \mu$ (3.000 a 100.000 D) y presiones de 2 a 10 bar, Nano Filtración (NF) que retiene partículas de 150 a 1.000 D utilizando presiones de 10 a 30 bar y la Osmosis Inversa (OI) con retención de partículas de un peso molecular de 50 a 150 D a presión de 10 a 80 bar. En la Figura 2, se aprecia separación por peso molecular para las técnicas de filtración tangencial (Jelen, 1992).

Según la aplicación requerida, los materiales de construcción de las membranas puede ser orgánica y mineral; los más comúnmente usados en la elaboración de las membranas orgánicas es el acetato de celulosa, polisulfona, polieter sulfona y en las minerales el carbón, el aluminio y el zirconium. Los materiales de construcción minerales presentan un límite de utilización a la presión de 10 bar y temperatura de 95°C , con tolerancia de pH de 0,5 a 13,5; mientras que los materiales de construcción de las membranas orgánicas presentan características de presión de 5 a 80 bar, 50°C de temperatura en membranas estándar según el alcance de la técnica, y de 50 a 80°C en las de fabricación especial, presentando resistencia a valores de pH de 3 a 10 en las membranas estándar y de 1 a 13 en las de fabricación especial (Vidal, 1999). La confi-



Fuente: Maugas, (2002).

Figura 2. Características de los procesos de membrana.

guración del módulo de membranas puede ser plano, tubular, espiral, fibra hueca y vórtice; el más utilizado en la industria láctea es el módulo espiral de material orgánico, por ser de fácil operación y limpieza, ofreciendo mayor superficie por metro cuadrado de espacio de máquina (Jelen, 1992; De la Casa, 2006).

APLICACIONES DE LA ULTRAFILTRACIÓN EN LA ELABORACIÓN DE QUESO

La ultrafiltración ofrece la posibilidad de intervenir sobre la composición de la materia prima láctea asegurando un mayor valor nutricional en contenido proteico del producto final, obteniendo una elevada racionalización del proceso productivo con impacto económico (Taglietti, 1991). En la elaboración del queso, la fluctuación estacional de la proteína puede ser eliminada y son las proteínas del suero retenidas las que usualmente se asocian a incrementos en el rendimiento del mismo (Puhan, 1992).

La separación por flujo tangencial sobre membrana micro porosa permite la separación selectiva de los componentes en suspensión obteniéndose dos fracciones, una que contiene las macromoléculas concentradas y la otra el permeado la fracción de mayor volumen, de menor peso molecular y agua (Manquant, 2004).

La concentración obtenida en un proceso de ultrafiltración viene definida por el factor de concentración volumétrica (FCV), que indica cuantas veces el volumen original de alimentación ha sido reducido; sus datos dependen de:

$$FCV = \frac{\text{Volumen producto de alimentación}}{\text{Volumen producto concentrado}}$$

La ultrafiltración de la leche y del lacto suero permite una concentración selectiva de algunos de los componentes en función del tipo de membrana empleada; en general, son retenidas grasa y proteína y en el permeado lactosa, sales minerales y componentes minoritarios en fase soluble (Graselli *et al.*, 1997; Maugas, 2002).

El empleo de la ultrafiltración en la industria láctea inicialmente tuvo dos usos; primero, para la concentración y posterior secado de las proteínas del lacto suero obteniendo los WPC y segundo, para la elaboración de concentrados de leche descremada (SMC), los cuales son utilizados para el procesamiento del queso con la finalidad de estandarizar el nivel de proteína y obtener mayores rendimientos; se usa también esta técnica en la industria para clarificar las salmueras utilizadas en el acondicionamiento del queso (Hutson, 1982).

Maubois *et al.* (1992) precursor de ésta tecnología la utilizó para obtener concentrados líquidos de proteína de lacto suero, los cuales agrega a la cuba de cuajado previa precipitación de las fosfolipo-proteínas por proceso termo cálcico. Posteriormente, Schkoda *et al.* (1996); Jameson *et al.* (1996) y Grassano *et al.* (2004) la incorporan comercialmente para la elaboración de diferentes tipos de quesos de alta humedad como el Camembert, Feta, Cottage, Quark, de pasta estabilizada tipo brie, quesos de cuajada lavada de maduración corta.

