



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO
FACULTAD DE QUÍMICO FARMACOBIOLOGÍA**



**“LACTOSUERO COMO FUENTE DE PROTEÍNAS Y MÉTODOS PARA SU
RECUPERACIÓN A TRAVÉS DE FILTRACIÓN CON MEMBRANAS”**

**TESINA PROFESIONAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUÍMICO FARMACOBIOLOGO**

PRESENTADO POR:

P. Q.F.B. JOSÉ LUIS INFANTE MAGAÑA

ASESOR DE TESINA:

MAESTRA EN CIENCIAS DIANA CECILIA MAYA CORTES

MÉXICO, MORELIA, MICHOACÁN. NOVIEMBRE DEL 2016.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad que me brindó los conocimientos básicos de mi carrera profesional UMSNH.

A mí asesora MC Diana Cecilia Maya Cortes por su guía y gran ayuda en todo el proceso de obtención para éste título. Así como también a los docentes sinodales que me brindaron sus observaciones para presentar un trabajo de calidad.

A Dios por darme la oportunidad de llegar hasta éste final y comienzo de una gran carrera.

Y finalmente a mi familia, Mis tías y en especial a mi Mamá y Abuelita, pues han sido el cimiento para la construcción de mi vida profesional sentando en mí la responsabilidad y deseos de superación. No ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a sus aportes, a su amor, confianza y apoyo, eh logrado llegar a una meta importante en mi vida. Gracias infinitas.

RESUMEN

El presente trabajo se hizo una revisión bibliográfica con el propósito de conocer las características generales de la leche y composición del lactosuero. Hoy en día se conoce el valor nutritivo que tiene la leche y la variedad de productos que se derivan de ella. Hablando específicamente del queso, encontramos que después de su elaboración el sobrenadante conocido como suero contiene una fracción líquida que contiene las partículas suspendidas (proteínas, glúcidos, vitaminas y minerales). Esta variedad de nutrientes genera gran interés por enfocar el lactosuero en diferentes usos, concentrando así los nutrientes más importantes como son las proteínas; en la industria láctea desde la década de los 90's se han venido utilizando procesos de filtración a través de membrana para separar el conjunto de proteínas a partir de soluciones de lactosuero. Este proceso de separación resulta ventajoso porque presenta poco deterioro de los componentes nutritivos. Existen varios tipos de procesos de membrana que usan dependiendo de las características del proceso que se desee elaborar: Osmosis inversa, Microfiltración, Nanofiltración y Ultrafiltración. Cada uno de ellos tiene sus peculiaridades, concluyendo en éste trabajo que la Ultrafiltración es el método preferido en la industria láctea, por ser practico y económicamente rentable.

Palabras claves: leche, lactosuero, proteínas, membranas, filtración.

ABSTRACT

In this work it was done a literature review in order to know the general characteristics of milk and whey composition. Today the nutritional value of milk and variety of products derived from it are known. Speaking specifically of cheese, we found that after processing the supernatant known as serum contains a liquid fraction containing the suspended particles (proteins, carbohydrates, vitamins and minerals). This variety of nutrients generated great interest by focusing on different uses whey, thus concentrating the most important nutrients such as proteins; in the dairy industry since the early 90's they have been using filtration processes through membrane to separate the set of proteins from whey solutions. This separation process is advantageous because it presents little deterioration of nutritional components. Several types of membrane processes using characteristics depending on desired process drawing: Reverse osmosis, microfiltration, nanofiltration and ultrafiltration. Each has its peculiarities, concluding this work Ultrafiltration is preferred in the dairy industry, being practical and cost-effective method.

ÍNDICE GENERAL

I. JUSTIFICACIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
1. Objetivo General	2
2. Objetivos Específicos.....	2
III. MARCO TEÓRICO	3
1. LA LECHE.....	4
1.1. Clasificación de la leche	4
1.2. Composición de la leche	5
1.3. Panorama de la leche en México	6
1.4. Derivados de la leche	7
2. LACTOSUERO	7
2.1. Composición general del Lactosuero	8
2.2. Proteínas del lactosuero	9
2.3. Vitaminas de Lactosuero	12
2.4. Glúcidos en lactosuero	12
2.5. Minerales en lactosuero	13
2.6. Usos del lactosuero	13
2.6.1. Concentrados de proteína de suero (WPC)	13
2.6.2. Elaboración de helados.....	14
2.6.3. Hidrolizados enzimáticos.....	14
2.6.4. Aislados de proteína de lactosuero	15
2.6.5. Fórmulas infantiles	16
2.6.6. Producción de etanol	17
2.6.7. Levadura para panificación	17
2.6.8. Quesillo	18
2.6.9. Quesos.....	18
3. MÉTODOS PARA RECUPERACIÓN DE LACTOSUERO.....	19

3.1. Separación por membranas	20
3.2. Osmosis Inversa.....	21
3.3. Nanofiltración.....	22
3.4. Microfiltración	22
3.5. Ultrafiltración.....	22
4. ULTRAFILTRACIÓN.....	23
4.1. Definición.....	23
4.2. Ventajas y Desventajas	23
IV. CONCLUSIÓN	25
V. BIBLIOGRAFÍA	26

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de la Leche Acorde a su Procesamiento.....	4
Tabla 2. Características Fisicoquímicas. Leche Entera	5
Tabla 3. Principales Componentes de la Leche en g/L.	6
Tabla 4. Producción anual de quesos. 2015	7
Tabla 5. Composición de lactosuero dulce y ácido	9
Tabla 6. Composición en aminoácidos esenciales (g/100 g de proteína)	10
Tabla 7. Propiedades funcionales de la caseína y proteínas de lactosuero.....	11
Tabla 8. Contenidos en vitaminas de lactosuero.....	12
Tabla 9. Tipos de proceso de separación por membrana	21

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación del método por separación de membranas	20
---	----

I. JUSTIFICACIÓN

La leche es un producto alimenticio de excelencia por sus cualidades nutritivas. El hombre obtiene la leche de varios animales para su propia alimentación. Su consumo se asocia a épocas muy remotas de la humanidad, sin embargo, éste se incrementa con el surgimiento de grandes ciudades y la industrialización.

La leche y sus derivados constituyen una parte importante de los alimentos que componen la dieta habitual de los habitantes de nuestro país y de los de su entorno.

