



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DEL  
LACTOSUERO DE QUESERIA

TRABAJO MONOGRAFICO DE ACTUALIZACION  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
QUIMICO DE ALIMENTOS  
P R E S E N T A ,  
PETER PAUL REYES CHAVEZ



MEXICO, D.F. EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA

2005



m. 347556



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**Jurado asignado**

**Presidente:** Prof: Federico Galdeano Bienzobas  
**Vocal:** Prof: Marcos Francisco Báez Fernández  
**Secretario:** Prof: Lucia Cornejo Barrera  
**1er Suplente** Prof: Rosa María Argote Espinosa  
**2º Suplente** Prof: Gabriela López Velasco

**Sitio de desarrollo del tema: Bibliotecas y hemerotecas de la UNAM**

**ASESOR**



IQ. Federico Galdeano Bienzobas

**SUSTENTANTE**



Peter Paul Reyes Chávez

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Peter Paul Reyes Chávez

FECHA: 6 de septiembre 2003

FIRMA: 

## **Agradecimientos.**

A Dios por la vida y a la oportunidad de superación personal así como la experiencia vivida durante toda mi educación.

A mis padres y hermanos por contar siempre con su apoyo y cariño.

A todos mis amigos y amigas por su amistad, apoyo y compañía que siempre tendré presente.

Agradezco los maestros Federico Galdeano, Marcos Báez y de manera especial a la maestra Lucía Cornejo por su ayuda en la realización de este proyecto.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a los profesores de la Facultad que se esfuerzan por dar una enseñanza de gran calidad.

<b>I Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>II Objetivos.....</b>	<b>3</b>
<b>III Antecedentes.....</b>	<b>4</b>
<b>Capitulo 1</b>	
<b>Obtención del lactosuero.....</b>	<b>11</b>
1.1 Definición.....	11
1.2 Coagulación.....	11
1.3 Desuerado.....	13
1.4 Tipos de lactosuero.....	15
<b>Capitulo 2</b>	
<b>Calidad nutricional del lactosuero.....</b>	<b>17</b>
2.1 Proteínas del lactosuero.....	17
2.2 Valor nutrimental de las proteínas del lactosuero.....	18
2.3 Vitaminas presentes en el lactosuero.....	19
2.4. Minerales presentes en el lactosuero.....	20
2.5 Hidratos de carbono (lactosa).....	20
<b>Capitulo 3</b>	
<b>Proteínas del lactosuero .....</b>	<b>25</b>
3.1 $\alpha$ -lactalbumina.....	25
3.2 $\beta$ - lactoglobulina.....	25
3.3 Inmunoglobulinas.....	26
3.4 Proteosa peptona.....	26
3.5 Lisozima.....	26
3.6 Sero albúmina bovina.....	27
3.7 Lactoferrina.....	27
3.8 Proteínas minoritarias.....	27

## Capítulo 4

<b>Industrialización del lactosuero.....</b>	<b>28</b>
4.1 Tratamientos previos del lactosuero.....	28
4.2 Secado del lactosuero.....	30
4.3 Filtración por membranas.....	33
4.4 Ultrafiltración.....	38

## Capítulo 5

<b>Técnicas de separación de proteínas del lactosuero.....</b>	<b>43</b>
5.1 Utilización de membranas y cromatografía.....	43
5.2 Extracción micelar inversa.....	47

## Capítulo 6

<b>Modificación de proteínas del lactosuero.....</b>	<b>49</b>
6.1 Extrusión de proteínas del lactosuero.....	49
6.2 Polimerización de proteínas por procesado térmico.....	50
6.3 Modificación de proteínas del lactosuero con enzimas (hidrolizados).....	53

## Capítulo 7

<b>Funcionalidad de las proteínas del lactosuero.....</b>	<b>54</b>
7.1 Concentrados de proteína del lactosuero.....	55
7.2 Emulsificantes a base de lactosuero.....	57
7.3 Efecto del lactosuero en yogurt.....	66
7.4 Microencapsulamiento con una base de proteína de lactosuero.....	68

## Capítulo 8

<b>Productos formulados con lactosuero .....</b>	<b>73</b>
8.1 Producción de quesos a base de lactosuero fresco.....	74
8.2 Fórmulas para bebidas con lactosuero.....	81
8.3 Elaboración de kéfir con lactosuero .....	85
8.4 Fórmulas para bebidas energizantes en polvo.....	87
8.5 Formulación de helados con proteína de lactosuero.....	87
8.6 Fórmulas de leches maternizadas.....	91

## **Capítulo 9**

<b>Procesos y productos adicionales.....</b>	<b>95</b>
9.1 Fórmulas para becerros.....	95
9.2 Obtención de lactosa y sus usos.....	98
9.3 Obtención de etanol por bioconversión del lactosuero.....	100
<b>IV. Conclusiones.....</b>	<b>102</b>
<b>V. Recomendaciones.....</b>	<b>105</b>
<b>VI. Bibliografía.....</b>	<b>107</b>

## I. INTRODUCCION

En los últimos años han surgido nuevas tecnologías y descubrimientos que permiten un aprovechamiento del lactosuero de quesería. Estos van desde el aislamiento y purificación de proteínas como la  $\beta$ -lactoglobulina,  $\alpha$ -lactoalbumina, y otras, para un uso como aditivos en la industria de alimentos, debido a sus propiedades funcionales de gelificado, espumado, microencapsulado e incremento de proteína (extensor) y por su excelente calidad nutricional. También se han desarrollado productos menos complejos como los concentrados de proteínas, (WPC por sus siglas en Ingles), y los aislados de proteína, (WPI por sus siglas en ingles) que se aplican ampliamente en diversas ramas alimentarias como panadería, confitería, botanas y lácteos, teniendo como principal función el incremento de proteína en los productos y mejora de características sensoriales del producto final.

De igual forma existe una variedad de productos en donde el lactosuero es el ingrediente principal como son, bebidas energizantes, formulas para infantes, formulas energizantes en polvo, quesos como el Requesón, Ricotta y Mysost. Estos productos no solo pueden consumirse solos, sino que pueden acompañar a platillos y postres, lo que permite tener una mayor visión del mercado.

En otros países como los Estados Unidos de América, el lactosuero de quesería, se aprovecha en su mayoría, lo que no solo evita contaminaciones severas en las aguas residuales, si no que se produce una ganancia económica, al industrializar el lactosuero de quesería como WPC principalmente. Este ya ha formado un mercado amplio y en crecimiento. Un ejemplo de ello es que México importa una gran cantidad de suero en polvo, según datos de SAGARPA en el 2001 se importaron mas de 72622 Toneladas de este, representando un valor del 13.91% de las materias primas lácteas importadas al país ese año, siendo lactosuero en polvo en forma de WPC el producto principal.

Anteriormente el lactosuero generado solía utilizarse para alimentación de cerdos, lo cual prácticamente ya no ocurre debido a la mejora de los piensos, que logran muy altos rendimientos y costos muy bajos en la engorda de cerdos, ello ha implicado un desinterés de esta industria por el lactosuero fresco, pero sin embargo no se utiliza el lactosuero en polvo porque la demanda comercial ocasiona que sea un producto demasiado costoso.

Es común escuchar la pérdida de recursos por falta de industrialización y/o dinero, a este respecto cabe señalar que si bien es costosa una planta de secado de lactosuero, existen fondos y empresas capaces de absorber los costos, aunque aun así no es impedimento, para aprovecharlo ya que varios productos, como los quesos Mysost, Ricotta, Requesón y otros productos se pueden elaborar a partir de lactosuero fresco de forma artesanal y a muy bajos costos.

Los avances tecnológicos como la extrusión, polimerización e hidrólisis de proteínas del lactosuero, permiten mejorar la aplicación de las proteínas del lactosuero, para una funcionalidad determinada, con ello el producto gana aun más calidad.

En este trabajo se hace una recopilación de alternativas que implican productos, tecnologías, técnicas y usos para fomentar la industrialización del lactosuero, que producen las queserías en el país, proporcionando la información y formando una propuesta para mejorar la economía y el ambiente al aprovechar el lactosuero y evitar la gran derrama de lactosuero.

## II. OBJETIVOS

### Objetivo general

Realizar un estudio bibliográfico del lactosuero producido por la elaboración de queso, para dar a conocer los nuevos avances y tecnologías que permiten alternativas de aprovechamiento, al utilizarlo para la industria de alimentos o para la alimentación animal.

### Objetivos:

- Hacer una revisión bibliográfica relacionada con el lactosuero considerando las tecnologías y productos en los cuales puede aprovecharse.
- Recopilar información de las propiedades funcionales de los productos obtenidos del lactosuero de quesería para su aplicación en alimentos
- Presentar información sobre la elaboración de alimentos formulados con algún producto de lactosuero
- Discutir las ventajas del aprovechamiento del lactosuero de quesería en diversos productos para alimentación humana y para alimentación animal
- Indicar sugerencias del mejor aprovechamiento del lactosuero de quesería para diferentes tamaños de industrias queseras.

### **III. ANTECEDENTES**

#### **Reseña Histórica**

El lactosuero es el subproducto de la elaboración de cualquier tipo de queso, este se ha obtenido desde épocas muy remotas en todos los sitios donde se elaboró el queso. El queso es uno de los alimentos más antiguos, ya que desde la época del antiguo Egipto se elaboraban diferentes tipos de quesos, aunque no se sabe con precisión el lugar o fecha donde se originó, se cree que fue de forma simultánea en varias partes del mundo como; medio oriente, la región del caucaso, la península ibérica y Egipto (Hualde 2000).

Se cree que el queso surgió cuando los pastores primitivos pudieron comprobar que en el cuarto estómago de una cría de rumiante, en especial terneros, que tenían poco tiempo de amamantar, la leche estaba cuajada, cuando estos eran sacrificados para alimentación. Otras teorías indican que pudo descubrirse por la utilización de recipientes elaborados de estómagos de terneros, que al almacenar la leche en estos se coagulaba, posteriormente se separaba esta cuajada, y quedaba el lactosuero como residuo. Así es pues la historia del lactosuero forma parte de la historia del queso ya que siempre que se obtenga queso se obtiene lactosuero como subproducto (Scott 1999).

#### **La producción de queso y lactosuero en México**

En el continente americano se desarrolló la ganadería hasta la llegada de los conquistadores europeos, siendo en época del virreinato de la Nueva España cuando se introduce la ganadería a México, proveniente de España. Se transportaron varias cabezas de ganado, para la iniciación de esta típica actividad europea en las nuevas colonias. La introducción inicial de las diversas especies de ganado fue en cantidades reducidas por las dificultades de transporte desde el continente europeo, pero unos años más tarde las pocas cabezas de ganado que lograron llegar, se transformaron en hatos de gran cantidad de ganado.

El auge de la ganadería en la Nueva España era apreciable a mediados del siglo XVI. Por lo que para el año de 1553 las estancias de Jilotepec tenían entre 20 y 30 mil cabezas de ganado, dos años después, en 1555 el Valle de Matcingo contaba con 60 estancias que sumaban más de 150 mil cabezas de ganado vacuno.

El Ganado no solo era fuente de alimento por su carne y leche sino también era una fuerza motriz, ya que se utilizaban bueyes para el arado de las tierras y otros usos de carga y transporte. En el país a través de los años han surgido regiones en donde la ganadería ha tenido un mayor auge y especialización, teniendo tal trascendencia que México en la actualidad cuenta con productos propios creados en el país y de gran venta como el queso Oaxaca, Cotija y Chihuahua (Valle 1997).

### **El sistema de lechería en México**

La situación del sector lácteo mexicano ha estado vinculada, desde sus inicios, a los movimientos de la producción lechera mundial. El sistema mundial lácteo ha sido controlado históricamente por los países desarrollados, principalmente por Estados Unidos de América, Canadá, Nueva Zelanda, Australia y algunos países europeos, cuya producción es excedentaria y han mantenido importantes desarrollos tecnológicos.

La producción lechera en el país tiene un doble carácter que hay que destacar, por una parte es una actividad productiva de gran importancia, en términos del valor generado, en cuanto al sector lechero representa el 23.3% del valor de la producción del subsector pecuario, proveniente de ganado bovino. La actividad ganadera de esta especie, en leche y carne, representa el 52% de la producción pecuaria nacional (SAGARPA [2] 2001).

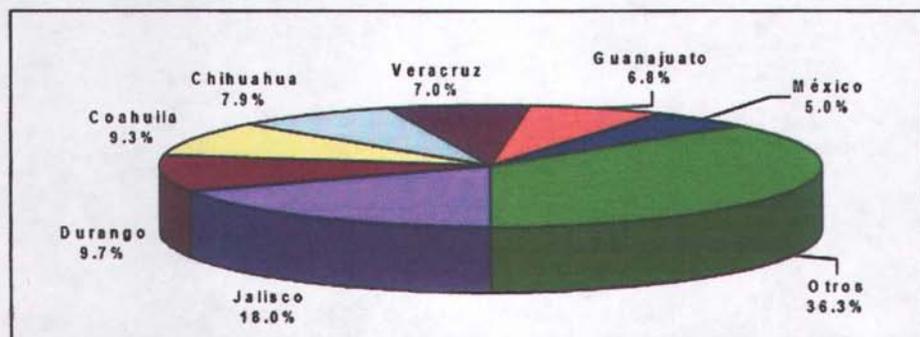
La industria de lácteos es de las más importantes dentro de la rama de alimentos con una participación del 10 al 12%, contribuye con el 0.6% del PIB total y genera

cerca de 60,000 empleos, en un sector de transformación con mas de 11,000 empresas.

### Las regiones lecheras en México

Jalisco es el estado con mayor producción de leche en el país, en 1997 aportó el 18.0% del volumen nacional. Los Altos es la región de Jalisco de mayor producción. De acuerdo con la división regional de México propuesta por el Dr. Ángel Bassols Batalla en 1974. "Los Altos" es una de las once regiones que conforman la zona geoeconómica del centro-occidente de México. Dicha región se ubica en el noreste del Estado de Jalisco y conforma una gran meseta. Colinda con los Estados de Zacatecas, San Luis Potosí, Michoacán, Guanajuato y Aguascalientes. El nombre de Los Altos se debe a que es la parte más elevada del Estado (2,000 m sobre el nivel del mar). Comprende 23 municipios y de acuerdo a los datos del censo de 1990, tenía para ese entonces una población de 695, 484 habitantes sobre una extensión territorial de 17,0 38.32 Km. (Valle 1997).

**Figura III.1 Principales estados productores de leche de ganado bovino. Año 2000 producción de 9.311Millones de litros.**

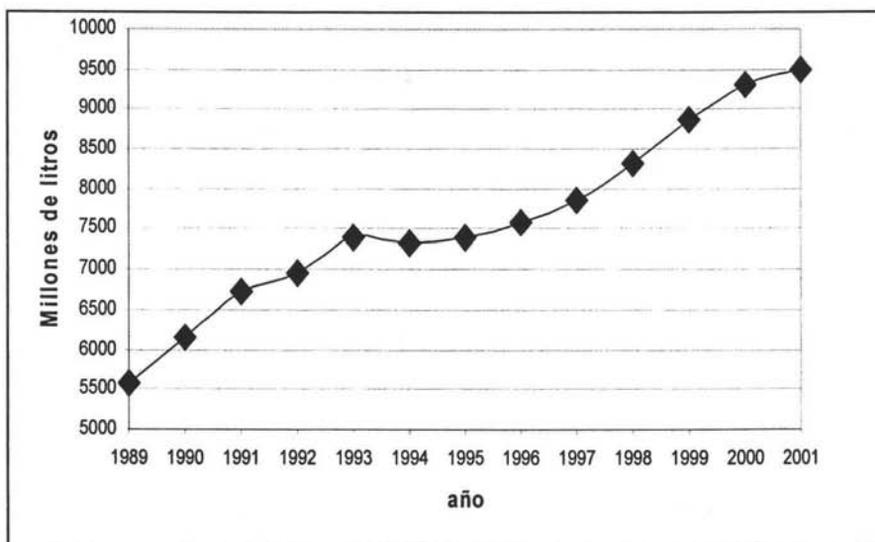


El 36.3% de la producción queda distribuido en estados donde comienza una producción ganadera estable como Hidalgo, Chiapas, Michoacán, Puebla a si como otras entidades del país (SAGARPA [3] 2001).

## Producción de leche en México

A partir del año 1989 el precio de la leche se desregulariza (eliminación del control por el gobierno), con ello el gobierno termina de fijar el precio y la producción de la leche, situación que ocasionaba un disminución año con año de la producción lechera debido a la poca rentabilidad. A partir de 1989 la producción de leche tiene un crecimiento constante, el cual ha sido acompañado con la modernización de establos y hatos ganaderos, mejorando la calidad y producción de leche año con año.

Figura III.2 Producción nacional de leche de bovino en México (1989-2001).



Para el año de 1990 la producción de leche por el sector tecnificado representaba el 30% de la producción nacional, y para el año 2000 este sector logra el 51% de la producción nacional, gracias a la modernización y mejor rentabilidad del mercado de lácteos.