PRINCIPIOS TECNOLÓGICOS DE QUESOS FABRICADOS CON EL USO DE LA ULTRAFILTRACIÓN

La ultrafiltración aplicada a la leche para la elaboración de queso permite aumentar los sólidos antes de la cuba, obteniéndose un pre-queso líquido según el factor de concentración y un permeado. El primero, se trabaja en cuba siguiendo los pasos tradicionales para la elaboración del queso y el segundo, sirve como materia prima para la concentración de las proteínas que se obtiene por la técnica de ultrafiltración; sin embargo, en la concentración de la leche lo que produce es un retentado de ella, por lo que gran cantidad de proteínas solubles quedan en él aumentando el rendimiento, a diferencia de la forma tradicional donde ellas se pierden en el suero; el concentrado llamado pre-queso producido por la ultrafiltración debe asimilarse en composición al queso final (Pedersen *et al.*, 1992; Grassano, 2002). En el Cuadro 1, se muestran los contenidos de sólidos de algunos quesos y de la concentración de la leche según el factor de concentración volumétrica.

Trabajos realizados por Cossovich, (1990) y Schkoda *et al.*, (1996), destacan que los cambios en la viscosidad obtenida no es significativa con el proceso de elaboración del queso, pero la misma puede ser adaptada a los valores deseados. Con el incremento de la concentración del retentado aumenta su capacidad buffer lo que influye notablemente en el crecimiento de las bacterias utilizadas como iniciadoras originando problemas en los atributos del producto finalmente elaborado.

La concentración de la leche para la producción de queso según el proceso empleado y en función del tipo de queso, permite obtener diversas ventajas, principalmente una reducción en el volumen de leche en producción y por consecuencia, mejor utilización del espacio de planta, ahorro en el consumo energético, reducción en el consumo de enzimas coagulantes, reducción en el tiempo de desuerado, incremento

Cuadro 1
Contenido de sólidos de algunos quesos y de la concentración de la leche
según el factor de concentración volumétrica

Variedad	Queso			
	Contenido de sólidos %	Concentración de la leche por ultrafiltración		
	Contenido de sólidos %	Contenido de sólidos %	Factor de concentración	Contenido de agua %
Quark	21	18,8	2	81,2
Camembert	47	36	3	52,8
Queso Blanco	48	45,9	4	51,6
Gouda	59	56,4	8	43,6
Cheddar	63	62,9	9	37,1

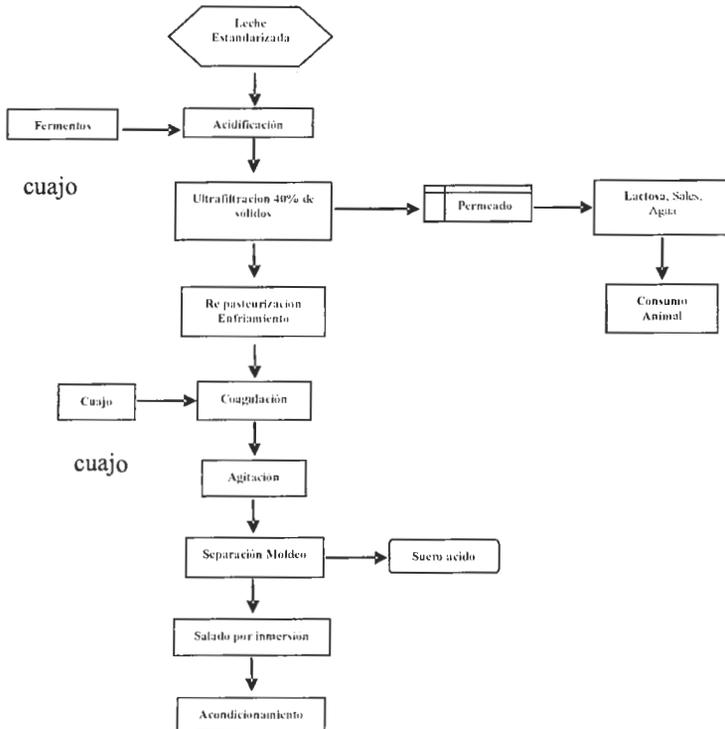
Fuente: Grassano, (2002).

en el rendimiento por la mayor retención de agua en la proteína de la cuajada (Taglietti *et al.*, 1991).