El sector lácteo ha demostrado en los últimos años un crecimiento sostenido, tanto en la producción como en la adopción de tecnologías para aprovechar al máximo las propiedades de la leche. Uno de los componentes importantes en la composición de éste alimento son las proteínas que contiene el suero, pues éstas tienen variados usos y aplicaciones en la alimentación de los humanos. La recuperación de esta proteína comprende varios tipos de métodos, sin embargo, el más utilizado se lleva a cabo con membranas que permiten separarla y concentrarla a temperatura ambiente compitiendo económicamente con otras técnicas convencionales.

En el presente trabajo se hizo una revisión bibliográfica con la finalidad de identificar y conocer las características generales del lactosuero, así como también la metodología de filtración a través de membranas, para la recuperación de proteína láctea.

II. OBJETIVOS

1. OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio bibliográfico de la metodología para la recuperación de la fracción proteica de lactosuero.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar y conocer las características generales de la leche
- Describir la composición química de lactosuero
- Identificar los usos de lactosuero en la industria alimenticia
- Describir la metodología de filtración a través de membrana

III. MARCO TEÓRICO

El origen del consumo de la leche se remota hasta hace 11,000 años, cuando los humanos nómadas empezaron a ser ganaderos y a ordeñar sus animales obteniendo alimentos de ellos. Los primeros animales que ordeñaron fueron las cabras y ovejas, años más tarde también se implementó la leche de vaca. A lo largo de la historia se fueron implementando técnicas que van desde su producción, almacenamiento, conservación y extracción de sus componentes, con el fin de producir una variedad de subproductos benéficos para el consumo humano y animal. Un ejemplo es el suero de la leche. En la actualidad el suero se utiliza para la alimentación de cerdos, ganado y otros animales, como suplementación para la fabricación de pan, como suplemento en la elaboración de alimentos para infantes y ancianos (Botanical online, 2016).

El suero de leche contiene cantidades muy bajas de sólidos totales, menos de 6%, lo cual es insuficiente para elaborar cualquier producto con un valor nutritivo aceptable. Dentro de los sólidos totales en el suero el componente a aprovechar es la proteína, para lo cual es necesario concentrarla ya que el suero contiene menos del 1% de proteína (Domínguez W. 2001). Para concentrar la proteína del suero se han aplicado varias técnicas que difieren básicamente en el tamaño de los poros de la membrana utilizada. Tales técnicas son Osmosis reversa, Nanofiltración, Ultrafiltración y Microfiltración. Sin embargo, sólo una de esas técnicas es la preferida por la industria láctea: Filtración, y que consiste en una corriente de alimentación que es introducida en un arreglo de módulos. El agua y los solutos de bajo peso molecular pasan a través de la membrana y son removidos como “permeado”. Los solutos de alto peso molecular y sólidos suspendidos son retenidos por la membrana y finalmente removidos como “concentrado” (Díaz O. *et al* 2004).

1. LA LECHE

La leche es el producto obtenido de la secreción de las glándulas mamarias de las vacas, sin calostro el cual debe ser sometido a tratamientos térmicos u otros procesos que garanticen la inocuidad del producto; además puede someterse a otras operaciones tales como clarificación, homogeneización, estandarización u otras, siempre y cuando no contaminen al producto y cumpla con las especificaciones de su denominación (NOM-155-SCFI-2012).

1.1. CLASIFICACIÓN DE LA LECHE

En la siguiente tabla se muestra la clasificación de la leche según el proceso a la cual fue sometida.

Tabla 1. Clasificación de la Leche Acorde a su Procesamiento

PRODUCTO	TIPO DE GRASA	PROCESO PRIMARIO	PROCESO SECUNDARIO
Leche	Grasa Butírica. Semidescremada. Parcialmente Descremada.	Rehidratada. Reconstituida. Deslactosada.	Pasteurizada. Ultra pasteurizada. Micro filtrada Evaporada. Condensada. Azucarada. Deshidratada. Polvo. Concentrada.

1.2. COMPOSICIÓN DE LA LECHE

Los componentes de la leche se encuentran en equilibrio, de tal manera que es un alimento de gran valor nutritivo, suministrando proteínas, grasa, lactosa, minerales y algunas vitaminas. Las propiedades fisicoquímicas y la composición general de la leche se indican en la tabla 2 y 3 respectivamente. (Santiago Vázquez, 2007).

Tabla 2. Características Fisicoquímicas. Leche Entera

ESPECIFICACIONES	VALOR
Densidad a 15 °C g/ml	1,029 min
Grasa butírica g/L	30 min
Acidez (expresada como ácido láctico) g/L	1,3 min 1,7 max
Sólidos no grasos de la leche, g/L	83 min
Punto crioscópico °C (°H)	-0,510 a -0,536
Lactosa g/L	43 – 52
Proteínas propias de la leche g/L	30 min
Caseína g/L	24 min

NOM-155-SCFI-2012

Tabla 3. Principales Componentes de la Leche en g/L.

COMPONENTE	CONCENTRACIÓN (g/L)
Agua	875
GLÚCIDOS: Lactosa	48
MATERIA GRASA:	36
Lípidos simples	35
Fosfolípidos	0.5
Sustancias liposolubles	0.5
SUSTANCIAS NITROGENADAS:	33
Proteínas	31.4
Sustancias nitrogenadas no proteicas	1.6
MINERALES:	9
Potasio	1.4
Calcio	1.2
Cloruro	1.2
Fósforo	1.0
Sodio	0.6

(Romero R. & Mestres J. 2004)