## Mercado de productos lácteos

En México el mercado de lácteos representa un 3.4% del gasto familiar total representando hasta un 11.5% del gasto en alimentación, siendo la leche fluida el producto mas consumido con un 76.5%, seguido de la leche en polvo en un 17.0% y los derivados lácteos con un 6.5%.

El país ha sido deficitario en cuanto a la demanda de leche principalmente, por las políticas pasadas de regularizar (orden gubernamental que fijaba los precios) el precio de la leche, esto provocó la necesidad de importación de lácteos y leche en polvo mayoritariamente.

**Tabla III.2 Consumo nacional de leche y derivados.**

( Millones de \*litros equivalentes)

Año	Producción nacional	Importación			Consumo Total
		Subtotal	Leche en polvo	Otros lácteos	
1989	5577.0	2617.4	2465.4	152.0	8194.4
1990	6141.0	2255.3	2102.3	153.0	8396.3
1991	6717.0	2240.0	2043.0	197.0	8957.0
1992	6966.0	2714.0	2408.0	306.0	9680.0
1993	7404.0	2431.0	2025.0	406.0	9835.0
1994	7320.0	2552.4	2042.0	510.4	9872.4
1995	7398.6	1975.6	1752.8	222.8	9374.2
1996	7586.6	2064.8	1784.5	280.3	9651.4
1997	7848.6	2206.3	1862.6	343.7	10054.9
1998	8315.7	2080.5	1724.8	355.7	10396.2
1999	8877.0	2257.3	1721.0	536.3	11134.3
2000	9311.0	2359.8	1723.8	636.0	11670.8
2001	9501.0	2908.0	2100.0	808.0	12409.0

\* Litros equivalentes: significa la cantidad de leche fluida consumida en forma del producto (SAGARPA[3] 2001).

### Distribución de las importaciones de productos lácteos

La importación de productos lácteos se da principalmente en forma de materias primas, que son el 70.43% de los productos lácteos importados, principalmente en forma de leche en polvo, y seguido del lactosuero, este último presenta un mercado en crecimiento por sus propiedades funcionales en los alimentos.

**Tabla III.3 Distribución de las importaciones de productos lácteos en México**  
(Valor en miles de dólares y volumen en toneladas)

Descripción	2001		% del valor	% del volumen
	Valor	Volumen		
<b>Productos de consumo final</b>	<b>302875</b>	<b>148427</b>	<b>29.57</b>	<b>28.40</b>
Leche fluida	15619	30506	1.53	5.84
Leche evaporada	1120	798	0.11	0.15
Leche condensada	9923	8308	0.97	1.59
Yogurt	25622	12440	2.50	2.38
Mantequilla	4929	2693	0.48	0.52
Quesos	181516	66181	17.72	12.66
Margarinas	39963	14534	3.90	2.78
Helados	24181	12966	2.36	2.48
<b>Materias primas lácteas</b>	<b>721268</b>	<b>374133</b>	<b>70.43</b>	<b>71.60</b>
Crema de leche	11735	10884	1.15	2.08
Leche en polvo	404141	184176	39.46	32.25
Sueros y lactosueros	44283	72691	4.32	13.91
Grasa butírica	57094	32057	5.57	6.13
Preparaciones lácteas	122037	58579	11.92	10.83
Caseína y caseinatos	79724	16908	7.78	3.24
Otros insumos lácteos	2254	837	0.22	0.16
<b>Total</b>	<b>1024142</b>	<b>522561</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>

## **Utilización del lactosuero**

Hasta la década de 1970 se conoce el potencial del lactosuero, al descubrir lo nutrimental que éste es. Desde entonces se han desarrollado nuevas tecnologías y aplicaciones para el uso del lactosuero en la industria de alimentos (Scott 1999).

La primera innovación fue la deshidratación del lactosuero de quesería con lo cual se logra detener el proceso de degradación por efecto de la descomposición bacteriana. Posteriormente se han encontrado más usos de interés y propiedades funcionales del lactosuero, en especial de algunas de sus proteínas como aditivos en alimentos (Madrid 1993).

En México se considera que el consumo de queso es el 60% de los derivados lácteos, lo que da un aproximado de 312 millones de litros equivalentes de leche fluida, utilizados para la elaboración de queso. Tomando la relación de que 10 L de leche producen 1Kg de queso y que se generan 9L de lactosuero, la cantidad generada de lactosuero por el país tendría un estimado de 280 millones de litros de lactosuero anualmente (SAGARPA [3] 2001).

Las proteínas son el componente del lactosuero más importante ya sea por su valor nutrimental, así como sus propiedades funcionales de emulsificación, gelificado, espumado y microencapsulación, lo que hace posible su aplicación a una gran variedad de alimentos, en los cuales se mejora la calidad sensorial y nutrimental de productos como, botanas, helados, bebidas, quesos y diversos productos formulados (Renner 1999).

Según datos de la USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América) México representa el 65 a 70% del total del consumo de productos de lactosuero, siendo principalmente WPC, la forma más comercializada, importando para 1998 más de 70000 toneladas (Dairy Export Council [2] 2000).

## CAPITULO 1

### OBTENCION DEL LACTOSUERO

#### 1.1 DEFINICION

Según la legislación mexicana el suero de leche o lactosuero se define como; el líquido obtenido de la coagulación de la caseína de la leche, mediante la acción de enzimas coagulantes de origen animal, vegetal o microbiano, por la adición de ácidos orgánicos o minerales de grado alimentario; acidificación por intercambio iónico hasta alcanzar el punto isoeléctrico de la caseína (NOM-035-SSA1-1993).

Dependiendo del procedimiento utilizado para cuajar la leche y hacer el queso, se consideran 2 procesos principales que son; 1) coagulación enzimática; de donde se obtiene el llamado suero dulce, y por otro lado esta la 2) coagulación ácida, obtenida de quesos que se acidifican para su elaboración como el queso Quark y el Cottage (Madrid 1999). El suero dulce y el suero ácido tienen diferencias significativas, en su composición ya que en el suero ácido la lactosa se ha transformado en ácido láctico y el calcio se queda prioritariamente en el suero a diferencia del suero dulce en donde el calcio permanece prioritariamente en la cuajada (Renner 1999).

#### 1.2 COAGULACIÓN

La coagulación es el cambio del estado físico de la leche con formación de un gel. Este poseerá diferentes características en base a la forma en que se obtuvo; coagulación enzimática (por acción de un enzima proteolítico). Coagulación ácida (por acidificación hasta pH 4.6) o mixta (debido a la acción conjunta de la enzima y del ácido).

### **Coagulación enzimática**

La leche se pondrá a la temperatura de coagulación, se le adicionara la enzima proteolítica en cantidad suficiente para que la coagulación se produzca en un tiempo determinado. La temperatura y el tiempo de coagulación dependerán del tipo de queso. El coagulo que se obtiene es el resultado de la acción de una enzima proteolítica, como por ejemplo la quimosina que actúa sobre la K-caseína, cortándola en dos partes:

- El caseinomacropetido (al ser muy hidrófilo, pasara a la fase hidrica).
- La paracaseína (es hidrofobica, insoluble y permanece en la micela).

También pueden utilizarse otros coagulantes como la pepsina o una mezcla de quimosina y pepsina (cuajo) u otras enzimas coagulantes.

### **Coagulación ácida**

En las coagulaciones totalmente ácidas, no se adiciona enzima proteolítica, son los microorganismos propios de la leche o los del cultivo iniciador los que, por la formación de ácido láctico, coagulan la leche (Chamorro 2002). En ocasiones también se adiciona un ácido orgánico como ácido láctico acético, y cítrico siendo el láctico el de mejor gelificación, mientras que por otro lado el ácido fosforico no debe adicionarse ya que inhibe la coagulación (Resch 2005).

La coagulación en este caso se produce porque la mayor acidez provoca que las micelas de caseína se desmineralizan, pierden su estructura y a pH 4.6 (punto isoelectrico de las caseínas), las caseínas, dispersas y desmineralizadas se agrupan (precipitan, se hacen insolubles), formando una red de disposición laminar. El retículo formado encierra en sus mallas la totalidad de la fase acuosa. Los enlaces intermoleculares que forman el retículo tienen naturaleza hidrofóbica y electrostática.

La cuajada ácida es muy frágil, poco elástica, granulosa, no tendrá rigidez ni compacidad y será friable, poco contráctil, y por todo ello debe ser tratada con cuidado para evitar se disperse en partículas muy pequeñas que provoquen grandes pérdidas en el desuerado, lo más conveniente es una acción mecánica suave y un ligero calentamiento hasta formar gránulos consistentes (Keating 1992).

### **Coagulación mixta**

La coagulación mixta es debido a la acción de la enzima proteolítica (cuajo), pero en presencia de una determinada acidez (siempre mayor de la normal). La incidencia de un tipo de coagulación u otro (cantidad de enzima/cantidad de ácido) será lo que de al coágulo y posteriormente al queso, las determinadas características, que pertenecerán a las del gel enzimático o a las del gel ácido en tanto en cuanto predomina más uno u otro (Chamorro 2002).

## **1.3 DESUERADO**

La operación de desuerado del queso consiste en la eliminación del lactosuero de la cuajada. Existen varias metodologías para llevar a cabo la operación de desuerado, donde la aplicación de alguna de ellas depende del tipo de queso elaborado y el nivel de industrialización de la planta.

### **Desuerado rápido**

Este tipo de desuerado se basa en la aplicación de la centrifugación, a la cuajada en donde por el efecto de centrifugación, la fase ligera constituida por el lactosuero se dirige impulsada por la fuerza centrífuga hacia el eje del recipiente y después es impulsada hacia el exterior por una turbina. La pasta (cuajada) fase pesada, es eyectada y homogeneizada por unos conductos situados alrededor del recipiente y después colectada por un dispositivo que rodea al recipiente.

Este tipo de desuerado solo es adecuado para algunos tipos de quesos frescos y para quesos tipo Quark, es limitado debido a que en la gran mayoría de quesos el proceso de desuerado impacta directamente en la calidad del queso, y se requiere cierto porcentaje de eliminación del lactosuero, en cierto tiempo, y ciertas condiciones generadas por el corte de la cuajada (Luquet 1999).

### **Desuerado lento**

El desuerado lento es el que se realiza de forma clásica o tradicional, consiste en la eliminación del lactosuero por difusión de este, a través de cortes en la cuajada. El estilo y forma del corte de la cuajada es un paso primordial en la elaboración del queso debido a que esto impacta directamente en la humedad final del queso y su maduración. En los quesos obtenidos por cuajado ácido, que utilizan el desuerado lento se requiere en muchas ocasiones la ayuda de telas y otros utensilios para favorecer la salida del lactosuero (Scott 1999).

### **Permeado**

Esta es una operación que se genera tras la aparición de los sistemas de ultrafiltración, microfiltración y osmosis inversa, las cuales ya se aplican para muchos productos en la industria lechera, estas operaciones consisten en utilizar membranas en las cuales se realiza una concentración de la leche hasta del 30 al 50% de sólidos totales.

Las técnicas de filtrado tienen la propiedad de dar un mayor rendimiento del queso, ya que se puede realizar una ultrafiltración parcial de la leche y después producir el queso, el cual alcanza mayores rendimientos debido a que al estar concentrada la leche se retiene una mayor cantidad de caseína en el cuajado, también porque la cantidad de lactosuero que se elimina es menor, con ello las pérdidas de caseína en el lactosuero se reducen fuertemente, además de que se logran incorporar algunas de las proteínas hidrosolubles del lactosuero (Renner 1999).

## 1.4 TIPOS DE LACTOSUERO

Dependiendo de la forma en que se procese el queso es el tipo de lactosuero que se obtiene. Existe una clasificación para el lactosuero basada en su forma de obtención.

### Clasificación del lactosuero por su forma de obtención

**Lactosuero Dulce:** Suero que se obtiene por coagulación enzimática de la leche sin que haya sufrido una acidificación. Este tiene la característica de tener un gran contenido de lactosa, un bajo contenido de calcio y un pH de aproximadamente 6.5.

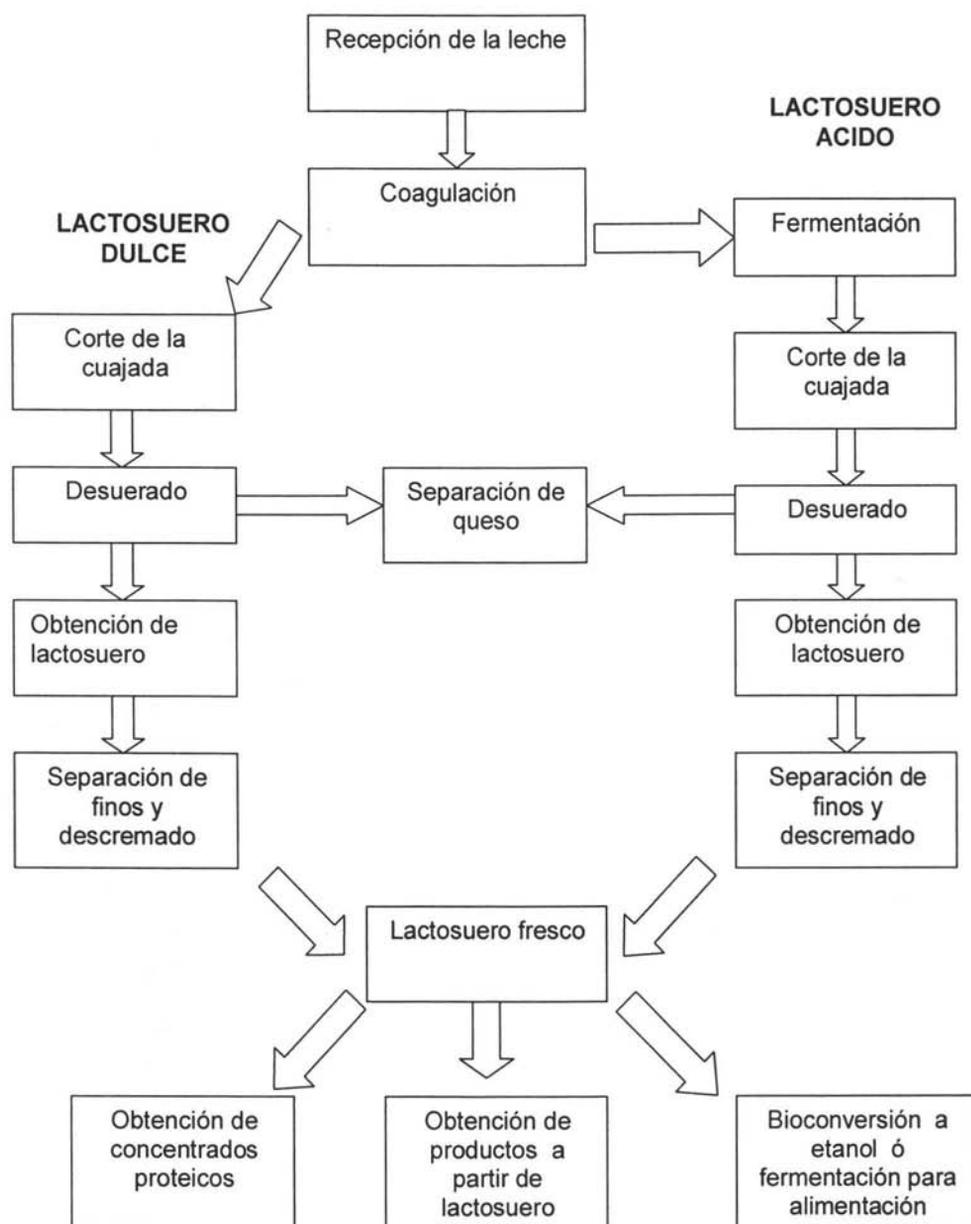
**Lactosuero ácido.** Este se obtiene de quesos en los cuales se involucra un proceso de acidificación por fermentación de la leche, como es el queso tipo Cottage, Quark, Oaxaca. Este tipo de suero presenta la mayoría de sus proteínas sin desnaturalizar, pero la lactosa ya ha sido degradada hasta en un 90-95% en ácido láctico, esto implica que este tipo de lactosuero también contiene un mayor contenido de calcio que el suero dulce además, de que su pH es cercano a 4.6.

**Tabla 1.1 Composición del lactosuero fresco (%).**

Componente	Suero dulce	Suero ácido
Agua	93-94	94-95
Extracto seco	6-7	5-6
Lactosa	4.5-5	3.8-4.2%
Ácido Láctico	Trazas	0.8%
Proteínas	0.8- 1.0	0.8-1.0
Ácido Cítrico	0.15	0.10
Sales minerales	0.05	0.4
Valor de pH	6.5	4.6

El contenido de ácido cítrico disminuye durante el proceso de fermentación debido a su oxidación (Chamorro 2002).