Fundamentándose en los principios de Maubois, Mouquot y Vassal de respetar el factor de concentración y la humedad del producto final se han elaborado diversas variedades de queso que han reemplazado en algunos países la forma tradicional de elaboración. En la fabricación de queso de pasta estabilizada tipo brie, la leche estandarizada y pre-acidificada es pasteurizada y ultrafiltrada a un factor tres de concentración a 50°C hasta obtener la composición deseada en el pre-queso; se incorporan los fermentos iniciadores responsables de la maduración de este pre-queso hasta alcanzar valores de pH 6,0 posteriormente se enfría y ultrafiltra a factor tres y a 35°C. Este pre-queso líquido con valores de sólidos totales de 36% de proteína, 15% de grasa y pH de 5,6 se coagula, moldea y se voltea periódicamente hasta eliminar el suero retenido. Los quesos obtenidos se salan en forma tradicional y se llevan a maduración por el tiempo establecido. El incremento de rendimiento para este producto realizado con esta técnica esta en un 16%, alcanzando valores de hasta 20% si se lleva el factor de concentración a cinco (Glover, 2000; Grassano, 2002).

Empleando estos mismos principios, en trabajos recientes Grassano (2002) elaboró queso blanco fresco, con un contenido de humedad de 52% a 48% según la variedad; utilizando equipos pilotos de UF con factor cinco de concentración, obtuvo un pre-queso con 17,5% de proteína, 21% de materia grasa y 54,1% de humedad; el trabajo en cuba y el lacto suero drenado luego del moldeo condujo a un producto final con características fisicoquímicas similares al fabricado en forma tradicional.

Industrialmente y utilizando equipos continuos de ultrafiltración se usa factor dos de concentración obteniéndose un queso con textura, humedad y caracteres organolépticos igual al tradicional. Su proceso productivo esquematizado en la Figura 3, se inicia con la estandarización a 42 g/l de materia grasa y 35 g/l de proteína, pasteurización y maduración de la materia prima para luego ser concentrada en un volumen de sólidos cerca del 40%, repasteurización a 78°C por un minuto, enfriamiento del pre-queso a 32°C y su coagulación. En este proceso el 97% de la materia grasa y el 88% de la proteína de la leche empleada es retenida, lo que produce un incremento del rendimiento en un 20% para queso blanco pasteurizado en barra y llegando a 30% para el



Fuente: Grassano, (2002).

Figura 3. Flujograma de elaboración de queso blanco por tecnología de UF.

queso blanco blando, todo esto es debido a la menor pérdida en producción, al contenido de humedad en el producto y al factor de concentración empleado (Grassano, 2002). La Figura 3, muestra el flujograma de la elaboración de queso blanco cuando se aplica la tecnología de la ultrafiltración; se muestra el proceso con los pasos a seguir de forma sistemática para la fabricación del tipo de quesos blancos.

ELABORACIÓN DE QUESO CON INCORPORACIÓN DE PROTEÍNAS DEL LACTO SUERO

La tecnología de ultrafiltración permite aprovechar las proteínas lacto séricas obtenidas incorporándolas a la leche destinada a la elaboración del queso previo al tratamiento del retentado, su almacenamiento en frío y posterior incorporación según la relación grasa proteína específica para el queso a fabricar (Maubois, 1988; Jameson *et al.*, 1996).