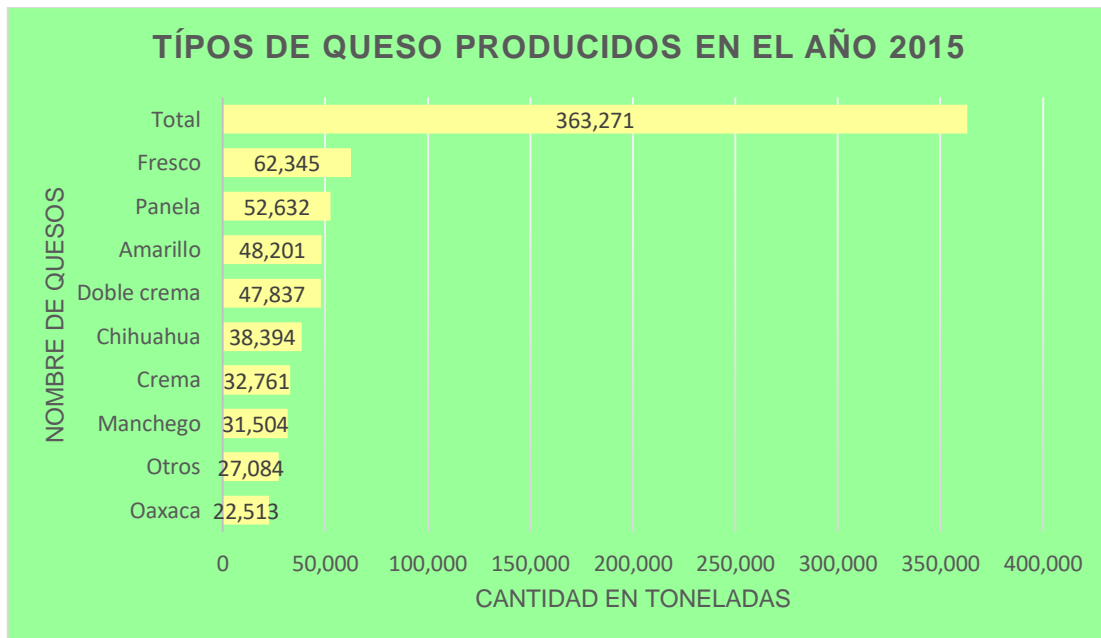
1.3. PANORAMA DE LA LECHE EN MÉXICO

A nivel nacional, en 2015 México ocupó la posición 9 en producción mundial de leche. Con 11 mil 394 millones 663 mil litros, dos de cada cien litros que se producen en el mundo son de origen mexicano. Se estima que la producción al final de este año 2016 será por 11 mil 533 millones 151 mil litros; llegando a producir poco más de 30 millones de litros por día. Esperando un crecimiento anual del 1.21% respecto al año 2015 (SAGARPA, 2016).

1.4. DERIVADOS DE LA LECHE

La leche es la materia prima para la elaboración de varios productos dentro de los cuales se encuentran las leches saborizadas, crema, yogurt, postres, y una amplia variedad de quesos. La producción anual para el año 2015 de quesos fue de 363,271 toneladas de las cuales en la tabla 4 se indica en diferentes categorías según el tipo de queso la cantidad de producción en toneladas (SAGARPA, 2016).

Tabla 4. Producción anual de quesos. 2015



A partir de la elaboración de productos de la leche se pueden obtener varios subproductos, hablaremos específicamente del producto que se obtiene después de la elaboración de quesos, al cual se le denomina suero de leche.

2. LACTOSUERO

El lactosuero o suero de leche se define como un producto lácteo obtenido de la separación del coágulo de la leche, de la crema o de la leche semidescremada

durante la fabricación del queso, mediante la acción ácida o de enzimas del tipo del cuajo (renina), que rompen el sistema coloidal de la leche en dos fracciones:

1. Una fracción sólida, compuesta principalmente por proteínas insolubles, caseínas, y lípidos, las cuales en su proceso de precipitación arrastran y atrapan minoritariamente algunos de los constituyentes hidrosolubles.
2. Una fracción líquida, correspondiente al lactosuero en cuyo interior se encuentran suspendidos todos los otros componentes nutricionales que no fueron integrados a la coagulación de la caseína (Walstra P., et al. 2001). De esta forma, se encuentran en el lactosuero partículas suspendidas solubles y no solubles (proteínas, lípidos, carbohidratos, vitaminas y minerales), y compuestos de importancia biológica funcional (Illanes A. 2011).

El suero en consecuencia, no constituye un sustituto integral de la leche por ser una fracción de la misma, pero contiene nutrientes y compuestos con potenciales beneficios nutricionales y de salud que se aprovechan en algunos países para la fabricación de productos alimenticios y suplementos, o como materia prima para la producción de otros ingredientes y compuestos (E, 2013).

2.1. COMPOSICIÓN GENERAL DEL LACTOSUERO

La composición nutricional del lactosuero como indica la tabla 5, puede variar considerablemente dependiendo de las características de la leche utilizada para la elaboración del queso, el tipo de queso producido y el proceso tecnológico empleado en la elaboración del queso. A partir de estas diferencias se encuentran los tipos de lactosuero (Poveda, 2013): 1) Suero dulce, cuando se produce a partir de acción enzimática y contiene más lactosa. 2) Suero ácido, aquel que se obtiene por acción ácida, con mayor concentración de proteínas (Salam A. *et al* 2009).

Tabla 5. Composición de lactosuero dulce y ácido

COMPONENTE	LACTOSUERO DULCE (g/L)	LACTOSUERO ÁCIDO (g/L)
Sólidos totales	63,0- 70,0	63,0- 70,0
Lactosa	46,0- 52,0	44,0- 46,0
Proteína	6,0- 10,0	6,0- 8,0
Calcio	0,4- 0,6	1,2- 1,6
Fosfatos	1,0- 3,0	2,0- 4,5
Lactato	2,0	6,4
Cloruros	1,1	1,1

Fuente: (Panesar et al., 2007)

En cualquiera de los dos tipos de lactosuero obtenidos, se estima que por cada kg de queso se producen 9 kg de lactosuero, esto representa cerca del 85-90% del volumen de la leche y contiene aproximadamente el 55% de sus nutrientes (Liu, 2005).

2.2. PROTEÍNAS DEL LACTOSUERO

El suero de la industria quesera contiene aproximadamente un 0.6% de proteínas. La β -lactoglobulina (BLG) es la proteína mayoritaria 53% y la α -lactoalbúmina (ALA) ocupa el segundo lugar 13%, también contiene en cantidades menores: inmunoglobulinas, lactoferrina, albúmina, proteasa peptona y glicomacropéptido (Benítez, 2008).

Las proteínas de este subproducto de la industria quesera desempeñan un importante papel nutritivo como una rica y balanceada fuente de aminoácidos esenciales ~26% (Ibrahim, 2005), además, son de alto valor biológico (por su contenido en leucina, triptófano, lisina y aminoácidos azufrados), tienen una calidad

igual a las del huevo y no son deficientes en ningún aminoácido, esto puede ser observado en la Tabla 6 donde se relaciona el contenido de aminoácidos que contiene el lactosuero respecto al huevo, encontrándose que la leucina y lisina son los aminoácidos que se encuentran en mayor cantidad, además, parecen ejercer determinados efectos biológicos y fisiológicos, in vivo, potenciando la respuesta inmune, tanto humoral como celular (Parra Huertas, 2009).