## Diagrama de obtención de lactosuero



Fuente (CEDELE 2004)

## CAPITULO 2

### CALIDAD NUTRIMENTAL DEL LACTOSUERO

#### 2.1 PROTEINAS DEL LACTOSUERO

La leche contiene 30-35g/Litro de proteína total de alta calidad nutricia, existen seis productos genéticos de la glándula mamaria de carácter mayoritario;  $\alpha_{s1}$ -caseínas,  $\alpha_{s2}$ -caseínas,  $\beta$ -caseínas,  $\kappa$ -caseínas,  $\beta$ -lactoglobulinas y  $\alpha$ -lactoalbuminas, estas proteínas se clasifican en caseínas y proteínas del suero. Todas las caseínas forman un complejo esférico singular altamente hidratado, conteniendo fosfato calcico, denominado micela de caseína. Debido a las características anormales de las caseínas y del complejo micelar, las proteínas de la leche pueden separarse fácilmente en las fracciones; caseína y proteínas del suero. Históricamente, esta separación se realiza mediante la precipitación ácida, o la coagulación con cuajo, esto ha constituido la base de muchos productos lácteos, como el queso, productos de lactosuero e ingredientes alimentarios (Fennema 2000).

Tabla 2.1 Contenido de aminoácidos esenciales de proteínas del lactosuero

Aminoácidos	Contenido en g de aminoácido por 100g de proteína			
	Seroalbumina	$\beta$ -Lactoglobulina	$\alpha$ -Lactoalbumina	Globulinas
Triptofano	0.7	2.2	6.6	3.0
Fenilalanina	6.5	3.5	4.4	4.2
Leucina	12.1	15.3	11.6	10.2
Isoleucina	2.7	6.7	6.8	3.8
Treonina	5.7	5.4	5.5	9.9
Metionina	0.8	3.1	1.0	1.3
Lisina	12.6	11.7	11.4	6.5
Valina	5.8	5.9	4.8	9.6

Fuente (Renner1999)

## 2.2 VALOR NUTRIMENTAL DE PROTEÍNAS DEL LACTOSUERO

Las proteínas del lactosuero son de una gran calidad y disponibilidad natural, el alto valor nutricional, esta basado en su alta concentración de aminoácidos esenciales, comparándose al de las caseínas. Las proteínas del suero tienen un alto contenido de triptofano, leucina, isoleucina, treonina y lisina al igual que la caseína. Las proteínas del lactosuero tienen cerca de 2.5g de cistina y 2.8g de cisteína por 100g de proteína.

**Tabla 2.2 Concentraciones de las proteínas más abundantes de la leche**

Proteína	Concentración en leche entera (g/litro)	Porcentaje aproximado de la proteína total
<i>Caseína</i>	24-28	80
$\alpha_{s2}$ -caseínas	15-19	42
$\alpha_{s2}$ -caseínas	12-15	34
$\alpha_{s2}$ -caseínas	3-4	8
$\beta$ -caseínas	9-11	25
$\kappa$ -caseínas	3-4	9
$\gamma$ -caseínas	1-2	4
<i>Proteínas del suero</i>	5-7	20
$\beta$ -lactoglobulinas	2-4	9
$\alpha$ -lactoalbumina	1-1.5	4
Proteosa-peptonas	0.6-1.8	4
Albúmina del suero	0.1-0.4	1
Inmunoglobulinas	0.6-1.0	2

Fuente (Fennema 2000).

**Tabla 2.3 Carta de comparación de calidad de la proteína.**

Tipo de proteína	Digestibilidad de la proteína corregida con la cuenta de aminoácidos (PDCAAS)	Cuenta de aminoácidos	Relación de Eficiencia de la Proteína (PER)	Valor Biológico	% Digestibilidad de la proteína (PD)
Proteína del lactosuero	1.00	1.14	3.2	100	99
Huevo entero	1.00	1.21	3.8	88-100	98
Caseína	1.00	1.00	2.5	80	99
Concentrado de proteína de soya	1.00	0.99	2.2	74	95
Proteína de res	0.92	0.94	2.9	80	98
Gluten de trigo	0.25	0.47	*NA	54	91

Fuente: Reporte colectivo de la FAO año 2000. \*NA indica no analizado.

## 2.3 VITAMINAS PRESENTES EN EL LACTOSUERO

El lactosuero posee una gran cantidad de vitaminas aunque estas varían dependiendo del método de desuerado, grado de descremado y el tipo de coagulación utilizada, para la elaboración del queso. Siendo importante el contenido vitamínico, por la presencia del complejo B (B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>6</sub>, etc) y el ácido ascórbico (vitamina C).

**Tabla 2.4 Contenido vitamínico en suero de leche dulce**

Vitaminas	Concentración (µg/100mL de suero líquido)	Vitaminas	Concentración (µg/100mL de suero líquido)
Vitamina A	1-3*	Vitamina B <sub>6</sub>	20-35
Vitamina B <sub>1</sub>	40-47	Biotina	1.5-1.7
Vitamina B <sub>2</sub>	150-150	Vitamina PP	70-100
Vitamina B <sub>12</sub>	0.15-0.3	Ácido Pantoténico	350-360
Vitamina C	1.5-2		

Fuente: Madrid 1999 \*Si se elimina casi toda la grasa solo quedan trazas.

## 2.4 MINERALES PRESENTES EN EL LACTOSUERO

El contenido de minerales en el lactosuero es muy variable ya que depende del tipo de coagulación, y método de desuerado del queso, en un lactosuero ácido los niveles de calcio, son mas altos que en un lactosuero dulce, siendo hasta tres veces mayor en lactosuero ácido que en lactosuero dulce. Esto es debido a que al disminuir el pH el calcio se insolubiliza y se elimina en el lactosuero (Renner 1999).

## 2.5 HIDRATOS DE CARBONO (LACTOSA)

Los glucidos de la leche están compuestos esencialmente por lactosa y algunos otros azucares en pequeñas cantidades como la glucosa (0.1%) y la galactosa. La lactosa es el componente mas importante de los sólidos no grasos, la leche entera contiene alrededor de un 5%, la leche en polvo descremada contiene un 52% y el lactosuero en polvo un 70%.

La lactosa es un disacárido formado por  $\alpha$ -glucosa, y  $\beta$ -galactosa. Puede encontrarse en dos formas isomericas:  $\alpha$  o  $\beta$ . Este concepto de isomería es importante, ya que estas dos formas tienen propiedades muy diferentes de solubilidad, de cristalización y de rotación.

En la leche normal y el lactosuero, la lactosa esta en las dos formas, la relación de una y otra forma varia con la temperatura. A temperaturas inferiores a  $93.5^{\circ}\text{C}$ , la forma  $\beta$  es mas soluble que la forma  $\alpha$  y el equilibrio a  $0^{\circ}\text{C}$  es de  $1\alpha:1.65\beta$  y a  $25^{\circ}\text{C}$  es  $1\alpha:1\beta$  (Amiot 1998).

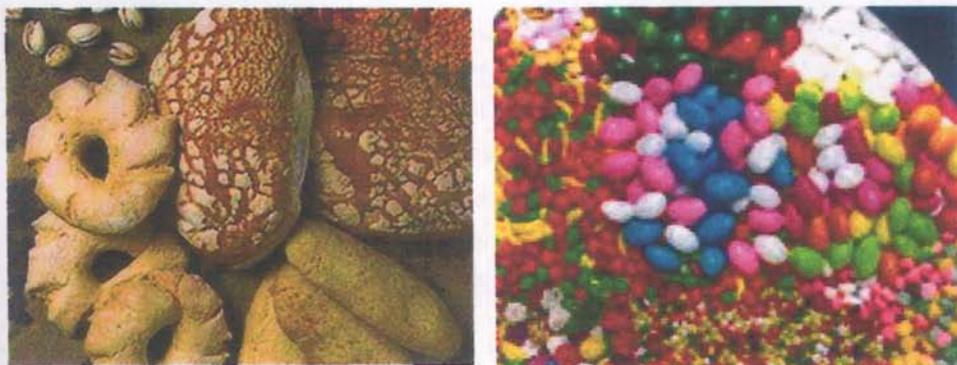
La lactosa tiene una solubilidad inicial a  $15^{\circ}\text{C}$ , de 7.5g/100mL de agua y calentando llega hasta 17g/100mL de agua. Esta solubilidad aumenta con la temperatura, razón por la cual al enfriarse una solución se puede cristalizar la lactosa y separarse.

El valor energético de la lactosa es de 4 Kilocalorías/gramo, pero desde el punto de vista nutricional lo más importante no es su valor energético, sino su valor de glucido estructural, debido a la molécula de galactosa que es constituyente de tejido nervioso, lo que la destaca como un glucido superior a otros.

La lactosa pasa prácticamente sin alteración por el intestino donde favorece una fermentación del tipo ácido, ayudando a una mejor utilización del calcio y del fósforo. También sirve para mantener a la flora intestinal. Aunque una ingestión abundante de lactosa provoca diarreas intestinales (Madrid1999).

En la industria alimentaria la lactosa tiene numerosas aplicaciones y funciones:

- Absorbe y realza sabores y colores de panes y dulces
- Contribuye al color y sabor mediante las reacciones de Maillard en la cocción
- Puede remplazar otros edulcorantes como aporte de sólidos, para un producto de bajo dulzor
- Preparación de diversos alimentos dietéticos
- Para dar estructura a productos como leches condensadas



**Figura 2.1 El color y sabor de panes y confites se realza con la lactosa. Fuente (Dairy Export Council [1] 2002).**

## Reacciones de Maillard con la lactosa

La reacción de Maillard ocurre en la mayoría de los alimentos por efecto del tratamiento térmico, se requiere la presencia de un azúcar reductor y de un extremo amino reactivo de un aminoácido o proteína. La reactividad de los aminoácidos varía, siendo el aminoácido lisina el del grupo amino más reactivo, aunque también pueden participar los grupos amino de la arginina, histidina y triptófano. En cuanto a los azúcares, la reactividad es mayor con las pentosas, seguido de las hexosas, y en el caso de los disacáridos se requiere tengan un grupo reactivo, o sufran una hidrólisis para separarse en monosacáridos reductores. La reacción de Maillard se produce en productos como; chocolate con leche, caramelos y dulces, en los que los azúcares reaccionan con grupos amino de las proteínas de la leche.

La lactosa participa en la reacción de Maillard al ser un disacárido reductor, la reacción inicia entre el grupo aldehído de la lactosa y el grupo  $\epsilon$ -amino de la lisina. Por otra parte si se hidroliza la lactosa se produce glucosa y galactosa ambos monosacáridos reductores, que también participan en la reacción de Maillard (Fennema 2000).

La reacción de Maillard se lleva a cabo mediante una manera muy compleja de mecanismos, que generan la producción de melanoidinas, (pigmentos de color oscuro). El mecanismo general de la reacción de Maillard se ha dividido en cuatro principales etapas; 1) Condensación del azúcar reductor con el grupo amino, 2) Reacción de los productos de transposición, 3) Reacción de los productos de transposición, 4) Polimerización y formación de sustancias coloreadas.

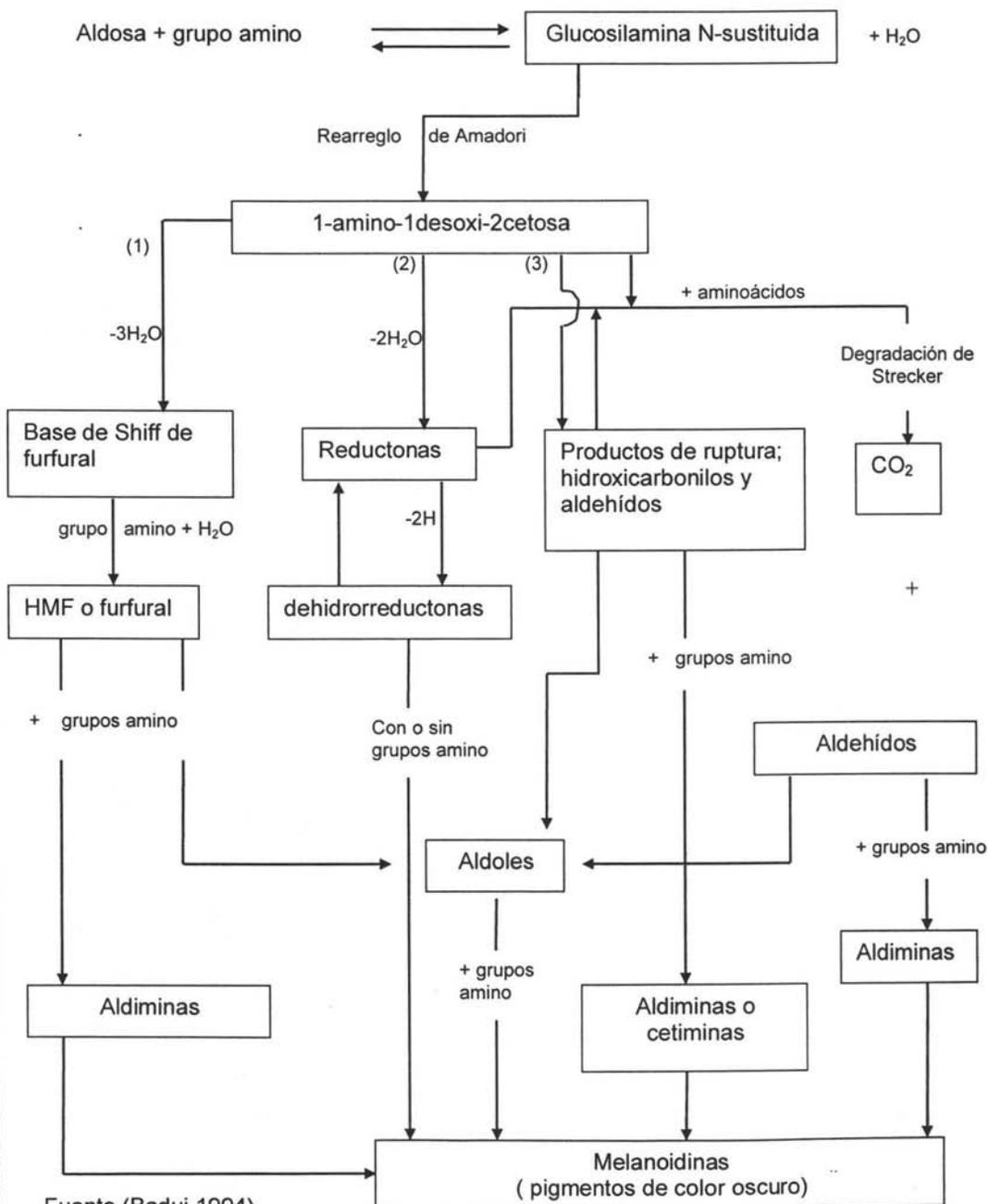
**1) Condensación del azúcar reductor con el grupo amino:** Este inicio consiste en que el carbonilo libre del azúcar reductor se condensa con el grupo amino libre de un aminoácido o proteína, formando así la base de Schiff correspondiente, a su vez la base de Schiff, se cicla y genera una glucosilamina.

**2) Transposición de los productos de condensación:** las glucosilaminas son inestables y se isomerizan, si proviene de una cetosa se van por el mecanismo de Amadori y si provienen de una aldosa se van por el mecanismo de Heyns.

**3) Reacción de los productos de transposición:** De acuerdo al pH, actividad acuosa y la temperatura, los compuestos formados pueden sufrir modificaciones muy profundas, las principales reacciones son deshidrataciones de azúcares por isomerización enólica, con lo cual se sintetiza furfural y sus derivados, además de sintetizarse maltol, etil maltol y acetil furano, que son los que producen el aroma del pan. También se presentan mecanismos de fragmentación que producen compuestos que reaccionan con aminoácidos por la llamada degradación de Strecker, donde se produce dióxido de carbono, formaldehído y otras sustancias carbonílicas.

**4) Polimerización y formación de las sustancias coloreadas:** La fase final de la reacción es la polimerización de un gran número de compuestos insaturados que trae consigo, la síntesis de sustancias coloreadas llamadas melanoidinas (Badui 1994).

**Reacciones de oscurecimiento de Maillard. (1) Medio ácido, (2) Medio alcalino y (3) Altas temperaturas.**



Fuente (Badui 1994)

## **CAPITULO 3**

### **PROTEINAS DEL LACTOSUERO**

Las proteínas del lactosuero forman una fracción compleja, son las sustancias no dializables contenidas en el lactosuero isoelectrico (obtenido tras la precipitación de la caseína a pH 4.7) y en el lactosuero de la cuajada". (Aunque este contiene también caseinoglicopeptido). Si se exceptúa una parte de las glicoproteínas, las proteínas del lactosuero precipitan en su casi totalidad con el ácido tricloroacético al 12%. Estas proteínas representan un 17 % de las materias nitrogenadas de la leche de vaca (Alais 1992).

#### **3.1 $\alpha$ -LACTOALBUMINA**

Desde el punto de vista químico, la  $\alpha$ -lactoalbumina es similar a la lisozima, pero no tiene efecto bactericida. Su función biológica es la de participar, como coenzima, en la síntesis de la lactosa. Esta proteína es una molécula plegada de forma muy compacta y más o menos esférica, ligeramente dependiente de pH y NaCl, no se asocia excepto cuando la fuerza iónica del medio es muy baja.