En el Cuadro 2, destaca las características del lacto suero provenientes de los diferentes tipos de queso. Para la elaboración de queso de pasta estabilizada (PE) y alto contenido de humedad, se usa una mezcla de lacto-suero producto de la elaboración de diferentes quesos, la cual se caracteriza en sus componentes y se ultrafiltra. La tecnología de fabricación del queso es similar a la tradicional, se pasteuriza la leche y bajo

Cuadro 2
Características del lacto suero proveniente de diferentes tipos de quesos

Tipo de queso	MG (g/l)	Proteína (g/l)	EST (g/l)	Minerales (g/l)	Litros Suero	MG (kg)	Proteína (Kg)	EST (Kg)
De Mano	6	8,4	67,5	4	28000	168	235	1890
Tipo Gouda	5	8,5	60	2	148000	740	1258	8880
Blanco Semi Duro	6,4	8,2	56,8	4	138000	883	1129	7838
Mozzarella	1	7,7	50	6	29000	29	223	1450
Blanco Blando	4,2	8,3	33	6	42000	176	350	1386
Ahumado	8	7,9	52	6	1900	15	15	99
Tipo Brie	7	8	65	6	8000	56	64	520
						2068	3275	22063

MG: Materia grasa. Fuente: Grassano, (2004).

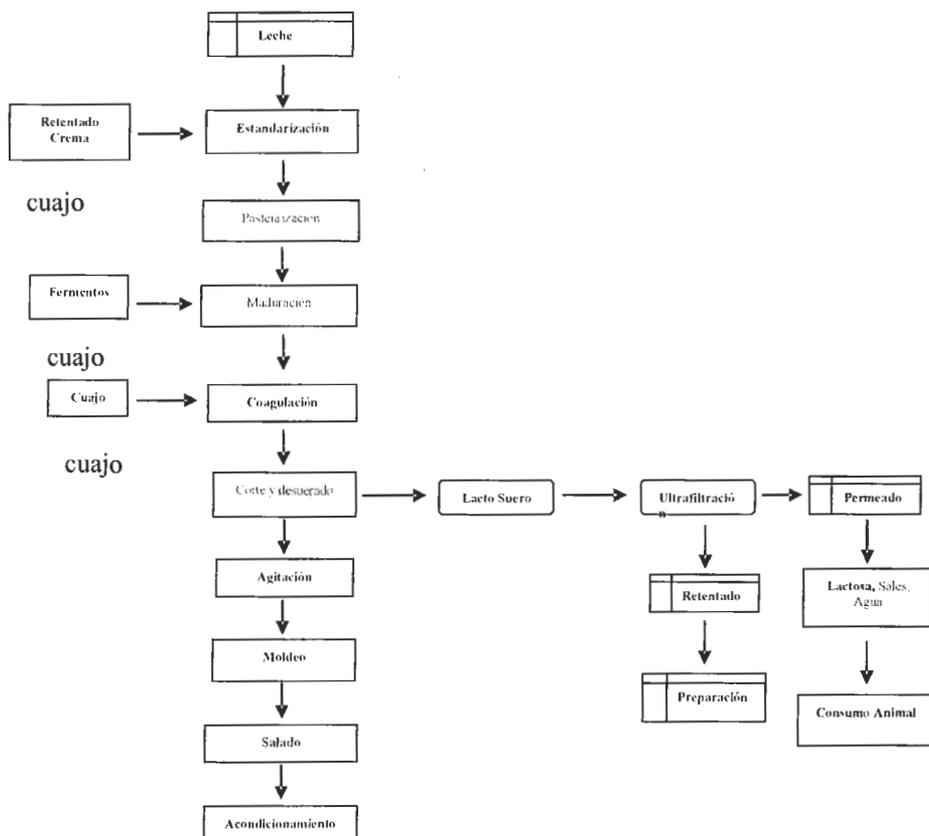
un sistema de inyección se agrega la cantidad de retentado que hace falta para equilibrar la relación grasa/proteína del queso. Las cantidades a incrementar de proteína por litro de leche varía según la humedad del producto a fabricar, y los procedimientos para la obtención del queso son iguales a la forma tradicional haciendo ajustes en las enzimas coagulantes y tiempo de salmuera en cuba (Ottosen, 1996; Grassano *et al.*, 2004).