Tabla 6. Composición en aminoácidos esenciales (g/100 g de proteína)

AMINOÁCIDOS	LACTOSUERO	HUEVO	FAO
Treonina	6,2	4,9	3,5
Cisteína	1,0	2,8	2,6
Metionina	2,0	3,4	2,6
Valina	6,0	6,4	4,8
Leucina	9,5	8,5	7,0
Isoleucina	5,9	5,2	4,2
Fenilalanina	3,6	5,2	7,3
Lisina	9,0	6,2	5,1
Histidina	1,8	2,6	1,7
Triptófano	1,5	1,6	1,1

Fuente: (Parra Huertas, 2009)

Estas proteínas han favorecido propiedades funcionales como solubilidad (Ibrahim et al., 2005), la emulsificación, retención de agua/grasa, espumado, espesantes y propiedades de gelificación, además, que hacen del producto un interesante ingrediente alimenticio (González et al., 2002), estas propiedades se pueden observar en la Tabla 7 donde se describen las propiedades funcionales de proteínas de lactosuero comparadas con la caseína de la leche.

Tabla 7. Propiedades funcionales de la caseína y proteínas de lactosuero.

PROPIEDADES	CASEÍNA	PROTEÍNAS DE LACTOSUERO
Hidratación	Muy alta capacidad de retención de agua (CRA) con formación pegante a alta concentración.	La CRA se incrementa con la desnaturalización de la proteína
Solubilidad	Insoluble a punto isoelectrico (pI) de 4.6	Soluble en su punto isoelectrico, 5, pero insoluble si es termo desnaturalizado
Gelificación	No gelificación térmica excepto en presencia de calcio. Gelificación micela por quimosina.	Gelificación térmica desde 70 °C: influencia de pH y sales
Viscosidad	Soluciones muy viscosas a pH básico y neutral. Viscosidad más baja a pI	Soluciones no muy viscosas excepto sin son termo desnaturalizadas
Propiedades emulsificantes	Excelentes propiedades emulsificantes especialmente a pH básico y neutral, baja estabilidad espumante	Buenas propiedades emulsificantes excepto a pH 4- 5 si es termo desnaturalizada
Retención de sabores	Buena retención de sabores	Retención muy variable con la desnaturalización
Propiedades espumado	Baja estabilidad espumante	Excelente estabilidad espumante

Fuente: Hui (1993).

Las proteínas encontradas en el lactosuero no constituyen la fracción más abundante en la leche, representa aproximadamente, el 18-20% de las proteínas totales, sin embargo, sí es lo más interesante desde el punto de vista económico y nutricional (Jovanovic *et al.*, 2005).

Las proteínas séricas son proteínas globulares que pueden ser aisladas físicamente del suero de la leche, conocidas en inglés como whey protein. No intervienen en la formación de la cuajada, permanecen en el lactosuero. Son de peso molecular relativamente bajo, y son solubles en su punto isoelectrico (Guzmán, 2006).

2.3. VITAMINAS DE LACTOSUERO

Se registran los contenidos de vitaminas, su concentración y necesidades diarias en la tabla 8, encontrándose con que el ácido pantoténico presenta la mayor concentración con 3.4 mg/mL seguido de ácido ascórbico con 2.2 mg/mL. Este gran contenido de nutrientes genera aproximadamente 3.5 kg de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y 6.8 kg de demanda química de oxígeno (DQO) por cada 100 kg de lactosuero líquido, lo que puede generar serios problemas de contaminación de aguas cuando son vertidas en los afluentes naturales (Muñi, 2005).

Tabla 8. Contenidos en vitaminas de lactosuero.

VITAMINAS	CONCENTRACIÓN (MG/ML)	INGESTA RECOMENDADA DIARIA (MG)
Tiamina	0.38	1.5
Riboflavina	1.2	1.5
Ácido nicotínico	0.85	10- 20
Ácido pantoténico	3.4	10
Piridoxina	0.42	1.5
Cobalamina	0.03	2
Ácido ascórbico	2.2	10- 75

Fuente: (Parra Huertas, 2009)

2.4. GLÚCIDOS EN LACTOSUERO

La lactosa es el principal componente nutritivo (4.5 % peso/volumen) que presenta el lactosuero. Es un disacárido, formado por glucosa y galactosa; esencial para el desarrollo del sistema nervioso; se presenta bajo las formas alfa y beta, y con 37% para la forma alfa y un 63% para la forma beta. (Quintana, C. 2011). La

lactosa puede convertirse en ácido láctico por acción de bacterias lácticas dando como resultado cambios en el sabor y aroma del suero.

2.5. MINERALES EN LACTOSUERO

El suero de leche tiene un perfil de minerales en el que se destaca la presencia de potasio en proporción 3 a 1 con relación al sodio, lo que favorece la eliminación de líquidos y toxinas. Cuenta también con una cantidad relevante de otros minerales como calcio, fósforo y magnesio; así como también oligoelementos como el zinc, hierro y cobre, formando sales de gran biodisponibilidad para el organismo. (Quintana, C. 2011).

2.6. USOS DEL LACTOSUERO

Las proteínas de lactosuero son usadas ampliamente en una variedad de alimentos gracias a sus propiedades gelificantes y emulsicantes, siendo la β -lactoglobulina el principal agente gelificante. Los geles de proteína de lactosuero pueden ser usados como hidrogeles de pH-sensitivos, el cual puede ser definido como red tridimensional que muestra la habilidad de hincharse en agua y retiene una fracción significativa de agua dentro de esta estructura (Gunasekaran et al., 2006). A partir del lactosuero se pueden derivar una cantidad variada de subproductos.

2.6.1. CONCENTRADOS DE PROTEÍNA DE SUERO (WPC)

Los WPC encuentran un extenso uso en alimentos bajos en grasa, ya sea que se utilicen solos o en combinación con otros ingredientes. Estos concentrados de proteínas de suero reemplazan a la grasa porque otorgan características similares

a las aportadas por este compuesto como son viscosidad, sensación al paladar y apariencia entre otros (Angulo, 2005).

En la formulación de sopas y salsas bajas en grasa los WPC se utilizan por sus excelentes propiedades emulsificantes y por lograr una buena dispersión de la materia grasa. Asimismo, se aplican a los aderezos bajos en grasa porque permiten reducir costos a través de la inclusión de cantidades adicionales de agua y permiten lograr un producto con buena viscosidad y opacidad (Parzanese, 2015).

Los WPC también se aplican en la elaboración de productos cárnicos (salchichas y carnes procesadas), obteniéndose buenos resultados. Por ejemplo, se logra la reducción en el costo, mejora de la textura, de la sensación al paladar y un perfil nutricional superior (Angulo, 2005).