#### **3.2 $\beta$ - LACTOGLOBULINA**

Es una proteína muy hidrofóbica, igual que la caseína, pero no contiene esteres fosfato y solo una pequeña cantidad de prolina. Contiene solamente dos puentes -S-S- y un grupo sulfhídrico libre, que es muy reactivo. Su solubilidad es muy dependiente del pH y de la fuerza iónica, pero no precipita por acidificación de la leche. La  $\beta$ -lactoglobulina no es soluble en agua pura. En la leche se encuentra en forma de dimeros, ambas moléculas del dimeros están fuertemente unidas entre si, sobre todo mediante interacciones hidrofóbicas. El dimeros se

disocia a alta temperatura. En condiciones de pH más bajo, la  $\beta$ -lactoglobulina se asocia para formar un octamero (Walstra1999).

### **3.3 INMUNOGLOBULINAS**

Las inmunoglobulinas son anticuerpos que se sintetizan como respuesta al estímulo de antígenos específicos que se forman en la sangre. Las inmunoglobulinas son grandes moléculas proteínicas de composición heterogénea, incluso dentro de una misma subclase. La leche contiene varios tipos de inmunoglobulinas, como las G (gammaglobulinas), A y M (macroglobulinas). Cada molécula de IgG es un polímero constituido por dos cadenas pesadas (H) y dos cadenas ligeras(L). Las inmunoglobulinas pueden actuar frente a muchos antígenos e inhibir el crecimiento bacteriano. La IgM es un pentámero, puede actuar como antígeno ante polisacáridos que se encuentran en la pared celular de las bacterias.

### **3.4 PROTEOSA PEPTONA**

Se define como proteosa-peptona a la fracción no sensible al calor, no precipitable a pH 4.6 y que precipita con ácido tricloro acético al 12%. Esta fracción es bastante diferente del resto de las proteínas del lactosuero, esta compuesta fundamentalmente por tres productos de degradación de la caseína  $\beta$ . También incluye una glicoproteína que esta relacionada con un componente de la membrana del glóbulo graso y probablemente cantidades traza de otras proteínas.

### **3.5 LISOZIMA**

Es una enzima que hidroliza los polisacáridos de la pared de las células bacterianas (separando el ácido clorhídrico) y causa una disolución parcial de la

pared celular de las bacterias, lo que produce su lisis. Su concentración en la leche bovina (0.2mg/L) es normalmente demasiado baja como para ser efectiva.

### **3.6 SERO ALBUMINA BOVINA (BSA)**

La sero albúmina representa el 5% de las proteínas del lactosuero. Es exactamente igual que la albúmina del suero sanguíneo. Su punto isoelectrico es de 4.7. Es especialmente rica en lisina y cisteina. Es muy soluble en agua y se puede cristalizar a partir de una solución concentrada de sulfato de amonio.

### **3.7 LACTOFERRINA**

Es un inhibidor de algunas bacterias incluyendo *Bacillus stearothermophilus* y *Bacillus subtilis*. La inhibición se debe a la eliminación de los iones de hierro del lactosuero. La concentración de lactoferrina en la leche de vaca es baja (Walstra1999).

### **3.8 PROTEÍNAS MINORITARIAS**

Hay otras proteínas que se encuentran en pequeñas cantidades. Como las proteínas de la superficie de los glóbulos grasos que están constituidas por euglobina, fosfatasa alcalina y xantin-oxidasa. Además se han aislado en la leche, una mucoproteína, una lipoproteína y algunas ferroproteinas como la transferrina (Amiot1998).

## **CAPITULO 4**

### **INDUSTRIALIZACION DEL LACTOSUERO**

El lactosuero contiene mas de la mitad de sólidos, presentes originalmente en la leche entera, incluyendo un 20% de la proteína (proteína del suero) y la mayoría de lactosa, mineral y vitaminas hidrosolubles (Renner 1999).

El lactosuero producido en la fabricación del queso tiene un contenido apreciable en lactosa (4.2 a 4.7%), una humedad del 93 a 94% y un elevado numero de microorganismos que pueden originar fermentaciones rápidas, e indeseables (Madrid 1999).

#### **4.1 TRATAMIENTOS PREVIOS DEL LACTOSUERO ANTES DEL PROCESO**

Dependiendo del proceso de industrialización y el tiempo transcurrido desde el desuerado del queso, hasta el procesado, es necesario realizar tratamientos previos al lactosuero. Estos consisten en la separación de finos (partículas de caseína), descremado del lactosuero y si es necesario una pasteurización para evitar deterioro antes de procesarlo.

El proceso consiste en bombear el lactosuero por hidrociclones donde se separan los finos o partículas de caseína. Seguido se centrifuga para separar la grasa y partículas de caseína que aun pudieran quedar. Posteriormente se envía el lactosuero aun pasteurizador/enfriador de placas y de ahí al tanque de almacenamiento a 4<sup>0</sup>C.

La separación de finos se debe realizar inmediatamente con el objeto de evitar deterioro, debido a que si estos tardan en separarse adquieren un color y una acidez que los hacen inútiles para incorporar a los quesos, que lleven algún tipo de maduración. En la mayoría de fábricas industrializadas estos se regresan al proceso de fabricación del queso aumentando así el rendimiento.

### Etapas en el tratamiento del lactosuero liquido para su conservación adecuada y procesamiento

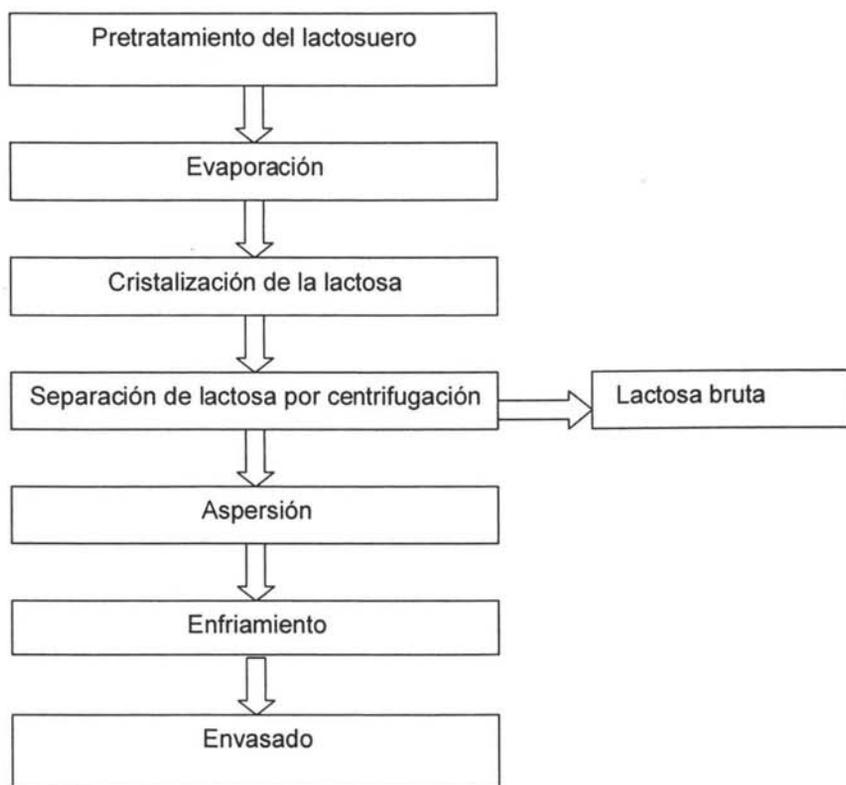


Fuente (Madrid 1999)

## 4.2 SECADO DEL LACTOSUERO

El lactosuero de quesería puede ser aprovechado de múltiples formas. La tecnología más sencilla tal vez sea su evaporación seguida de secado en torre de atomización y el envasado final.

### Diagrama de proceso



Fuente (Madrid1999)

## **Evaporación**

Para esta operación se utiliza un evaporador de capa descendente de 3 a 6 efectos, se procede a la concentración hasta alcanzar un nivel de sólidos totales del orden del 50 al 60%. Los evaporadores de varios efectos ofrecen un consumo de vapor bajo que se puede reducir aun más con el uso de un termo-compresor.

Para lograr alcanzar la evaporación de la cantidad de agua deseada del lactosuero, se recomienda que el evaporador este al vacío para obtener un mejor producto y reducir tiempos de proceso. Existen varios tipos de evaporadores con diferentes tecnologías e ingenierías, para el producto que se desee obtener y del capital que cuente la planta.

Una de las características mas importantes es el numero de efectos que se tiene para el proceso, es decir las veces que puede ser recirculado el vapor utilizado inicialmente, para tener un buen ahorro de energía, esta característica va ligada al costo del mismo evaporador y al riesgo en cuanto a presión acumulada en el equipo.

Al finalizar el proceso de evaporación, se obtiene un líquido concentrado con un porcentaje de materia seca del 50 al 60%, el cual tiene la consistencia de un jarabe espeso, que fluye a la temperatura del evaporador.

## **Cristalización de la lactosa**

El producto obtenido se enfría y se agita lentamente en cristalizadores. La cristalización de la lactosa se produce al disminuir la temperatura, debido a que la solubilidad de esta disminuye. Los cristales son separados en dos etapas sucesivas en centrifugas de eje horizontal descargando lactosa bruta con un 90% de materia seca.

Estos cristales obtenidos pueden destinarse al secador y obtener un polvo enriquecido en lactosa con impurezas de proteínas y minerales. O bien se puede realizar un segundo camino, que es el refinado de la lactosa el cual se lleva disolviendo la mezcla en agua caliente hasta 50 a 60% de materia sólida, posteriormente pasa por un intercambiador de placas donde alcanza una temperatura de 105<sup>0</sup>C, seguido se filtra con carbón activado y tierras filtrantes, finalizado, esto se vuelve a someter a las centrifugas y a un cristizador donde se enfría la solución y cristaliza nuevamente obteniéndose cristales de lactosa refinada (Madrid1999).

### **Secado por atomización**

En este se hace pasar aire calentado ha 185<sup>0</sup>C, evaporando la humedad del lactosuero, que se dispersa en la torre por una turbina. La mayoría del agua se evapora por difusión instantánea a través de las partículas. Ello produce un enfriamiento de las mismas y un calentamiento del aire muy rápidos. El grado de humedad final de producto se fija en un 5% para grado alimenticio. La temperatura alcanzada por el producto a la salida es de 92 a 93<sup>0</sup>C.

Una vez enfriado el lactosuero en polvo se empaca en sacos con pared plástica y bolsa de cartón, en los cuales se protege de la humedad y se garantiza su inocuidad.

### **Otros tipos de secado**

Para secar el lactosuero pueden utilizarse otros métodos como es el secado por tambor y por placas, pero estas técnicas han quedado cada vez más en desuso, debido a la calidad del producto obtenido y la variación en el mismo producto (Madrid 1999).

### 4.3 FILTRACION POR MEMBRANAS

La industria de lácteos es pionera en el desarrollo de los equipos y técnicas de ultrafiltración. Esta técnica puede utilizarse en la industria quesera, para fraccionar las proteínas provenientes del lactosuero. La aplicación de la ultrafiltración en la industria de lácteos inicia con la separación y concentración de las proteínas del lactosuero en el año de 1972, ya que el lactosuero contiene la mitad de sólidos originales de la leche entera, que incluyen las proteínas (20 % del total de proteína) además de la lactosa, minerales y vitaminas solubles (Atra 2004).

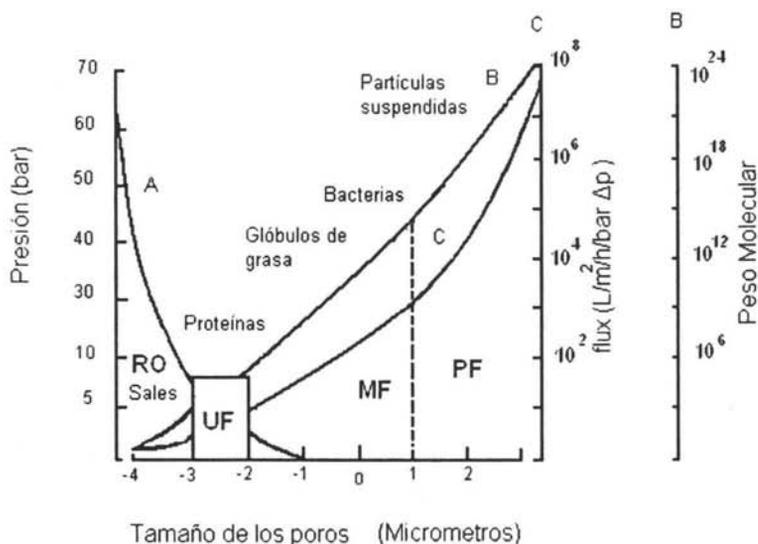
La filtración cobra importancia comercial puesto que la desnaturalización de las proteínas del lactosuero ocurre rápidamente a temperaturas superiores a 70°C, los tratamientos térmicos comerciales normales desnaturalizan al menos una porción de dichas proteínas. Las inmunoglobulinas son las proteínas del lactosuero menos estables al calor, siendo en orden creciente de mayor estabilidad de la sero albúmina bovina,  $\beta$ -lactoglobulina y  $\alpha$ -lactalbuminas.

Las proteínas del lactosuero desnaturalizadas son considerablemente menos solubles y más sensibles a los iones calcio que sus correspondientes proteínas nativas principalmente la  $\beta$ -lactoglobulina. Si las proteínas del lactosuero no han sido desnaturalizadas por el calor son bastante solubles a pH ácido, característica que facilita su incorporación a las bebidas carbonatadas (Fennema 2000).

Para la ultrafiltración es recomendable que se haga de forma rápida después de elaborado el queso ya que los tratamientos térmicos dados al lactosuero desnaturalizan parte de las proteínas y con ellos se pierde capacidad emulsionante, así como también el pH debe ajustarse a un pH 7, lo cual también evita una mayor desnaturalización de las proteínas (Fachin 2005).

Los procesos de filtración son normalmente clasificados de acuerdo al tamaño molecular medio de los componentes retenidos por el filtro. La filtración por membranas esta subdividida en cuatro clases de acuerdo al tamaño del peso molecular de los solutos retenidos. Aunque en ocasiones los limites del tamaño del peso molecular entre las cuatro clases suelen traslaparse, según el proceso de separación efectuado (Renner 1999).

**Figura 4.1 Espectro de los procesos de filtración.**



RO = Osmosis inversa, UF = Ultrafiltración, MF = Microfiltración, PF = Filtración de partículas. La Nanofiltración (NF) se encuentra traslapada entre la ultrafiltración y la osmosis inversa. En base a la partícula que se desea retener es la selección del proceso de filtración, por lo que para la separación de la proteínas del lactosuero el proceso de ultrafiltración es el mas adecuado y utilizado (Renner 1999).

**Tabla 4.1 Diámetros relativos de las partículas de la leche.**

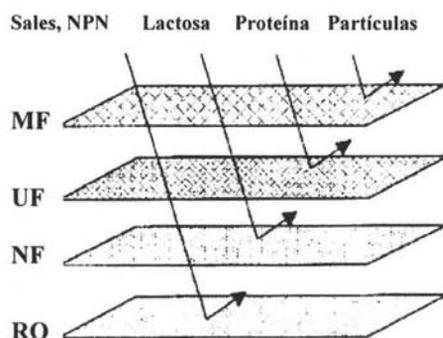
Componente	Tamaño ( $\mu\text{m}$ )
Proteínas	0.001-0.02
Micelas de caseína	0.300-0.032
Bacterias	15.000-0.200
Glóbulos de grasa	6.000-0.2000
Células somáticas	15.000-6.000

Fuente: (Saboya 2000).

**Por lo tanto las 4 clases de filtración de membranas son**

1. Microfiltración: Esta separa partículas y materiales suspendidos de un tamaño del orden de 0.1-10 $\mu\text{m}$ . Por consiguiente, este tiene el efecto de separación de bacterias y glóbulos de grasa de la leche.
2. Ultrafiltración: separa materiales coloidales en el orden de 10<sup>3</sup> a 10<sup>6</sup>Daltons (tamaños moleculares de 0.001-0.02 $\mu\text{m}$ ). Retiene una gran cantidad de macromoléculas como las proteínas.
3. Nanofiltración separa materiales coloidales en el orden de 10<sup>5</sup> a 0.05 Daltons de moléculas pequeñas. Retiene una gran cantidad de moléculas como azúcares y péptidos.
4. Osmosis inversa. Moléculas pequeñas y iones (pesos moleculares menores de 1000daltons, tamaños moleculares menores que 0.001 $\mu\text{m}$ ) pueden separarse de solventes por este proceso (Renner 1999 y Atra Ramadan 2004).

**Figura 4.2 Ilustración de filtración con membranas.**



(MF) Microfiltración, (UF) Ultrafiltración, (NF) Nanofiltración, (RO) Osmosis inversa. En la ilustración se muestra el paso de partículas y el proceso de filtración en el cual son retenidas (Saboya 2004).