La incorporación de las proteínas del lacto-suero a la leche destinada a la elaboración de queso incrementa los valores de rendimiento obtenidos; incrementos en el rendimiento para el queso de pasta estabilizada con alto contenido de humedad de 18,75%; en queso tipo gouda de 18,18% se obtienen lo que conduce a una mayor optimización de los procesos (Harper, 1992; Jameson, 1996; Grassano *et al.*, 2004). La Figura 4, representa el flujograma para la elaboración de queso con pasta estabilizada (PE) incorporando proteínas; en el flujograma se destaca los pasos secuenciales para la elaboración de dicho queso.

EFFECTOS DE LA INCORPORACIÓN DE LAS PROTEÍNAS DEL LACTO SUERO EN EL QUESO

Todos los quesos contienen mínimas o pequeñas cantidades de proteínas de suero. Al incrementar el nivel de estas proteínas por incorporación, se obtienen dos beneficios principales; uno, el aumento del rendimiento del queso, es decir, más kilos producidos por cada cien litros de leche y el otro, el aumento del valor nutritivo del producto. El desafío de la industria quesera es encontrar métodos que incluyan las proteínas del suero en el queso sin alterar significativamente las características de las variedades tradicionales (Jameson *et al.*, 1996).

La elaboración de queso es un proceso de concentración y separación. Los componentes presentes en dispersión coloidal son retenidos y concentrados en contraste con los componentes en forma soluble como las proteínas del suero, la lactosa y algunos minerales; como resultado se tienen básicamente dos vías para incrementar las proteínas del suero en el queso; la primera, concentrando por ultrafiltración la leche



Fuente: Grassano *et al.*; (2004).

Figura 4. Flujograma de elaboración de queso PE con incorporación de proteínas.

destinada a la elaboración del queso y la segunda, agregando las proteínas del suero de forma que ellas queden atrapadas en el gel de leche coagulada (Ottosen, 1996; Pearce, 1996).

La desnaturalización térmica controlada (DTPL) de las proteínas lacto-séricas involucra cualquier proceso que no cause la ruptura de los enlaces peptídicos; partiendo de su forma nativa puede incluir ruptura de enlaces de azufre o modificación química de ciertos grupos siempre y cuando estos cambios conduzcan a modificaciones en su estructura tridimensional (Haschmeyer *et al.*, 1973, Cunningham, 2007).

La asociación de las proteínas del lacto-suero con la k-caseína inducida por la DTPL, conduce a mayor rendimiento en el queso y a mayor capacidad para retener agua (CRA) debido a la exposición de grupos hidrófilos al agua, causada por el desdoblamiento de las proteínas por acción de la DTPL que provoca ruptura de los enlaces -S-S. Las proteínas lacto séricas, la β - lacto-globulina y la α -lacto-albúmina a diferencia de las caseínas son proteínas altamente estructuradas, solubles en su estado nativo y no enlazan agua de manera significativa, 0,04 gramos de agua por gramo de proteína para la β -lacto-globulina y 0,06 gramos de agua por gramo de proteína para la α -lacto-

albúmina; al ser sometidas a tratamientos térmicos intensos el dímero se disocia, los monómeros se desnaturalizan y surgen las condiciones para los entrecruzamientos por la exposición de estos grupos. La DTPL desplaza el equilibrio del calcio, cambia el pH, inhibe parcialmente la acción del cuajo y puede alterar la textura de la cuajada; estas interacciones se deben conocer para diseñar productos y procesos (Cunningham, 2007).

Los factores decisivos en las propiedades funcionales de las proteínas relacionadas con los tratamientos térmicos es su capacidad para absorber e inmovilizar agua; esta cantidad de agua retenida puede ser aumentada por la DTPL la cual conduce a la agregación y a una estructura porosa obteniéndose como resultado una mayor retención de agua (Parra, 2009).