2.6.2. ELABORACIÓN DE HELADOS

Para la aplicación de subproductos del lactosuero en la elaboración de mezclas para helados, deben considerarse previamente el contenido de proteína y lactosa que estos puedan aportar al producto final. Asimismo, se sugiere el empleo de WPC porque estos concentrados presentan un perfil de proteínas más adecuado que la de otros subproductos, además de poseer una concentración menor de lactosa (Angulo, 2005).

2.6.3. HIDROLIZADOS ENZIMÁTICOS

La introducción dentro de la dieta de hidrolizados enzimáticos ricos en oligopéptidos, especialmente di y tripéptidos, representan una manera de mejorar la utilización de la proteína. Estas preparaciones han sido usadas en varios países como suplementación dietética o necesidades fisiológicas, para personas de la

tercera edad, bebés prematuros, atletas que controlan el peso a través de dietas y niños con diarrea. Son muy utilizadas las proteínas hidrolizadas debido a que los aminoácidos proporcionados son de rápida y completa absorción a nivel digestivo en comparación con la proteína intacta sin hidrolizar (Spellman et al., 2009).

Entre las fuentes de proteínas que pueden ser usadas para la preparación de hidrolizados están: aislado de caseinato, y la proteína de leche. Sin embargo, en países subdesarrollados, esta proteína necesita ser importada la cual causaría un considerable incremento en costos (Santana, 2008).

Otra alternativa podría utilizarse *Bacillus subtilis* y pancreatina, una enzima que permite hidrolizar la proteína, obteniendo oligopéptidos con un rendimiento de 37.12%, según estudio realizados por Santana (2008) teniendo como base lactosuero.

2.6.4. AISLADOS DE PROTEÍNA DE LACTOSUERO

Los aislados de proteína de lactosuero (WPI) tienen como características importantes un 90% de proteína y entre 4-5.5% de agua. Por su alta pureza, los WPI son usados extensivamente en suplementación nutricional, bebidas deportivas y medicinales (Foegeding & Luck, 2002).

Han sido empleados como proteínas de alimentos funcionales en formulaciones de alimentos, por sus propiedades de hidratación, gelificación, emulsificación, y propiedades para formación de espuma de WPI (Foegeding y Luck, 2002; Nicorescu *et al.*, 2009)

Además, estos productos son elaborados para la aplicación de agentes complejantes específicos, y los cuales se enlazan con proteínas, permitiendo su eliminación de lactosuero, utilizando absorbentes como carboxil-metil celulosa u óxidos inorgánicos (Zadow, 2003).

Hernández et al. (2009) añadieron gelatina que es subproducto de la industria del cuero a WPI creando un incremento sinérgico antimicrobiano. Igualmente, incorporando nano-arcillas en películas basadas en WPI, se puede extender la vida útil de los alimentos, mejorando la calidad cuando se utilizaron empaques con estas características.

2.6.5. FÓRMULAS INFANTILES

Su elaboración está principalmente basada en leche de bovinos y sus derivados como un sustituto de la leche humana. Cuando en los años 70 aparecieron fórmulas infantiles basadas en lactosuero simulando la leche humana, la atención giró al desarrollo de estos productos. Este fue el inicio de las fórmulas infantiles mezclando iguales cantidades de leche descremada, lactosuero desmineralizado y otros componentes como vitaminas, minerales, taurina, nucleótidos entre otros (Sinha, 2007).

El principal problema con estos productos ha sido la utilización de la β -lactoglobulina. Esta proteína, ausente en la leche humana, ha demostrado ser una fuente importante de alergia infantil por lo cual limita el uso de la leche de bovinos como materia prima para la producción de leche para infantes. Sin embargo, varios productos comerciales destinados a alimentos infantiles están basados en la proteína de lactosuero y la mayoría de ellos tienen importantes cantidades de β -lactoglobulina (con tratamientos previos como la desnaturalización) (Lucena, 2007). Estas fórmulas han sido desarrolladas para infantes cuyo objetivo es bajar de peso, equilibrar balances de aminoácidos para el crecimiento y regular el metabolismo (Sinha, 2007).

2.6.6. PRODUCCIÓN DE ETANOL

La producción de una bebida alcohólica por conversión del lactosuero es una alternativa de gran interés para la utilización de este subproducto industrial (Dragone, 2009).

Destilerías de lactosuero están en operación en Irlanda, Nueva Zelanda, y los Estados Unidos. En la fermentación se emplea *Kluyveromyces marxianus var. marxianus* o *Kluyveromyces fragilis* y lactosuero desproteínizado como sustrato (Dragone, 2009).

El proceso puede ser operado bajo condiciones asépticas usando lactosuero pasteurizado, con temperatura de fermentación entre 24-34 °C. Este proceso fermentativo origina un rendimiento de etanol en un rango de 75- 85% del valor teórico, partiendo que por cada 0.538 kg de etanol se necesita de 1 kg de lactosa metabolizada, esto refleja la importancia en la producción de etanol que tiene el lactosuero (Parra Huertas, 2009).

2.6.7. LEVADURA PARA PANIFICACIÓN

El lactosuero en polvo es bien conocido como ingrediente en la industria de la panificación por resaltar su sabor y cualidades de calidad. Volumen, textura, corteza y retención de frescura en el pan de trigo, estas características son proporcionadas por la incorporación de una combinación de emulsificantes y lactosuero en polvo (Parra Huertas, 2009).

Dos procesos han sido desarrollados en la producción de levaduras destinadas a la panificación, en el primero la lactosa es hidrolizada utilizando β -galactosidasa, y la glucosa y galactosa son consumidas simultáneamente por la levadura (Parra Huertas, 2009). El segundo proceso utiliza un sistema de fermentación de dos etapas. En el estado inicial, las bacterias ácido lácticas convierten lactosa a lactato

y este es consumido en la segunda etapa por la levadura. Finalmente, la biomasa puede ser degradada mecánicamente o biológicamente para eliminar componentes celulares los cuales pueden purificar o transformarse a productos de alto valor (Parra Huertas, 2009).

2.6.8. QUESILLO

El proceso más antiguo para la utilización del lactosuero es el calentamiento para recuperar la proteína del mismo, como un concentrado proteico insoluble. El aprovechamiento del lactosuero ácido de queso doble crema para la elaboración de quesillo, es una alternativa de aplicación de este subproducto. El quesillo, un queso de pasta hilada de pH bajo es uno de los productos aceptados como exportables (Londoño, 2006).