Son varias las diferencias entre las diferentes clases de membranas de filtración, en cuanto a proceso como; son la presión usada, velocidad del permeado y el mecanismo de separación. Pero lo más importante es el producto final que se desea obtener, por ello se debe hacer una adecuada selección y diseño del proceso.

En la industria de lácteos el proceso más utilizado es la ultrafiltración por que el componente que se retiene prioritariamente son las proteínas, y caen en este proceso. El proceso de nanofiltración puede utilizarse para separar la lactosa, aunque suele utilizarse poco, debido a que se prefiere separar la lactosa por cristalización, ya que los costos son menores (Ver capítulo 9.2). Cada proceso de filtración requiere condiciones especiales (Renner 1999). A continuación en la tabla 4.2 se presentan las diferencias en los procesos de filtración.

**Tabla 4.2 Diferencias entre microfiltración, ultrafiltración y osmosis inversa.**

Parámetro	Microfiltración	Ultrafiltración	Osmosis inversa
Tamaño de los solutos retenidos (Daltons)	Arriba de $10^5$ (0.01-10 $\mu$ m)	$10^3$ - $10^6$ (0.001-0.02 $\mu$ m)	Menores a 1000 (menores que 0.001 $\mu$ m)
Importancia de la presión osmótica de la solución de alimentación	Sin importancia	Sin importancia	La alta retención de sales puede aumentar la presión hasta 70 bar
Presión de operación (bar)	<3	1-15	>20
Mecanismo de retención de membrana	Tamizado molecular	Tamizado molecular	Difusión y posibles tamizado molecular
Flux típicos (litros/m <sup>2</sup> h)	Arriba de 300	30-300	3-30
Naturaleza química de la membrana	Sin importancia, no afecta las propiedades de transporte	Sin importancia, no afecta las propiedades de transporte	Importante por que afecta las propiedades de transporte.

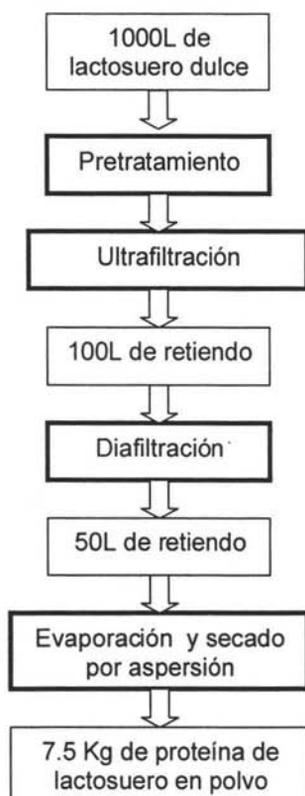
Fuente (Renner 1999)

En el caso de la osmosis inversa la naturaleza química de la membrana es relevante debido a que se hacen presentes interacciones no covalentes entre las moléculas del filtrado y la membrana, lo que puede ocasionar que el proceso se vuelva complicado y de bajo rendimiento. La microfiltración no es utilizada en lácteos debido a que retiene partículas muy grandes, como los glóbulos de grasa y bacterias, siendo que la grasa se prefiere separar por centrifugadoras (descremadoras) y las bacterias se eliminan por el proceso de pasteurización.

#### 4.4 ULTRAFILTRACION

De las cuatro clasificaciones de membranas la ultrafiltración es la más usada en la industria láctea, ya que esta se encuentra en la mejor condición para hacer la separación de proteínas y componentes coloidales de la leche o el lactosuero, por lo que los avances en la industria láctea se han dado principalmente en el proceso de ultrafiltración.

#### Diagrama de proceso de elaboración de WPC por ultrafiltración



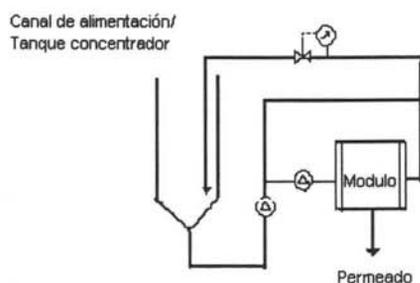
Fuente (Renner 1999)

En principio la ultrafiltración puede llevarse de tres diferentes formas de operación estas son; lote, semi-continuo y continuo o fase de recirculación. Las plantas industriales están basadas en la forma de fase de recirculación.

### Operación por Lotes

En esta operación el fluido es bombeado de un tanque a través del modulo de ultrafiltración, el retiendo es reciclado al tanque de alimentación, mientras que el permeado se elimina, teniendo en el tanque una mayor concentración cada vez, la operación se detiene cuando la concentración del tanque es la deseada.

**Figura 4.3 Esquema del sistema de ultrafiltración por lotes (Renner).**

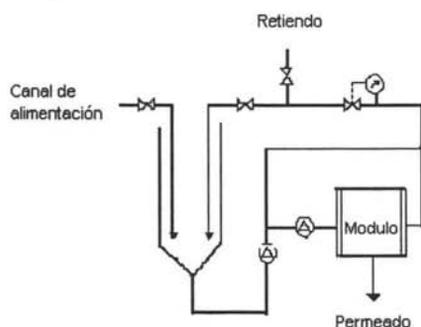


Las ventajas de este proceso son; simplicidad, y flexibilidad para otros procesos, con lo que es posible una planta de multipósitos en la que se puede utilizar el proceso para la ultrafiltración lactosuero, jugos de frutas, leche y otros productos que se deseen concentrar. Las desventajas son: largo tiempo de residencia del fluido en la planta, solo se obtiene el retiendo con la concentración requerida hasta el final de toda la operación, y el consumo de energía es alto debido a que el vapor es solamente utilizado una vez.

### Operación Semi-continua

El flujo de alimentación es bombeado desde el tanque al sistema de circulación por medio de la bomba de alimentación. La principal circulación se hace directamente a través del modulo y solo una pequeña parte es reciclada al tanque de alimentación. Un sensor controla la apertura y cerrado automático de las válvulas, además permite que una parte del retiendo, con la concentración deseada sea retirada periódicamente y remplazada por una correspondiente cantidad de fluido del canal de alimentación, proveniente desde el tanque de almacenaje.

**Figura 4.4** Esquema del sistema de ultrafiltración de la operación semi-continua (Renner 1999).

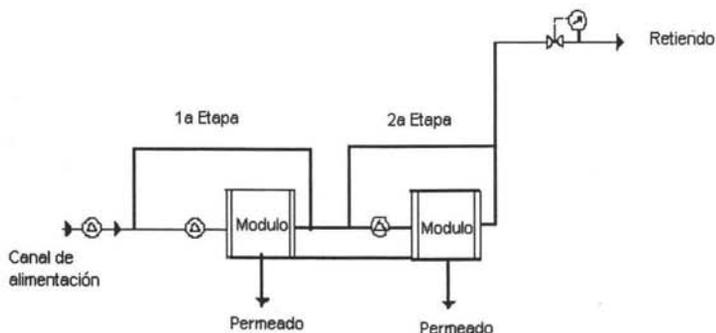


Las ventajas de este proceso son; excelente flexibilidad para adaptar a otros procesos, promedio corto de estadios del fluido en la planta de proceso, la salida del producto es mayor, el consumo de energía comparado con la operación en lotes es menor. Las desventajas son: se induce mas rápido el taponeo de la membrana que en el método por lotes, el retiendo no se obtiene continuamente, el flux es mas bajo comparado con la operación por lotes, se requiere una mayor área de membrana.

### Operación en continuo

En el modo continuo de operación el área total de la membrana de UF se divide por el número de etapas conectadas en serie y en una alimentación separada. Por lo tanto el canal de recirculación en la primera etapa se enriquece hasta cierta concentración. Ese mismo paso se repite en las etapas posteriores hasta llegar a la concentración del retiendo requerida. El diseño del sistema supera la desventaja de un flujo lento, cuando se logra alimentar a la vez que se obtiene el retiendo.

**Figura 4.5** Esquema del sistema de ultrafiltración de la operación continua o de recirculación, con dos etapas (Renner 1999).



Las ventajas de este proceso son; un estadio corto en el sistema de flujo, se obtiene el retiendo continuamente, se tiene una mejor utilización de la energía. Desventajas; el proceso no es flexible, la planta solo puede utilizarse para el proceso diseñado y el área total de membrana es muy grande y costosa. (Renner 1999).

De la industrialización del lactosuero resultan varios productos comerciales como son el SWP (lactosuero dulce en polvo), WPC (proteína concentrada de lactosuero), WPI (proteína aislada de lactosuero). Cada uno de ellos suelen tener variadas aplicaciones en alimentos E n la tabla 4.3 se muestran estas.

**Tabla 4.3 Presentaciones de los productos de lactosuero y su uso.**

<b>Producto de suero</b>	<b>Función principal y beneficios</b>	<b>Aplicaciones típicas</b>
SWP	Bajo costo, resalta el sabor y color durante la cocción y el horneado, facilita la mezcla en las bebidas y modera el sabor dulce.	Productos de panadería: pan de caja, galletas, bisquets, lácteos: helados y mezclas de bebidas, botanas y saborizantes postres
WPC 34%	Bajo costo, resalta el sabor y color durante la cocción y el horneado, facilita la mezcla en las bebidas y modera el sabor dulce.	Lácteos: bebidas, productos fermentados, yogurt, quesos suaves, helados, pudines. Panadería: bisquets, galletas. Botanas: sopas y productos nutricionales
WPC 80%	Fuente de proteína de alta calidad, buen emulsificante, liga grasa, con agua tiene propiedades espesantes	Lácteos: yogurt, pudines. mezclas secas, productos de carnes y pescados procesados, proteína para fortificación de bebidas y formulas infantiles
WPI	Aporte de proteína, prácticamente libre de lactosa.	Proteína fortificante y productos de nutrición, productos para deportistas y formulas de infantes
WPC desmineralizado	Alternativa al lactosuero dulce cuando se requiere un bajo contenido de sales.	Confitería y formulas infantiles

Fuente (Dairy Export Council [1] 2002)

## CAPITULO 5

### TECNICAS DE SEPARACION DE PROTEINAS DEL LACTOSUERO

#### 5.1 UTILIZACION DE MEMBRANAS Y CROMATOGRAFIA

Para este proceso se utilizan microfiltros que tienen propiedades de absorción, a diferencia de las filtraciones típicas y tamices. Este proceso se enfoca en el intercambio iónico y la afinidad por la membrana. Actualmente los métodos cromatograficos están desarrollados para procesos de la industria biofarmaceutica desde hace 25 años. Pero las nuevas oportunidades para purificar proteínas de importancia como la lactoferrina y la  $\beta$ -lactoglobulina de aplicación en alimentos lácteos hacen viables estos procesos.

**Tabla 5.1 Principales características de las proteínas: (MM) masa molecular, (rs) radio de alimentación, (pl) Punto isoelectrico y carga neta a pH 7**

Proteína	MM (K/mol)	rs(nm)	pl	Carga neta
$\beta$ -Lactoglobulina	36.6	2.7	5.1	-17.6(A), -15.6(B)
$\alpha$ -Lactoglobulina	14.2	1.8	4.2-4.58	-3.7
Sero albúmina bovina	66.2	3.6	4.7-4.9	-16.3
Inmunoglobulina G	153-163	Y-forma	5.5-7.0	-----

Fuente (Lucas1998)

Las membranas cromatograficas generalmente son poliméricas y a menudo de acetato de celulosa o difloruro de polivinildieno. Para la separación de proteínas del lactosuero, el material de los microporos de la membrana tiene grupos de intercambio iónico en el área interna de su superficie (Lucas 1998).

**Tabla 5.2 Características de las membranas: 1)Corte de membranas por peso molecular sin modificaciones (MWCO), 2)Permeabilidad de la membrana al agua a 20°C(Lp), 3) Resistencia hidráulica (Rm), 4) radio de los poros (Rp), 5) capacidad (grupos de intercambio iónico). Fuente (Lucas 1998)**

Membrana	MWCO	Lp	Rm	Rp	Capacidad (mol/m <sup>2</sup> )
M5	10	46	7.9	3.0	-
M2	15	82	5.2	3.5	-
M4	50	58	6.7	6.2	-
M1	150	56	7.0	10.0	-
M1-PEI	-	34	10.6	8.8	-
M1PEIC	-	35	10.3	8.9	0.063

Los poros están habilitados para clarificación de impurezas, y captura de los grupos de moléculas seleccionadas de proteína, a través del intercambio iónico y mediante su absorción. Como las moléculas fluyen al pasar por la pared de la membrana, los grupos de intercambio iónico son atrapados en el interior de esta.

La membrana se lava con un buffer y posteriormente con una solución salina de diferente pH para cambiar el punto isoelectrico de la proteína. La retención por la membrana de la  $\beta$ -lactoglobulina depende del pH y de la fuerza iónica por lo tanto la desorción del retiendo puede lograrse con el cambio de pH (Dairy Management [2] 2004).

### **Purificación por afinidad**

Hasta hace poco los métodos mas comunes de aislamiento de proteínas fueron la ultrafiltración no-especifica y el intercambio iónico, estos producen los ya mencionados, Concentrado de Proteína de Lactosuero (WPC) o el Aislado de Proteína de Lactosuero (WPI). Sin embargo estos procesos tienen limitaciones. Por inicio no seleccionan las formas nativas de las proteínas del lactosuero, un

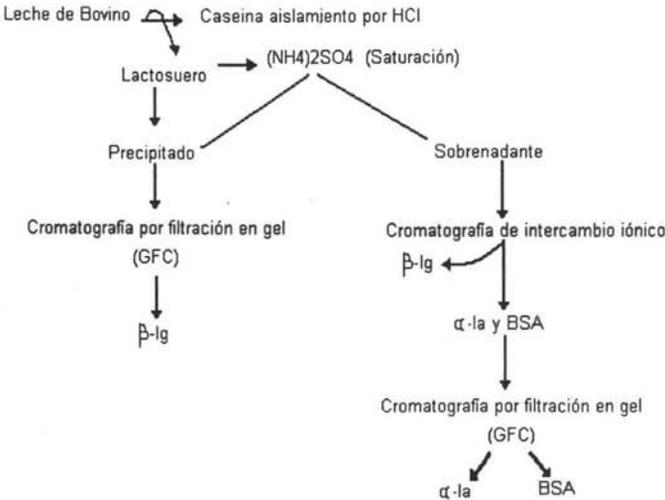
ejemplo de esto es la  $\beta$ -lactoglobulina. Esto tiene importancia por que las formas nativas de  $\beta$ -lactoglobulina enlazan nutrimentos lipofílicos como las vitaminas A, D, y K, por lo que esta proteína es particularmente deseable para la fortificación de productos lácteos fluidos, además de ser soluble en pH ácido.

Existen diversas técnicas para la purificación y/o fraccionamiento de proteínas de la leche en las que quedan incluidas las proteínas del lactosuero, una de ellas es la filtración por gel y por intercambio iónico (Dairy Mangement [2] 2004).

**Purificación de proteínas mayoritarias del lactosuero**

La purificación de proteínas mayoritarias se refiere especialmente a dos que son la  $\alpha$ -lactoalbumina y la  $\beta$ -lactoglobulina que representan cerca del 75% de las proteínas del lactosuero.

**Figura 5.1 Diagrama de purificación de proteínas por cromatografía; Sero albúmina bovina (BSA). $\alpha$ -Lactalbumina ( $\alpha$ -la), y  $\beta$ -Lactoglobulina ( $\beta$ -lg). Fuente (Neyestani 2003)**



En primer término se separa la caseína por precipitación ácida, alcanzando el punto isoeléctrico de esta, posteriormente se procede a una centrifugación a 16000rpm, por 45min a 4<sup>0</sup>C, al finalizar se retira el sobrenadante.

La grasa que se haya separado también se retira, el pH se disminuye en dos pasos hasta 5 y después a 4.5 utilizando HCl. En el primer paso se retira el sobrenadante (caseína), en el segundo paso se filtra en papel Whatman No.1 y para la precipitación de las globulinas se adiciona una solución saturada de sulfato de amonio al 50%. Las globulinas precipitan y se dializan con una solución de buffer de fosfatos 0.02M a un pH 8.6, cuando se alcance un pH de 6.5 se retiran la proteínas de la diálisis y se liofilizan para su posterior uso.

El sobrenadante resultante de la adición del sulfato de amonio, se hace pasar por una resina de intercambio iónico de dimetilaminoetil celulosa (DEAE-C), la cual se empaca en una columna corta (6cm de largo y 1cm de diámetro interno).

También se pasa una solución tris a 0.05M y pH 6.5, el sobrenadante que se encuentre se considera  $\beta$ -lactoglobulina que se separa de la muestra. Se utilizan como eluyentes NaCl a diferentes concentraciones (0.1 a 0.4M), cada concentración se eluye por un lapso de 10min. Finalmente la  $\alpha$ -lactoalbumina y la sero albúmina bovina, quedan retenidas en la columna de intercambio iónico y son retiradas con lavados de solución tris (Neyestani 2003).