La degradación de las proteínas del suero incluidas en el queso se ha asociado a la hidrólisis durante la maduración; a su vez, esta hidrólisis se ha asociado a la generación de sabores y texturas típicas en el queso. Cuando se incorporan niveles significativos de proteína de suero desnaturalizada tiene efectos sobre la degradación de la caseína durante la maduración; de igual forma estas proteínas en su estado nativo tienen este efecto lo que conduce a texturas y sabores atípicos; sin embargo muchos, sino todos estos problemas pueden ser resueltos por el trabajo realizado en la cuba por el maestro quesero cuando la proteína se encuentra en su estado nativo.

Las proteínas del suero pueden influenciar las propiedades de los quesos por mecanismos químicos, bioquímicos y biofísicos, los efectos dependen de que las proteínas estén en su estado nativo ó desnaturalizado como también de la variedad de queso. Los detalles de dichas interacciones son específicas para cada queso y por ello es necesario experimentar para comprender los efectos y sus interacciones para elaborar estrategias para obtener quesos con determinado rendimiento, funcionalidad y costo (Jameson *et al.*, 1996, Cunningham, 2007).

CONCLUSIONES

La filtración por membrana es aplicada por la industria láctea y representa una innovación tecnológica que constituye una alternativa para el mejoramiento de los procesos, permitiendo desarrollar la preparación y acondicionamiento de la materia prima utilizada en la elaboración de los productos terminados.

El empleo de la técnica de ultrafiltración en la concentración de la leche utilizada para la elaboración de queso permite asegurar mayor valor nutricional en el contenido proteico del producto final; además, la fluctuación estacional de la proteína es eliminada y las proteínas del suero son retenidas lo que se traduce en incrementos en el rendimiento. El producto terminado es de calidad y no presenta diferencias en sus características organolépticas al compararlo con el producto tradicional, obteniendo como valor agregado en el suero producido con un menor impacto ambiental y uso más eficiente del mismo.

El empleo de productos de UF provenientes del suero de quesería, permite incrementar los rendimientos en la industria quesera y disminuye el impacto ambiental que los subproductos y desechos generan producto de la actividad productiva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aider M, Halleux D, Melnikova I. 2009. Skim acid milk whey cryoconcentration and assessment of its functional properties: Impact y processing condition. *Innova Food Sci and Emerging Tech* 10(3):334-341.
- Almecija MC. 2007. Obtención de lactoferrina bovina mediante ultrafiltración de lactosuero. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. Dpto. de Ingeniería Química. 276 pp.
- CAVILAC. Cámara Venezolana de Industrias Lácteas (CAVILAC). 2008. La industria lechera en Venezuela. Su evolución. Caracas, Venezuela. 58pp.
- Cadotte J, Petersen R. 1981. Thin-Film composite reverse osmosis membranes: Origen development and recent advances. *Rev ACS Symposium series* 153. ACS New York
- Cossovich A, De Vecchi P, Mucchetti G. 1990. Preparazione di prodotti caseari tipo paste fresche mediante ultrafiltrazione di coaguli acidi. *Rev L industria del latte* XXVI (2): 39-48.
- Cunningham A. 2007. Diseño de quesos de alto rendimiento mediante tratamientos térmicos especiales. *Rev Carnilac Industrial* 18(4): 4-12.
- De la Casa EJ. 2006. Estudio de las interacciones proteína-membrana en los procesos de filtración tangencial. Tesis Doctoral Universidad de Granada. Dpto. de Ingeniería Química. 227 pp.
- Faria J, García AC, García AC. 2003. Eficiencia en la concentración de la proteína del lactosuero con una planta móvil de ultrafiltración y nanofiltración. *Revista Científica FCV-LUZ XIII* (5): 345-347.
- Grasselli M, Navarro A, Fernández H, Miranda M, Camperi S, Cascone O. 1997. Qué hacer con el suero. *Rev. Ciencia Hoy. Fac Fcia y Bioq. Universidad de Buenos Aires* 8(43):12-17.
- Grassano E. 2002. Principi generali, analisisi dei bilanci di materia, e dei consumi energetici in varie tecnologie con aplicacióne dell'ultrafiltrazione nella fabbricazione di diversiformagi. Tesina di Grado. Centro de formazione professionale – Lodi. 38 pp
- Grassano E, González M, Rodríguez M. 2004. Informe técnico para la junta directiva de la implantación y desarrollo de la técnica de ultrafiltración en la empresa Productos Lácteos Flor de Aragua CA. 80 pp.
- Glover F. 2000. Ultrafiltration and osmosis reverse osmosis for the dairy industry. The National Institute for Research in Dairying Reading, England pp 141-155.
- Harper W. 1992. Functional properties of whey protein concentrate and their relationship to ultrafiltration. *IDF Special Issue* 9201:77-108.
- Haschemeyer R., Haschemeyer A. 1973. Dynamics of protein conformations. En: proteins. A guide to study by physical and chemical methods. John Wiley & Sons, Inc, New York, NY, USA.
- Hutson T. 1982. Membrane technologies for the dairy industry. *Rev Dpto. Filtration Engineering Co. Inc Champlin MN USA* pp 1-12.
- Jelen P. 1992. Pressure, driven membrane processes: Principles and definitions. *IDF Special issue* 9201: 7-14.
- Jameson G, Lelievre J. 1996. Effects of whey proteins on cheese characteristics. *IDF bulletin* 313: 3-8.
- Maubois J, Pierre A, Fauquant J, Piot M. 1988. Fractionation of main whey proteins. *IDF bulletin* 212: 154-155.