Estudios que reflejan el efecto de la utilización de diferentes ácidos orgánicos como acético, cítrico y láctico en coagulación para la elaboración de quesillo se han realizado observándose que no tuvieron efecto en el rendimiento con un valor promedio original de 9.73% cercano al 10% que es el valor teórico expresado (Londoño, 2006).

2.6.9. QUESOS

Hoy en día, los quesos son elaborados por razones de preservación, versatilidad, conveniencia y reducción de costos, además de los culinarios. Con los avances en la tecnología de lácteos, nuevos ingredientes como leche en polvo, lactosuero en forma de polvo o concentrados de proteína de lactosuero (WPC) están ahora disponibles para la incorporación dentro del procesamiento del queso (Lee, 2009).

La adición de lactosuero en la elaboración de queso es limitada, al agregar la proteína coagulada o en forma de concentrado se obtuvo un aumento en el rendimiento, y originó alteraciones importantes en la textura, cuerpo y contenido de humedad, como se ha podido demostrar en investigaciones llevadas a cabo en queso Cheddar (Lee, 2009).

A diferentes tipos de quesos madurados han sido añadidos WPC con diferentes rendimientos, por ejemplo: queso tipo Camembert añadiéndose 1% de WPC, se ha obtenido un rendimiento de 30%, queso Saint-Paulin al cual se le añadió 5.56% de proteína se obtuvo 12% de rendimiento, queso suave tipo Camember con 1% de WPC se obtuvo rendimiento máximo de 30% (Hinrichs, 2001).

3. MÉTODOS PARA RECUPERACIÓN DE LACTOSUERO

Desde la década de 1990, se ha realizado la separación del conjunto de proteínas de la lactosa, a partir de soluciones de lactosuero, utilizando el proceso de filtración tangencial con membranas (Marhal. K, 2004).

El procesamiento del suero de lechería requiere inicialmente de una etapa de pretratamiento. Esta generalmente consiste en las operaciones de clarificación, de desnatado (separación de la grasa) y pasteurizado y se realiza para que el suero que será utilizado luego como materia prima de productos de mayor valor agregado, y cumpla con las condiciones y características requeridas por los distintos procesos a los que será sometido. Estas operaciones de pretratamiento en algunos casos pueden realizarse en el mismo lugar donde se obtiene el suero como residuo de la elaboración del queso, si es así se debe contar con equipamiento para el almacenamiento en temperaturas de refrigeración del suero pre-tratado (Parzanese, 2015)

3.1. SEPARACIÓN POR MEMBRANAS

Una membrana es una barrera semipermeable y selectiva al paso de distintas sustancias. De esta manera, la corriente de entrada al proceso de separación por membranas (corriente alimento) se divide en dos corrientes como se muestra en la fig. 1: aquella que contiene las sustancias que han atravesado la membrana (permeado) y la corriente que contiene los compuestos que han quedado retenidos sobre la membrana (rechazo). Para que esta separación tenga lugar, las membranas se ven sometidas a la acción de una fuerza impulsora: presión, presión parcial, potencial eléctrico o concentración (Parzanese, 2015).

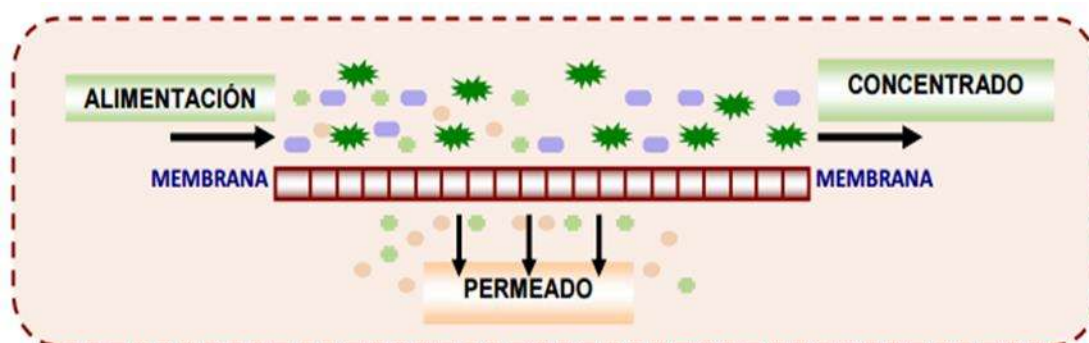


Figura 1. Representación del método por separación de membranas

La permeabilidad y selectividad de las membranas puede ser controlada durante el proceso de fabricación. Las membranas son preparadas por diferentes métodos patentados, a partir de acetato de celulosa, poliolefina, poliacrilonitrilo, cloruro de polivinilo o fibra de vidrio y luego soportado por un material rígido y más poroso (Riquelme L. 2010).

El proceso de separación por membrana resulta ventajoso porque presenta poco deterioro sobre los componentes que conforman el sistema y cuando los métodos tradicionales de separación no resultan económicamente factibles (Razavi, 2003)

Respecto al tratamiento del suero lácteo son varios los tipos de procesos de membrana que se usan en el fraccionamiento y valorización del suero (Tabla 9), dependiendo de las características del producto que se quiera elaborar.

Tabla 9. Tipos de proceso de separación por membrana

	MICRO FILTRACIÓN	ULTRA FILTRACIÓN	NANO FILTRACIÓN	OSMOSIS INVERSA
Concentrado	▪ Grasas y proteínas grandes	▪ Proteínas y grasas	▪ Todos los solutos excepto iones monovalentes	▪ <i>Todos los solutos</i>
Permeado	▪ Agua ▪ Minerales ▪ Lactosa ▪ Proteínas pequeñas	▪ Agua ▪ Minerales ▪ Lactosa	▪ Agua ▪ Iones monovalentes	▪ Agua
Rango de presión de operación	10 a 50 psi	30 a 150 psi	150 a 600 psi	200 a 1000 psi
Tamaño de poro	0.05–10 µm	0.002–0.05 µm	<0.002 µm	<0.0002 µm

Fuente: (Parzanese, 2015)

3.2. OSMOSIS INVERSA

La ósmosis inversa está basada en la búsqueda fundamental del equilibrio. Si dos fluidos que contienen diferente concentración de sólidos disueltos son puestos en contacto, estos se mezclarán hasta que la concentración se uniformice. Cuando estos dos fluidos están separados por una membrana semi-permeable (que deja pasar el fluido y no los sólidos disueltos), un fluido que contenga una menor concentración se moverá a través de la membrana hacia el fluido que contenga una mayor concentración de sólidos disueltos. La ósmosis inversa utiliza membranas muy estrechas y altas presiones de operación para separar el agua de todos los demás componentes del suero”. Este método es generalmente utilizado para concentrar el suero a una relación de 2:1 (Benyto, 2009).