### **Purificación de otras proteínas del lactosuero con bisulfito**

La separación de la lactoferrina y de la transferrina a partir de lactosuero es una oportunidad de interés comercial en el mercado de productos lácteos. La importancia del hierro en las funciones celulares humanas es grande ya que se relaciona con aspectos de inmunología y nutrición.

Investigaciones realizadas lograron aislar gangliosidos a partir de mantequilla fresca usando una combinación de ultrafiltración y extracción con solventes

orgánicos. Los gangliosidos aislados se inmovilizaron covalentemente en perlas de vidrio controlando sus poros, dando así una técnica novedosa de aislamiento de lactoferrina bovina y la transferrina bovina.

La separación se hace pasando el lactosuero por la matriz con los gangliosidos inmovilizados, posteriormente se lava con acetato de sodio y buffers de fosfato (a pH específicos). Las columnas de gangliosidos ofrecen una alta recuperación del 74% de transferrina y un mínimo de 40% de lactoferrina.

La afinidad cromatografica de los gangliosidos en el procedimiento provee un rápido y eficiente aislamiento de proteínas con varias ventajas sobre otros métodos. Este método permite la separación de lactoferrina y transferrina en el lactosuero fresco, concentrados de proteína de lactosuero (Dairy Management [2] 2004).

## 5.2 EXTRACCIÓN MICELAR INVERSA

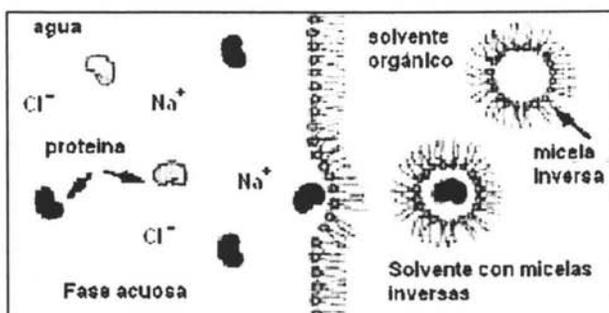
Otra técnica de aislamiento interesante es la inversión micelar con solventes, con ella es posible realizar extracciones de proteínas específicas. Se han logrado separar exitosamente la  $\beta$ -lactoglobulina,  $\alpha$ -lactoalbumina y la inmunoglobulina G, mediante el uso de la extracción micelar inversa (RM por sus siglas en inglés), la técnica se basa en gotas de tensoactivo con interacciones, carga-carga, efectos hidrofobicos y el tamaño de la proteína relativo a la gota.

Los métodos de inversión micelar ofrecen la potencialidad para extracciones en continuo de proteínas específicas, a partir de una mezcla acuosa, alcanzando de forma simultanea la concentración y purificación de proteínas específicas de una manera eficiente.

En la inversión micelar (RM), los solventes contienen pequeñas gotas de agua estabilizadas en el solvente orgánico por un tensoactivo. Porque las moléculas de

proteína a menudo tienden a moverse a una fase acuosa, en pequeñas gotas encapsuladas. Por lo que extracción micelar inversa es una técnica atractiva para la separación de proteínas a partir de soluciones acuosas.

**Figura 5.2 Esquema de formación y extracción micelar inversa**



Se muestra cómo se forma la micela inversa, y se captura a la proteína. La micela tiende a quedar prioritariamente en el medio orgánico, separando así a las proteínas del medio acuoso,

Una posible configuración que se puede implementar en la extracción micelar inversa consiste; 1) primero el lactosuero es mezclado con una solución orgánica con el tensoactivo, 2) posteriormente la transferencia de proteínas en las micelas inversas tiene lugar, la mezcla permite crear dos fases, y entonces la proteína contenida en la fase micelar se remueve.

Las proteínas son extraídas del solvente con las micelas inversas cambiando el pH y la concentración de sal en la fase acuosa. La extracción micelar inversa presenta la gran ventaja, de que las moléculas de proteína se extraen intactas. La desventaja es la necesidad de una gran cantidad de soluciones, lo cual hace a la técnica un tanto complicada. Esta metodología puede ofrecer una alta efectividad de procesos de separación en la industria láctea, farmacéutica e industrias de nutraceuticos. (Dairy Mangement [2] 2004).

## CAPITULO 6

### MODIFICACION DE PROTEINAS DEL LACTOSUERO

Las modificaciones que se realizan a las proteínas del lactosuero se deben a la demanda del mercado que requiere proteínas funcionales, con el fin de incrementar su disponibilidad para aplicaciones específicas. Las investigaciones han aumentado las posibles modificaciones de las proteínas del lactosuero con procesos físicos o químicos.

#### 6.1 EXTRUSIÓN DE PROTEÍNAS DE LACTOSUERO

Uno de los procesos es la texturización de la proteína del lactosuero (TWP), vía un proceso de cocción-extrusión. El sabor limpio del lactosuero, y el perfil nutricional deseable por el contenido de aminoácidos lo hace un ingrediente ideal para varios sistemas alimenticios.

La típica extrusión de proteína de lactosuero se realiza con tornillos dobles, a altas temperaturas y un duro manejo de la proteína al pasar por el extrusor. Ese proceso quema y desnaturaliza a la proteína del lactosuero, obteniendo al final un producto carente en textura y propiedades de absorción. Investigaciones recientes muestran otra faceta, donde con modificaciones al proceso de extrusión de acuerdo a la sensibilidad de la proteína, se disminuyen las temperaturas de cocción y una modificación significativa del tornillo, así como de la configuración de la paleta. es posible generar un proceso especial en el cual la cocción dada al final se limita a la expansión de los ingredientes al salir del extrusor, donde la elaboración involucra una alimentación del 80% de proteína de lactosuero concentrada, mezclada con diversas concentraciones de hidratos de carbono, que pasan a través del extrusor. El producto obtenido al final del proceso es similar a la harina de soya en propiedades (Dairy Management [2] 2004).

## 6.2 POLIMERIZACIÓN DE PROTEINAS

El espesado, la gelificación y la estabilidad al descongelado, son propiedades que normalmente se alcanzan con hidrocoloides, como la goma xantana y los carragenanos, estas propiedades también se obtienen con las proteínas del lactosuero.

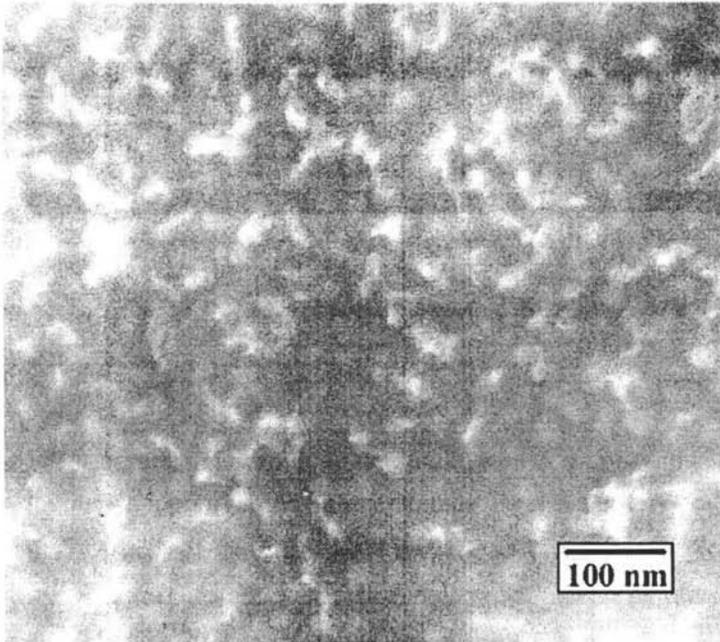
Investigaciones muestran que es posible obtener un polímero mediante un tratamiento suave de exposición al calor. El desarrollo del polímero de proteína de lactosuero depende del peso molecular, tamaño de las proteínas y otros componentes del lactosuero. Además a estas dispersiones, de lactosuero (con variaciones de proteína de entre 4 a 11%) se les dan diversas condiciones iónicas, y de pH. para la formación del polímero (Dairy Management [2] 2004).

El calentamiento induce reacciones entre las proteínas, que incluyen enlaces intermoleculares de puentes disulfuro y también reacciones sulfidilo/bisulfito. El puente de hidrógeno, las interacciones electrostáticas e hidrofobicas, son también una fuerza prioritaria para la agregación de las proteínas del lactosuero.

Las proteínas del lactosuero son labiles al calor y a temperaturas mayores de 60°C, durante un tratamiento térmico los cambios estructurales y la agregación de proteínas ocurren simultáneamente, dependiendo de las condiciones de pH; fuerza iónica, concentración de proteína y temperatura de calentamiento, se puede formar un precipitado, un gel, o una dispersión de polímeros solubles.

El tratamiento térmico de las proteínas del lactosuero a una baja fuerza iónica y a valores de pH lejanos del punto isoeléctrico (pH>6.5) induce la formación de polímeros solubles (Britenn 2001).

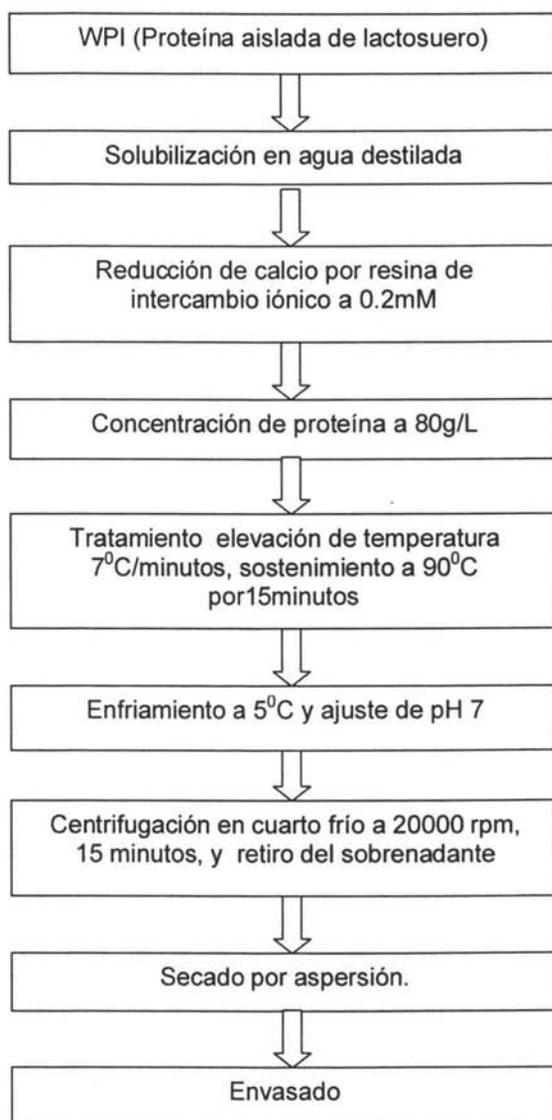
**Figura 6.1 Micrografía electrónica de polímeros de proteína soluble obtenidos después del proceso de polimerización. Fuente (Britenn 2001)**



El fuerte incremento de la viscosidad de diversos polímeros indica que el ajuste de los parámetros de concentración de proteína, pH, concentración de sal y el proceso térmico, pueden producir un amplio rango de polímeros de proteínas de lactosuero, similares a los hidrocoloides en funcionalidad, el producto final deseado dependerá de las propiedades reológicas y gelificantes que se deseen.

Las investigaciones con estos polímeros involucran también mezclas de combinaciones de preparados poliméricos con proteína del lactosuero normal, esto produce una mayor retención de agua, texturización y protección al descongelado (Dairy Management [2] 2004).

## Proceso de polimerización



Fuente (Britenn 2001)

### 6.3 MODIFICACIÓN DE PROTEINAS DEL LACTOSUERO CON ENZIMAS (HIDROLIZADOS)

El mejoramiento alcanzado en las propiedades de espumado y gelificado, de las fracciones proteínicas aisladas del lactosuero se obtiene realizando modificaciones a las proteínas, mediante su hidrólisis, para ello se utilizan biorreactores que contienen únicamente la enzima de hidrolítica para el proceso. Las enzimas utilizadas son genéticamente diseñadas para la absorción selectiva en un surfactante especial. Este proceso permite la purificación e inmovilización de una enzima escogida en un solo paso (Dairy Management [2] 2004).

Las proteínas nativas del lactosuero son fácilmente hidrolizadas por digestión con enzimas, como pepsina y tripsina. Para ello existen varios procesos para realizar la hidrólisis, uno consiste en tener a las enzimas hidrolíticas inmovilizadas, y el otro en hacer una previa modificación a las proteínas del lactosuero con bisulfito, en la cual se agregan grupos sulfato, lo que favorece la posterior digestión con las enzimas hidrolíticas, como la pepsina y tripsina sin requerir inmovilizarlas. Esto se debe a que los grupos sulfatos generados en las proteínas del lactosuero son lábiles a pH 4, debido a que se oxidan con el pH bajo, dejando las proteínas del lactosuero lábiles a la hidrólisis, por lo que la digestión se realiza en un lapso de tiempo mas corto, que haciendo la hidrólisis solamente con las enzimas inmovilizadas (Kananen 2000).

Los procesos de tratamientos enzimáticos en los que se tiene la separación de péptidos grandes resultan en un mejoramiento en las características de emulsificación, espumado y gelificación comparando con un WPI sin el tratamiento. En primer lugar, se controla el overrum del espumado que alcanza un grado de hidrólisis de proteína durante el proceso del mismo espumado (Dairy Management [2] 2004).

## CAPITULO 7

### FUNCIONALIDAD DE LAS PROTEINAS DEL LACTOSUERO

Las proteínas del lactosuero, se están utilizando como ingrediente de un número cada vez mayor de alimentos formulados. Las ventajas como ingredientes en alimentos residen en sus excelentes características nutricias y en su capacidad para impartir a los productos finales propiedades funcionales esenciales y únicas (Fennema 2000).

**Tabla 7.1 Aplicaciones funcionales de las proteínas del lactosuero**

Producto alimenticio	Modelo de producto relacionado	Demanda funcional
Bebidas	Bebida de chocolate (pH 6.5) Bebida suave	*Estabilidad coloidal *Solubilidad
Confitería	Frappes, merengues	*Alto poder potenciador *Estabilizador de la espuma a altas temperaturas
Postres/ensaladas	Resaltador de sabor, base para ensaladas	* Habilidad potenciadora con grasa, y habilidad emulsificante a pH 4.0
Nuevos productos lácteos	Algunos tipos de quesos, productos en spray	*Ajuste del calor, emulsificación/ligando agua
Productos cárnicos	Jamón, salchichas	*Alta solubilidad y baja viscosidad, liga agua y grasa
Productos de panadería	Pan, pasteles	Formación de la pasta, liga grasa/ajuste al calor

Fuente (Renner 1999)

## 7.1 CONCENTRADOS DE PROTEINA DEL LACTOSUERO

Hay muchos diferentes tipos de lactosueros en polvo como son; concentrados de proteína de lactosuero (WPC), aislados (WPI), o hidrolizados (WPH), cada uno se desarrolla para ciertas características del mercado que se relacionan al proceso y técnicas aplicadas al los alimentos, también algunos se desmineralizan o se les elimina la lactosa (González-Martínez 2000).

Una característica de los WPC, es el que contienen suficiente proteína, predominantemente sin desnaturalizar, con cantidades variables de lactosa y lípidos, estos pueden competir con otros ingredientes proteínicos como por ejemplo caseinatos, proteína de soya, proteína de huevo etc.

**Tabla 7.2 Composición típica de WPC comerciales (Datos en base seca)**

Tipo de WPC	Contenido de Proteína (g/100g )	Lactosa (g/100g)	Cenizas (g/100g)	Grasa (g/100g)
WPC 30	30	59	8.0	1.5
WPC 35	35	53	7.3	2.6
WPC 40	40	46	6.0	4.1
WPC 45	45	42	5.6	4.5
WPC 50	50	35	5.0	4.7
WPC 55	55	28	4.5	5.9
WPC 60	60	23	4.2	6.4
WPC 65	65	19	4.0	6.5
WPC 70	70	15	3.9	6.8
WPC 75	75	11	3.3	7.2
WPC 80	80	5	3.1	7.7
WPC 85	85	3	3.0	8.0

Fuente (Renner 1999)

Las propiedades funcionales van de acuerdo con un gran número de alimentos donde son utilizadas esas proteínas, y los WPC pueden remplazar a la albúmina de huevo y a la leche en polvo en alimentos como; panques, postres, pastas y aperitivos. Incluso pueden mejorar la retención de humedad, el color de la corteza del pan, valor nutrimental, viscosidad, palatabilidad y sobrerendimiento de emulsificación.

Las propiedades funcionales de una proteína no son características individuales, sino más bien de la interacción entre los ingredientes del producto. Es por ello que en los alimentos se requieren diversas propiedades funcionales como; solubilidad, estabilidad en anaquel, compatibilidad de sabor, control de turbidez en un rango de pH y en el procesado de cárnicos se requiere tengan un cambio favorable con la cocción.