- Maubois JL, Ollivier G. 1992 Milk protein fractionation. IDF Special issue 9201:15-22.
- Muñi A, Paez G, Faria J, Ferrer J, Ramones E. 2005. Eficiencia de un sistema de ultrafiltración/nanofiltración tangencial en serie para el fraccionamiento y concentración del lactosuero. *Revista Científica FCV-LUZ XV (4)*: 361-367.
- Manquant F. 2004. Techniques membranaires: Generalite. Manual TIA para implantación y desarrollo de unité de filtration organique mod. E4051 para Productos Lácteos Flor de Aragua CA. 16 pp.
- Maugas J. 2002. Le technologie a membrana aplicáte al siero di latte. *Rev IL Latte 27(2)*: 58- 64.
- Novak A. 1996. Application of membrane filtration in the production of milk protein concentrates. *IDF bulletin 311*: 26-30.
- Ottosen N. 1996. The use of membranes for the production of fermented cheese. *IDF bulletin 311*:18-20.
- Pearce R. 1996. Fractionation of milk proteins. *IDF bulletin 311*: 7.
- Pedersen PJ, Ottosen N. 1992. Manufacture of fresh cheese by ultrafiltration. *IDF special issue 9201*: 67-76.
- Puhan Z. 1992. Standardization of milk protein content by membrane processes for product manufacture. *IDF special issue 9201*: 23-32.
- Parra R. 2009. Lactosuero; Importancia en la industria de alimentos. *Rev Fac Nal Agr Medellin 62(1)*: 4967- 4982.
- Riquelme L. 2010. Desarrollo por ultrafiltración de un concentrado proteico a partir de lactosuero. Tesis de grado Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos. 48 pp.
- Rodríguez J. 1997. Procesos de membrana en la industria láctea. *Rev Alimentación Equipos y Tecnología 12*: 31-38.
- Schkoda P, Kessler HG. 1996. Manufacture of fresh cheese from ultrafiltered milk with reduced amount of acid whey. *IDF bulletin 311*: 33-35.
- Taglietti P. 1991. Applicazioni dell' ultrafiltrazione nell'industria casearia *Rev Il Monde del latte 45(1)*: 14-16.
- Vidal-Asiain L. 1999. Las técnicas de filtración tangencial y el medio ambiente. *econotici@s Rev 3* disponible en www.asiain_asesores.com/rev/pag31.htm. ultima visita 10/03/11.
- Veisseyre R. 1980. *Lactología Técnica* Editorial Acribia 2da edición Zaragoza España 629 pp.