3.3. NANOFILTRACIÓN

La Nanofiltración depende de membranas que repelen selectivamente ciertos iones, basándose en la carga que éstos posean. El concentrado producido es casi totalmente desmineralizado, sin embargo, las membranas para este proceso son complejas e incluyen una película ultra fina formada por condensación en los microporos de polisulfona, lo que las hacen muy costosas (Benyto, 2009).

3.4. MICROFILTRACIÓN

La microfiltración, separa los microorganismos y lípidos produciendo así un concentrado con 50% de proteína y 0.11% de grasa. Sin embargo, el autor menciona que este método requiere de un descremado preliminar y una ultrafiltración posterior a la microfiltración, además es un proceso que está todavía en desarrollo (Domínguez W. 2001).

3.5. ULTRAFILTRACIÓN

En la ultrafiltración (UF) el tamaño de los poros de la membrana es mayor, permitiendo que algunos componentes además del agua y los compuestos iónicos de la leche pasen la membrana, en un proceso de separación y fraccionamiento que generalmente utiliza temperaturas de 50-60 °C y se basa en membranas de polisulfonas (Villalobos, 2006). Esta técnica se estableció desde 1981 como el proceso principal para la concentración de suero (Domínguez W. 2001).

4. ULTRAFILTRACIÓN

Cómo se mencionó en el apartado anterior, los primeros indicios de recuperación de sueros lácteos datan de los años ochenta, donde el proceso se efectuaba por intercambio iónico, lo cual no resultaba del todo satisfactorio dado que se generaba un cierto grado de desnaturalización. Este aspecto ha mejorado en la actualidad gracias a las tecnologías de membranas (Neville et al. 2001).

4.1. DEFINICIÓN

La ultrafiltración es proceso en donde el agua y solutos de bajo peso molecular pasan, influenciados por la presión, a través de la membrana a formar el ultrafiltrado; mientras que las proteínas son retenidas por la membrana y se van concentrando junto con glóbulos grasos, bacterias y suspensiones de sólidos para formar el concentrado. El ultrafiltrado es la solución pasante de la membrana, rica en vitaminas y minerales. El concentrado es rico en proteínas, que no atraviesan la membrana (Domínguez W. 2001).

Los retenidos del proceso de membranas son posteriormente sometidos a un tratamiento de secado en un evaporador bajo vacío (840 mbar), enfriados a 36 °C y secados a 80 °C en un secador por aspersion. Los permeados sufren igualmente un tratamiento de secado al vapor, previa pre cristalización de la lactosa en tanques de cristalizado, empleando el mismo secador por aspersion hasta alcanzar una concentración de 30% en sólidos y luego son enfriados a 30 °C. Este concentrado de permeado es secado igualmente por aspersion (Villalobos, 2006).

4.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

VENTAJAS

- Desarrollo de membranas robustas, sintéticas, de fácil limpieza y con propiedades uniformes.

- Desarrollo de equipo que permite operación continua.
- Bajos costos de operación.
- Requiere menos presión que la ósmosis reversa.
- Bajos costos de producción para los productos.
- Combinada con diafiltración permite alcanzar mayores concentraciones de proteína.

DESVENTAJAS

- Posible descomposición microbiana de la membrana.
- Vida útil de la membrana afecta enormemente el costo.
- Permeabilidad decrece con el tiempo.
- Agentes limpiadores deben ser libres de hierro y sílice.

(Domínguez W. 2001).

IV. CONCLUSIÓN

Uno de los componentes importantes en la composición de éste alimento son las proteínas que contiene la leche y el lactosuero, pues éstas tienen distintos usos y aplicaciones en la alimentación de los humanos. La recuperación de esta proteína comprende varios tipos de métodos, sin embargo, el más utilizado para lactosuero se lleva a cabo con membranas que permiten separarla y concentrarla a temperatura ambiente compitiendo económicamente con otras técnicas convencionales. El método por medio de membranas garantiza las propiedades fisicoquímicas de las proteínas, de igual manera garantiza un alto rendimiento de fraccionamiento del lactosuero. Este método nos brinda un amplio margen de subproductos que dependerán del tamaño del poro de la membrana. La microfiltración nos permite a través de su poro retener grasa y proteínas de alto peso molecular encontradas en el lactosuero y desechando en la permeada agua, minerales, lactosa y proteínas pequeñas. La ultrafiltración en su concentrado podemos encontrar proteínas y grasa únicamente y en el permeado agua, minerales y lactosa. La Nanofiltración nos permite encontrar en su concentrado la mayoría de los solutos presentes en el lactosuero, en su permeado únicamente iones y agua. La osmosis inversa nos retiene en su concentrado absolutamente todos los solutos del lactosuero y únicamente en el permeado encontramos agua. Podemos concluir que este es el mejor método que se puede utilizar para la recuperación de solutos presentes en el lactosuero debido a la amplia variedad de configuraciones de componentes presentes que se puede encontrar en cada uno de los concentrados, dependiendo del tamaño del poro que se utilizó en la membrana. Lo que se interpreta como una alta versatilidad a la hora de aplicarlo industrialmente en el tratamiento de lactosuero, permitiendo generar diferentes subproductos con valor agregado según el propósito de uso y tipo de proteínas que se pretenden recuperar.