**Tabla 7.3 Propiedades funcionales típicas del los WPC en alimentos.**

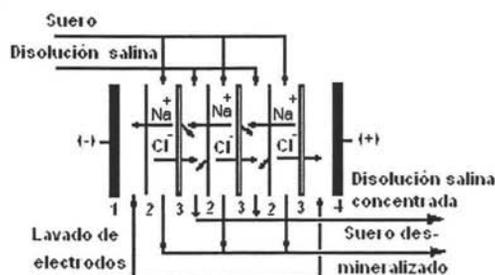
Propiedad	Modo de acción	Alimento
Solubilidad	Solvatación de la proteína,( depende del pH)	Bebidas
Absorción de agua	Enlace a hidrógeno, (red de agua)	Cárnicos, salsas, panes, pasteles
Viscosidad	Espesante (enlaza agua)	Sopas, jugos, postres
Gelificación	Formación de matriz proteínica	Cárnicos, encurtidos, quesos
Cohesión-Adhesión	La proteína actúa como material adhesivo	Cárnicos, salsas, panes, pastas
Elasticidad	Enlace hidrofóbico con el gluten, (puentes disulfuro en los geles)	Cárnicos, y panadería
Emulsificación	Formación y estabilización de emulsiones de grasa	Salsas, sopas, pasteles, postres, formulas de infantes, helados.
Absorción de grasa	Enlaza grasa libre	Cárnicos, salsa, buñuelos
Absorción de sabores	Absorción, captura y liberación	Cárnicos, panadería, confitería
Espumado	Formación de películas estables al atrapar los gases	Postres, pasteles y productos batidos

Fuente (Renner 1999)

## WPC Desmineralizados

La razón de eliminar la mayor parte de los minerales del lactosuero, radica en obtener un producto con más funcionalidad para los alimentos, ya que la alta concentración de minerales en el lactosuero puede traer problemas de sabores salados y rancidez de grasas para algunos tipos de productos. El proceso se lleva a cabo por un intercambio iónico, diafiltración o por electrodiálisis.

**Figura 7.1 Principio de electrodiálisis del lactosuero. 1 Cátodo, 2 Membrana catiónica, 3 Membrana aniónica, 4 Ánodo. Fuente (Belitz 2000)**



Al pasar el lactosuero por la membrana las sales en disociación se orientan al electrodo de la carga opuesta, hasta que son atrapados los iones la solución sigue fluyendo y se obtiene el lactosuero sin sales el cual posteriormente es procesado y secado .El producto está libre de lipasas y es estable al calor. La extracción casi completa de las sales minerales da como resultado un polvo no salado que tiene un amplio uso.

El lactosuero desmineralizado en polvo, es fabricado a partir de suero fresco, en el que se eliminan las partículas de caseína y es descremado antes de procesarlo, se debe realizar al menos un 90% de desmineralización, previo a la evaporación y atomización dejando aproximadamente menos del 1% de minerales en el producto ya seco. El lactosuero ya desmineralizado, tiene un color blanco

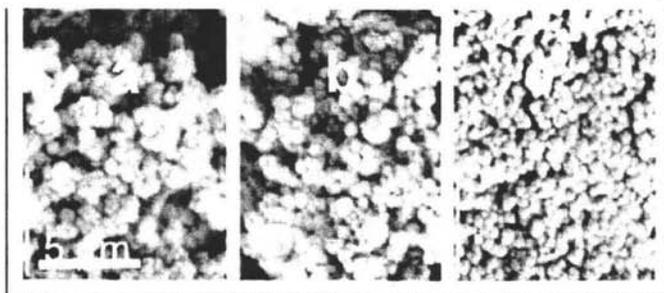
cremoso con un sabor insípido, ligeramente dulce, y es casi completamente soluble a niveles pH por debajo de 4 y por encima de pH 6.

### **WPC Hidrolizados**

Las propiedades funcionales de las proteínas pueden ser modificadas después al hidrolizarse o ser desnaturizadas por procesos como la alta temperatura y presión hidrostática alta, como ocurre en el caso de los homogeneizadores microfluidizantes. Estos trabajan a altas presiones lo que permite crear muy buenas emulsiones y modificar macromoléculas de los alimentos durante el proceso. La alta presión puede reducir los agregados de partículas en la proteína del lactosuero, ya que se rompen enlaces covalentes, por lo que es posible hacer micropartículas del lactosuero.

También puede realizarse una hidrólisis enzimática de las proteínas del lactosuero, aunque si la hidrólisis es excesiva las propiedades emulsificantes y estabilizantes disminuyen. Las propiedades funcionales mejoran con la hidrólisis debido a que se exponen sitios hidrofóbicos lo que incrementa la motilidad, y por otro lado se tienen pesos moleculares menores en una interfase suficientemente estable (Forstrom 2003).

**Figura 7.2 Formación de la emulsión con diferentes tipos de proteína.**



(a) Hidrolizado, (b)  $\beta$ -Lactoglobulina, (c) WPC no hidrolizado. La emulsión se diseñó con 3% de proteína, 20% aceite, pH 5.5, 0.25%  $\text{CaCl}_2$ , 0.5%  $\text{NaCl}$ , 7.5% sacarosa y una temperatura de 20°C (Forstrom 2003).

### **Extrusión de WPC para botanas**

El lactosuero dulce o la proteína de lactosuero suelen adicionarse en concentraciones de 250 a 500g por 1 kilogramo en la harina de maíz, arroz o papa, para elaborar botanas extruidas de estos cereales (Onwulata 2001). La cocción por extrusión es usada en los procesos de cereales para la producción de cereales de desayuno y para botanas. Cuando los almidones contienen un alto contenido de amilosa, la expansión disminuye y se requiere una mayor energía para la cocción y temperatura de gelatinización. El empleo de proteínas del lactosuero mejora la expansión y la cocción gracias a las interacciones que ocurren entre los hidratos de carbono y la proteína durante la extrusión (Matthew1997).

La adición de proteínas a los almidones de los cereales incrementa los sitios de entrecruzamiento y favorece la calidad de la textura de la botana. Las proteínas del lactosuero y las condiciones de proceso son factores significativos para el entrecruzamiento, debido a que finalmente las proteínas se desnaturalizan en el extrusor, se reagrupan y forman una matriz compleja que se expande. Sin embargo el grado de expansión depende de la concentración de proteína, mientras que el proceso de extrusión depende de la forma, calor y humedad en el extrusor.

**Tabla 7.4 Condiciones de extrusión para botanas con adición de lactosuero.**

	Para 1Kg de botana		
	Maíz	Papa	Arroz
Humedad (g)	13.7	12	12
WPC (g)	500	500	500
Presión (kj/kg)	150 -200	200-300	250-350
Temperatura (°C)	136	140	140
Torque (%)	41	55	50
Índice B.S	8	5.7	5.7

Fuente (Onwulata 2001)

Las condiciones de extrusión mostradas representan el rango donde se alcanza la mayor extensión de la botana, pero varían de acuerdo a la calidad y requisitos sensoriales que se deseen, en especial la humedad y cantidad de WPC, ya que ambos influyen fuertemente en la calidad y la extensión de la botana (Onwulata 2001).

### **WPC Como extensor de productos cárnicos**

Las propiedades funcionales de las proteínas del lactosuero ofrecen una determinada calidad final a las emulsiones cárnicas. Tienen diferentes características fisicoquímicas de emulsificación, las cuales se ven afectas por las otras proteínas en el alimento durante la preparación, el proceso y el almacenamiento, todo ello contribuye a las características sensoriales del producto. Los concentrados de proteína de lactosuero se pueden usar en productos como salchichas, salamis, mortadelas y algunos tipos de jamones.

La emulsión se da con la formación del gel, en el cual se forma una matriz de proteína que retiene grasa y agua, que se ve afectada por el tratamiento térmico, y diferentes condiciones de pH, y fuerza iónica. Las interacciones de las proteínas del lactosuero con carne de diferentes especies varían, lográndose la mejor emulsión en forma descendente res, cerdo, y pavo, mientras que para la carne de pollo, la mejora de la emulsión es mínima. Se cree que esto se debe al contenido de proteínas fibrilares en la carne y la interacción de estas con las proteínas del lactosuero.

Las proteínas del suero se utilizan principalmente para la formación del gel y una mejor emulsión aceite agua, además de que en el producto mejoran la textura y estabilizan la emulsión al mejorar la retención de agua. Su nivel de uso es del 0.5 al 2% (Zorba 2005).

### **Aislados de proteína de lactosuero (WPI)**

Los aislados de proteína de lactosuero o WPI por sus siglas en inglés (Whey Protein Isolated), se diferencian de los WPC, en que a los aislados se les han separado una o varias de las proteínas de lactosuero, eliminando la mayor parte de lactosa, y minerales, obteniendo un concentrado con más del 90% de proteína en base seca. Todo ello con el fin de mejorar las propiedades funcionales del WPC, la razón es que las propiedades funcionales son debidas a alguna de las proteínas presentes en el lactosuero, por lo que el aislamiento de una o varias implica una funcionalidad más controlada, e incluso más fuerte, debido a que se concentra la proteína o proteínas seleccionadas.

El aislado se produce de acuerdo a la funcionalidad que se requiera, y de ello dependerá la proteína a elegir:

- $\beta$ -Lactoglobulina: domina propiedades funcionales; espumado, gelificación, emulsiones.
- $\alpha$ -Lactoalbumina: solubilidad de concentrados, gelificación, espumado y emulsionantes
- Inmunoglobulinas: favorecen la gelificación y el espumado
- Proteosa peptona: tensoactivo y favorece el espumado
- Sero albúmina bovina (BSA): liga lípidos

Aunque parecen similares las aplicaciones varían de acuerdo, al medio en que se encuentren, así como la solubilidad de cada proteína a diferente pH. Es por ello que es necesario hacer la distinción (CEDELE 2004).

## 7.2 EMULSIFICANTES A BASE DE LACTOSUERO

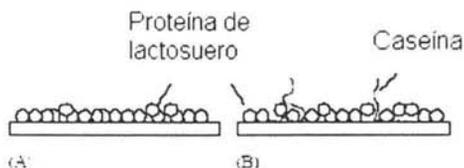
Las emulsiones son sistemas de dispersiones que frecuentemente se presentan en alimentos. Las proteínas, en especial las de la leche y otros emulsificantes, son ingredientes funcionales para la formación y estabilización de esos sistemas. Las moléculas de los emulsificantes y proteínas de la leche contienen simultáneamente regiones polares y no-polares, lo cuales les da las propiedades de surfactantes. Durante la emulsificación o proceso de espumado, absorben rápidamente y forman una película en la superficie de gotas de aceite o burbujas de gas (aire) (Rouimi 2004).

En la industria alimentaria existe una amplia variedad de proteínas usadas como estabilizantes y emulsificantes, entre estas se encuentran las proteínas del lactosuero. La  $\beta$ -lactoglobulina es la proteína mas abundante en el lactosuero (50% del total de las proteínas) y esto se ve reflejado en la funcionalidad de los WPC, ya que la  $\beta$ -lactoglobulina es una proteína globular y anfifílica, con la capacidad de absorber agua y aceite en su interfase, con ello contribuye a la formación de emulsiones y baja la tensión superficial, también estabiliza la película formada en la interfase de la emulsión. La  $\beta$ -lactoglobulina se despliega en la interfase formando asociaciones intermoleculares o tipo -S-S- (puente disulfuro).

La segunda proteína mas abundante del lactosuero es la  $\alpha$ -lactoalbumina, (25% del total de proteína) la cual también esta reportada como una proteína emulsificante y estabilizante, participa junto con la  $\beta$ -lactoglobulina en la formación del enlace -S-S- y la película formada en la interfase (Fennema 2000).

La proteosa-peptona también posee propiedades emulsificantes además de ser estable al calor y soluble en medio ácido. Se ha demostrado que produce una rápida reducción de la tensión interfacial. La proteosa peptona es muy adecuada para espumados, por la capacidad que tiene de incorporar aire, se considera adecuada para alimentos como helados y similares (Inocente 2002).

**Figura 7.3 Representación esquemática del efecto de las proteínas del lactosuero en la emulsión.**



(A) Las proteínas globulares del lactosuero se absorben de una forma ordenada en la interfase aceite agua. (B) La presencia de moléculas de caseína causa un desorden en la interfase, ello provoca una menor estabilidad a la emulsión (Dickson 2004).

De esta forma se pueden realizar varias aplicaciones de las emulsiones como son la gelificación, espumado y la microencapsulación. La formación de uno de esos tipos de emulsión depende del proceso utilizado y el producto final, por lo que haciendo una revisión, se puede separar en formas individuales como gelificado, espumado y microencapsulamiento (CEDELE 2004).

### **Espumado**

Las proteínas que forman la emulsión son moléculas que contienen simultáneamente una región polar y una no polar, con lo que adquiere propiedades de surfactantes. El espumado ocurre cuando burbujas de aire son absorbidas en la interfaces, en los productos lácteos como el helado y la crema batida (hasta un 50% del volumen es aire en estos productos).

Dependiendo del proceso y los ingredientes será el volumen de las burbujas que pueden ir desde 15 $\mu$ m las muy pequeñas hasta 50 $\mu$ m las mas grandes, esto influye ampliamente en la estabilidad del sistema y en la apreciación del producto (Zhang 2004).

Una de las proteínas con mayor espumado son las inmunoglobulinas, que incluso se comercializan aisladas para aplicaciones específicas. Pero también la  $\beta$ -lactoglobulina y la  $\alpha$ -lactoalbumina, contribuyen al espumado y puede mejorarse notablemente si estas son hidrolizadas con enzimas, ya que se ha visto que la hidrólisis con pepsina mejora notablemente el espumado (Davis 2005).

Las proteínas no solo forman el espumado, sino que también contribuyen a su estabilidad. En el caso de las proteínas del lactosuero el mejor espumado se encuentra a un pH de 4.5, en este se tiene un estado ionizado de las proteínas en el cual la absorción de aire es la mas alta (Zhang 2004).

### **Gelificado**

La acidificación de la leche desde su pH natural (6.7) hasta un pH cercano a 4.6 causa la formación de un gel en la leche. El tratamiento térmico de la leche con temperaturas cercanas a  $70^{\circ}\text{C}$  es prioritario y es un método común para incrementar la firmeza del gel y reducir el nivel de sinéresis. Este efecto es a consecuencia de la desnaturalización de las proteínas del lactosuero, durante el tratamiento térmico, se genera con las proteínas desnaturalizadas, que son más susceptibles a la agregación Inter-proteínica, con las mismas proteínas del lactosuero o con las micelas de caseína (Graveland 2003).

Con el tratamiento térmico proteínas globulares como la  $\beta$ -lactoglobulina se desdoblán y exponen sus grupos hidrofóbicos y los grupos sulfidrilos, esto provoca una agregación y crea una red tridimensional que atrapa agua y grasa formando emulsiones, en forma de geles (Sok 2005).

Por lo tanto las propiedades de gelificación del lactosuero ofrecen una gran oportunidad para el desarrollo y utilización de emulsiones en gel. Los geles basados en emulsiones de proteína de lactosuero son sistemas compuestos en los cuales existe una dispersión de gotas de lípidos, que se adhieren a la fase de una matriz proteínica que es capaz de absorber aceite y agua (Mor 2004).

Así la adición de proteína de lactosuero o WPC aunado al tratamiento térmico, puede modificar la firmeza del gel, haciéndolos mas firmes, además de que la sinéresis y el tiempo de gelificación se ven reducidos, esto es prioritario en postres gelificados bajos en grasa, ya que de esta forma se obtienen geles con buena firmeza y textura.

El incremento de la gelificación se atribuye a la  $\alpha$ -lactalbumina y prioritariamente a la  $\beta$ -lactoglobulina, se considera que la agregación se da a través de puentes disulfuro entre las proteínas (Graveland 2003).

### **Microemulsiones**

Las proteínas del lactosuero tienen una fuerza inusual de formar mezclas de aceite agua conocidas como microemulsiones. Generalmente las microemulsiones se realizan con surfactantes especiales, o cuando se requiere disolver aceite en agua (o viceversa) y hacer una mezcla limpia y estable.

En contraste la mayoría de las emulsiones en alimentos son mezclas de aceite/agua que se presentan una turbidez, no ocurre así en las microemulsiones, en estas la emulsión es en pequeñas gotas lo que genera que la mezcla sea translúcida, propiedad que permite incorporar sustancias liposolubles, en medios acuosos, sin que se observe una turbidez. Las proteínas que se encuentran en el lactosuero, en especial la  $\alpha$ -lactalbumina, tiene la capacidad de formar microemulsiones con lípidos e incluso combinada con ciertos surfactantes.

La capacidad de formar microemulsiones puede ser utilizada para encapsular sabores liposolubles o colorantes liposolubles para bebidas a base de agua, por lo que con la microemulsión se da una gran alternativa de funcionalidad (Dairy Management [2] 2004).