V. BIBLIOGRAFÍA

- Angulo, C. (2005). Factibilidad de producción y estudio de rendimiento de queso chanco con incorporación de suero en polvo. Tesis Maestría en Ciencias y Tecnología de la Leche. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Austral de Chile.
- Benítez, R. A. (2008). Hidrolizados de proteína: procesos y aplicaciones. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 227-36.
- Benyto, P. V. (2009). Curso manipulador de agua de consumo humano. Alicante: textos docentes.
- Díaz, O.; Pereira, C.; Cobos, A. (2004). Functional properties of ovine whey protein concentrates produced by membrane technology after clarification of cheese manufacture by-products. *Food Hydrocolloids* 18; 601-610.
- Domínguez. W, Evaluación de sorbetes y bebidas elaboradas a base de concentrado proteico del suero del queso. Recuperado el 4 de octubre del 2001.
- Dragone, G. S. (2009). Characterisation of volatile compounds in an alcoholic beverage produced by whey fermentation. *Food Chemistry*, 929- 935.
- Foegeding, E. and P. Luck. (2002). Whey protein products. 1957-1960. In: Caballero, B., L. Trugo, P. Finglas (eds.). *Encyclopedia of Foods Sciences and Nutrition*. Academic Press, New York.
- González, C., M. Becerra, M. Cháfer, A. Albors, J.M. Carot and A. Chiralt. (2002). Influence of substituting milk powder for whey powder on yoghurt quality. *Trends in Food Science Y Technology* 13(9-10): 334-340.
- Gunasekaran, S., S. Ko and L. Xiao. (2006). Use of whey proteins for encapsulation and controlled delivery applications. *Journal of Food Engineering* 83(1): 31-40
- Guzmán, J., (2006). "Propiedades Nutraceuticas de las Proteínas del Suero de Leche", Alfa Editores Técnicos, www.alfa-editores.com, (12 de enero 2009).

- Hinrichs, J. (2001). Incorporation of whey proteins in cheese. *International Dairy Journal* 11(4-7): 495-503.
- Hui, Y. (1993). *Dairy Science and Technology Handbook 1. Principles and properties*. Primera edición. VCH Published, New York. 398 p.
- Ibrahim, F., E. Babiker, N. Yousif and A. Tinay. (2005). Effect of fermentation on biochemical and sensory characteristics of sorghum our supplemented with whey protein. *Food Chemistry* 92(2): 285-292.
- Illanes, Andrés. Whey upgrading by enzyme biocatalysis. (2011). *Electronic Journal of Biotechnology*.
- Jovanovic, S., Barac, M. y Macej, O. (2005). Whey Proteins-Properties and Possibility of Application. *Mljekarstvo*, 55(3), 215-233.
- Lee, S. and S. Anema. (2009). The effect of the pH at cooking on the properties of processed cheese spreads containing whey proteins. *Food Chemistry* 115(4): 1373–1380.
- Liu, X. K. (2005). Continuous nisin production in laboratory media and whey permeate by immobilized *Lactococcus lactis*. *Journal Process Biochemistry*.
- Londoño, M. (2006). Aprovechamiento del suero ácido de queso doble crema para la elaboración de quesillo utilizando tres métodos de complementación de acidez con tres ácidos orgánicos. *Perspectivas en nutrición humana. Revista Perspectivas en Nutrición Humana-Escuela de Nutrición y Dietética-Universidad de Antioquia*, 11-20.
- Lucena, M., S. Álvarez, C. Menéndez, F. Riera and R. Álvarez. (2007). α -Lactalbumin precipitation from commercial whey protein concentrates. *Journal Separation and Purification Technology* 52(3): 446-453.
- M. H. Abd El-Salam, Safinaz El-Shibiny & Aida Salem. (2009). Factors Affecting the Functional Properties of Whey Protein Products a Review. *Food Rev Internat.*;25 (3) 251-70.

- Marshall K. (2004). Therapeutic applications of whey protein. *Alternative Medicine Review* 9, (2). 135-156.
- Muñi, A. G. (2005). Eficiencia de un sistema de ultrafiltración/nanofiltración tangencial en serie para el fraccionamiento y concentración del lactosuero. *Revista científica*, 362.
- Neville, J. R.; Armstrong, K.J.; Price, J. (2001). Ultra Whey 99: a whey protein isolate case study. *International Journal of Dairy Technology*. 54(4): 127- 129.
- Nicorescu, I. C. (2009). Effect of dynamic heat treatment on the physical properties of whey protein foams. 1209-1219
- NOM-155-SCFI-2012. (2012). Leche-Denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba. Mexico, DF: Diario Oficial de la Federación.
- Panesar, P., J. Kennedy, D. Gandhi and K. Bunko. (2007). Bioutilisation of whey for lactic acid production. *Food Chemistry* 105: 1-14.
- Parra Huertas, R. A. (2009). Lactosuero: Importancia en la Industria de alimentos. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 62(1), 4969-4978.
- Parzanese, M. (2015). Procesamiento de lactosuero. *Tecnologías para la Industria Alimentaria.*, Ficha N° 13.
- Poveda, E. (2013). Suero lácteo, generalidades y potencial uso como fuente de calcio de alta biodisponibilidad. *Revista Chilena de Nutrición.*, 397-403.
- Quintana, C. A. (noviembre de 2011). Universidad Nacional a distancia y abierta. Obtenido de Universidad Nacional a distancia y abierta: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211613/Modulo_zip/leccin_35_suero_lcteo.html
- Riquelme L. (2010). Desarrollo por ultrafiltración de un concentrado proteico a partir de lactosuero. LICENCIATURA. Universidad Nacional de Colombia.
- Romero R. & Mestres J (2004). *Productos lácteos tecnología*. Universidad Politécnica de Catalunya. Politex.

- SAGARPA, S. d. (2016). Boletín de Leche Abril- junio. México, DF.: Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera.
- Santana, M. E. (2008). Obtaining oligopeptides from whey: Use of subtilisin and pancreatin. *American Journal of Food Technology.*, 315-324.
- Santana, M., E. Rolim, R. Carreiras, W. Oliveira, V. Medeiros and M. Pinto. 2008. Obtaining oligopeptides from whey: Use of subtilisin and pancreatin. *American Journal of Food Technology* 3(5): 315-324.
- Santiago Vázquez, M. E. (2007). Manual de Normas de Control de Calidad de Leche Cruda. Secretaría de Desarrollo Social., 13.
- Sinha, R. C. (2007). Whey protein hydrolysate: Functional properties, nutritional quality and utilization in beverage formulation. *Food Chemistry*, 1484- 1491.
- Spellman, D., G. O’Cuinn and R. FitzGerald. (2009). Bitterness in *Bacillus* proteinase hydrolysates of whey proteins. *Food Chemistry* 114(2): 440–446.
- Villalobos A. (2006). Agronomía Mesoamericana Tecnológica de membrana en la agroindustria láctea. 17. 243- 264.
- Walstra P, Geurts T, Noomen A, Jellema A, van Boekel M. (2001). Ciencia de la leche y tecnología de los productos lácteos. 1a ed. Zaragoza: Editorial Acribia,
- Zadow, J. (2003). Protein concentrates and fractions. 6152-6156. In: Francis, F. (ed.). *Encyclopedia of Food Science and Technology*. Wiley, New York.