## 7.3 EFECTO DEL LACTOSUERO EN EL YOGURT

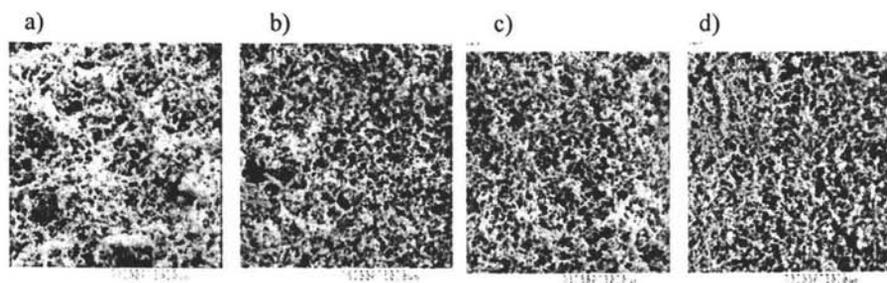
### Yogurt sin grasa

El consumo anual de yogurt en México ha tenido incrementos notables en los últimos años, estos van desde 139.427 Toneladas en 1994 hasta un estimado de 328.20 Toneladas en el año 2002. (INEGI 2002). Las cuestiones de salud han propiciado la necesidad de productos bajos en grasa, donde el yogurt se ha modificado para ello, la reducción de grasa esta asociada con defectos en el yogurt. Estos son disminución de la firmeza del gel, alta acidez, sinéresis y textura granulosa. Para mejorar el producto suelen usarse caseinato de sodio o concentrados de proteína de lactosuero (WPC) (Sandoval-Castilla 2004).

### Mejoramiento de la firmeza del gel

El efecto de las proteínas del lactosuero en el yogurt es la de aumentar la fuerza del gel, la razón de esto se debe a la modificación de la estructura del gel cuando se incrementa el coeficiente de caseína/proteínas del suero. Esto es por que se absorbe mas fase acuosa y se incrementan las interacciones entre proteínas, formándose geles de una red mas compacta.

**Figura 7.4 Micrografías electrónicas de yogures producidos con modificaciones, usando WPC.**



(a) WPC40, (b) WPC50, (c) WPC60 y (d) WPC 80. Aumento 3000X. Se observa que al aumentar el contenido de proteína en el WPC la estructura se hace más compacta generando geles más firmes (Puvanenthiran 2001).

### Efecto del lactosuero en los microorganismos prebióticos

El lactosuero al utilizarse en productos fermentados, ofrece la ventaja de ser un probiótico, por lo que se recomienda su uso en productos nutraceuticos de leches fermentadas.

Uno de los problemas de las bacterias prebióticas es su sobrevivencia, en el producto al que se han incorporado, el uso de lactosuero dulce y proteína de lactosuero ha mostrado una alta sobrevivencia de bacterias como *Bifidobacterium bifidum* (Hugugin 1999). También se ha observado un mayor desarrollo de *Lactobacillus acidophilus*, en el yogurt. Por otra parte el tiempo de fermentación se ve reducido en aproximadamente una cuarta parte.

**Figura 7.5** Yogurt elaborado con adición de proteína de lactosuero.



Cuando se utilizan proteínas de lactosuero en vez de almidón u otros espesantes, el sabor del yogurt se mejora (Dairy Management [1] 2000).

Muchas investigaciones han determinado que la fortificación parcial o la sustitución de sólidos de leche descremada por WPC obtenido por ultrafiltración no tiene efectos negativos en la fermentación del yogurt, sino por el contrario puede verse favorecida la fermentación. Incluso se ha reportado que el WPC puede estimular el crecimiento de *Lactobacillus acidophilus* (Dairy Export Council [1] 2002).

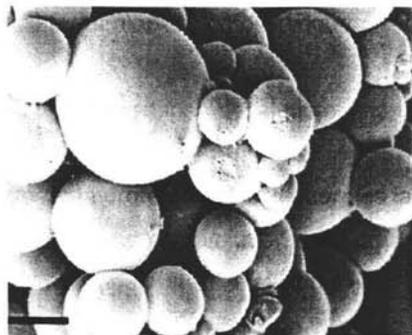
## 7.4 MICROENCAPSULAMIENTO CON UNA BASE DE PROTEINA DE LACTOSUERO

Las proteínas del lactosuero tienen una excelente capacidad emulsificante y absorción de agua. Los avances en la microencapsulación han permitido el desarrollo de nuevos productos, como son la incorporación de sabores grasos a alimentos de fases acuosas, así como la protección de bacterias probióticas en productos fermentados como el yogurt.

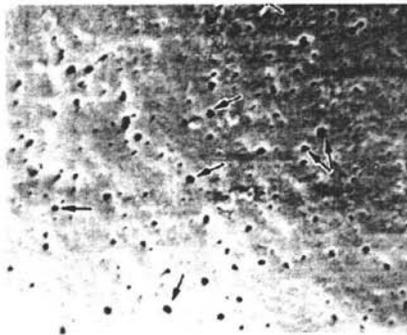
Entre las propiedades de la microencapsulación destaca la estabilización de las grasas a la oxidación, y protección de sustancias o bacterias que encapsulen. El propósito de la proteína del lactosuero es la de la emulsificación y la estabilización, creando nuevamente las interfaces grasa/agua. Siendo que las proteínas del lactosuero son de naturaleza globular, y absorben en la interfase aceite /agua, ocasionan un desdoblamiento de la molécula, en la cual se estabiliza la interfase, aunque se requiere desnaturalizar la proteína por un tratamiento térmico (Keogh 1999).

**Figuras 7.6 Micrografías de microcápsulas de proteína de lactosuero.**

(a)



(b)



(a) Microcápsulas en una emulsión, tamaño de 50 $\mu$ m (b) Superficie de las microcápsulas, se observan poros de 0.2-0.5 $\mu$ m (Lee 2000).

Las proteínas se agregan y forman la microcápsula, pero debido a que las cadenas de proteínas tienen diferentes formas y tamaños dan lugar a la formación de poros. Los poros de la microcápsula influyen en la estabilidad, y su duración.

El tamaño y cantidad de los poros se ve afectada por pH menores de 7.2 ocasionando que la cantidad de poros se incremente, debido a la separación de proteínas de la red que forma la microcápsula disminuyendo así estabilidad de la microcápsula (Lee 2000).

### **Encapsulamiento de bacterias probióticas**

Las bacterias probióticas se definen como microorganismos vivos, de los cuales al ingerir cierto número de ellos, estos producen un beneficio a la salud, mejorando la nutrición en general. La cantidad de productos en el mercado que incorporan probióticos es muy abundante, pero la sobrevivencia de los probióticos es de gran importancia, ya que es necesario pasen el tracto intestinal para que aporten beneficios, el lactosuero ha destacado como una buena materia prima tanto para su cultivo, así como para su sobrevivencia cuando estos se encapsulan con lactosuero (Madueria 2005).

Productos como el yogurt o tipo yogurt, son los vehículos más populares para la incorporación de microorganismos probióticos, principalmente bifidobacterias y lactobacilos. Se recomienda que estos alimentos tengan una cuenta mínima de  $10^6$  microorganismos vivos por gramos o mililitro, durante el tiempo de consumo (vida de anaquel), para que se observen efectos terapéuticos (Janer 2004).

Uno de los problemas con las bacterias probióticas son las fluctuaciones de células viables en los productos, especialmente el género bifidobacteria. Son varios los factores que afectan la viabilidad de los cultivos de bifidobacterias en las leches fermentadas, como son acidez, pH, concentración de ácido láctico, ácido acético, peróxido de hidrógeno y la cantidad de oxígeno disuelto, además de

las barreras que el huésped presenta, en especial para la bifidobacteria, como lo es el tracto intestinal.

Una forma de incrementar la resistencia de las bacterias a las condiciones adversas, es la microencapsulación usando algún biopolímero natural que puede hacerse a base de gomas o hidrocoloides como  $\kappa$ -Carragenina, alginato de calcio, gellana y proteína de lactosuero.

Sin embargo a pesar del éxito en el laboratorio, el uso de los hidrocoloides tradicionales, presentan grandes dificultades a nivel industrial, debido a las técnicas de dispersión, extrusión y el uso de solventes orgánicos. Además de que el uso de polisacáridos en yogurt esta prohibido en muchas legislaciones, principalmente en países Europeos (Picot 2003).

#### **Proceso de microencapsulación**

El método de secado por aspersion es el más antiguo para la encapsulación de bacterias, y el más usado en la industria de alimentos. En este se parte de un cultivo previamente liofilizado del probiotico al cual se hace una micronización, seguido por un proceso de encapsulamiento con grasa de leche y WPI, posteriormente se mezclan, y se seca por aspersion la emulsión, logrando así encapsular a las bacterias, este proceso junto con las barreras intestinales provocan una gran perdida de células viables.

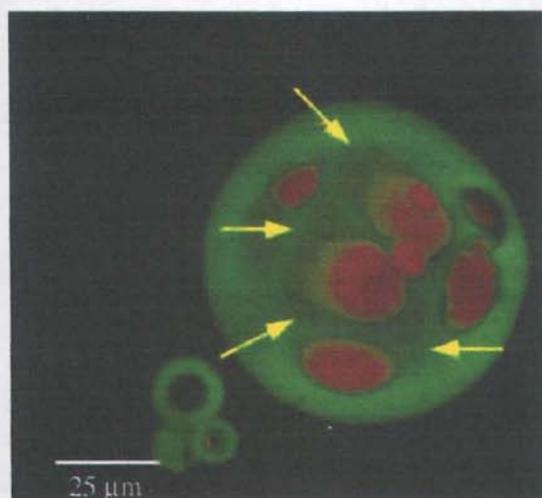
Por otro lado investigaciones recientes han demostrado que es posible mejorar la viabilidad de las células utilizando WPI solamente y partiendo de un cultivo fresco y encapsulando a las bacterias ( Picot 2003).

La diferencia entre el método nuevo y el clásico radica en que para el método nuevo la proteína de suero se utiliza en forma polimerizada, además de que se emplea un cultivo fresco, estas dos condiciones, muestran resultados prometedores al mostrar altos rendimientos de viabilidad. De hasta un 100 a

250% más de células viables al utilizar el método nuevo que utiliza el WPI en forma de polímero.

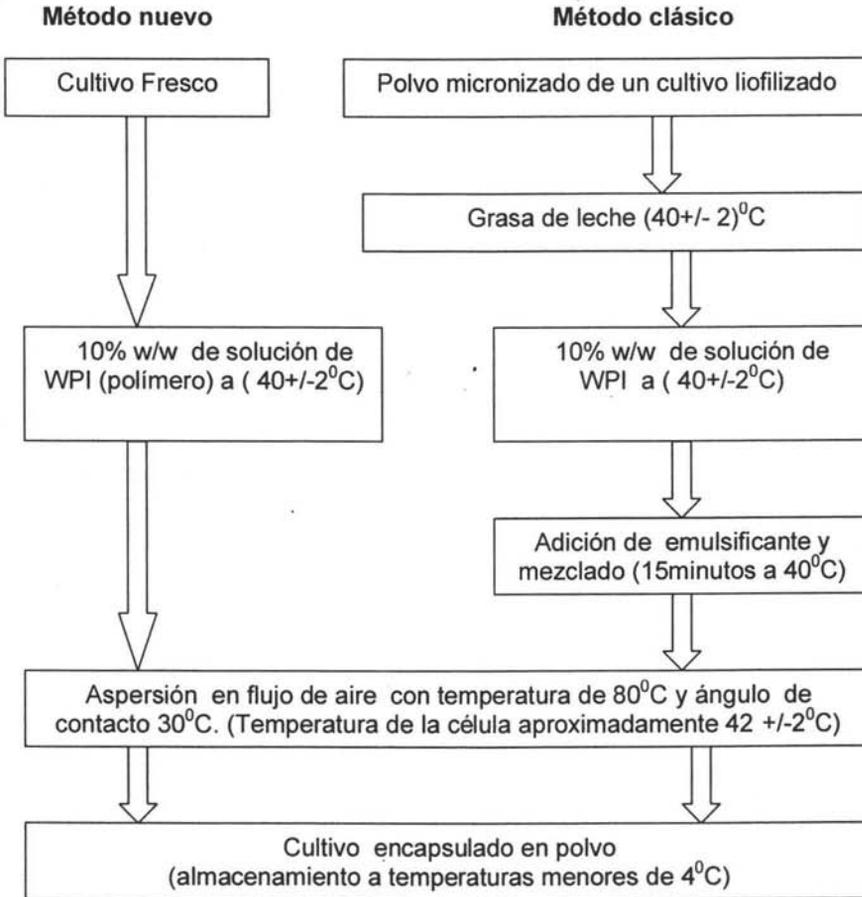
La razón de una menor sobrevivencia de células con el método clásico se debe a que la micronización y la liofilización realizada previamente a las células, y el posterior secado que provoca una alta mortalidad en las células, mientras que el cultivo del método nuevo solo se lleva una liofilización lo cual evita una gran pérdida de células viables. Por otra parte las microcápsulas formadas con el WPI son de tamaños muy pequeños, lo que favorece su resistencia al proceso de liofilizado ( Picot 2003).

**Figura 7.7 Micrografía del escaneo láser de las microcápsulas elaboradas con proteína de lactosuero.**



Las flechas muestran los sitios donde las células bacterianas se encuentran dentro de la microcápsula. Método nuevo (Picot 2003).

## Diagrama del proceso de encapsulamiento de bacterias



Fuente (Picot 2003)

## CAPITULO 8

### PRODUCTOS FORMULADOS CON LACTOSUERO

Existen diversos productos los cuales se pueden elaborar a partir de lactosuero, o bien con las proteínas del lactosuero formando parte de uno de los ingredientes de un alimento. Entre estos se encuentran una variedad de quesos, yogurt, leches fermentadas, bebidas energizantes y algunos productos de confitería y panadería.

**Tabla 8.1 Aplicación de concentrados de lactosuero en la industria.**

Industria	Función	Tipo	Cantidad de uso
Panadería	Desarrollo de color y sabor. Mejora la textura	SW	Pan 2%, pasteles 2%, bisquets, galletas 4 a 5%.
	Reemplaza al huevo, aireación y retención de humedad		Betuum 15%, flanes, 4%
Confitería	Estabiliza cremas y espumas, y proporciona sabor	WPC	Caramelos: 4%, coberturas 5 a 10%
	Sabor y aporte de sólidos de leche		Glaseados 8%
Lácteos	Aporte de sólidos lácteos, suaviza el sabor	SW	Quesos procesados 4%, Bebidas de chocolate 3%, helados 3 a 5%
	Aporte de sólidos, lácteos, mejoramiento de textura y cuerpo	WPC	Bebidas saborizadas 9-10%, helados 3 a 4%, yogurt 2 a 3%
Carnes Procesadas	Calidad de la proteína, absorbe agua, y extensor	WPC	Hamburguesas 3%, jamones y salchichas 4 a 5%,
Productos Nutricionales	Alta calidad de la proteína, fuente de calcio, sólidos lácteos solubles.	WPC	Bebidas 20%, Formulas infantiles 20 a 50%
Alimentos preparados	Sólidos solubles, emulsificación, viscosidad	WPC	Mezclas de salsa 10 a 15%, sopas 10 a 20%

Fuente (Dairy Export Council [1] 2002)

## 8.1 PRODUCCIÓN DE QUESOS A BASE DE LACTOSUERO FRESCO

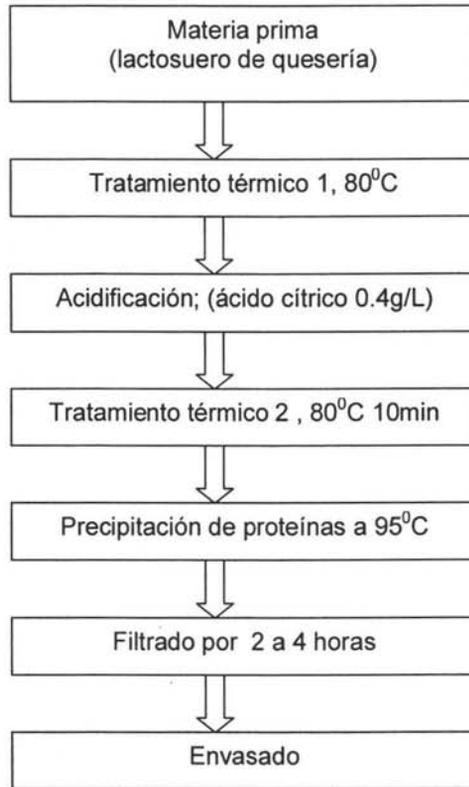
En la elaboración de quesos podemos distinguir 2 tipos de quesos los de pasta dura y pasta blanda. Los de pasta dura se elaboran principalmente con una coagulación enzimática, en donde las proteínas del lactosuero no quedan en el queso ya que se van en el medio acuoso (lactosuero). Pero en los quesos por coagulación ácida y/o de filtración como son: Requesón, Ricotta, Mysost, Petit Suize, Boursinne y algunas variedades de Doble Crema, se distinguen por su suavidad, generada en gran parte por proteínas del lactosuero que permanecen en el queso. Esto es por que la coagulación ácida, y/o el tratamiento térmico dado a la leche provoca la precipitación de las proteínas del suero, permaneciendo en el producto final una considerable cantidad de proteínas del suero. La consecuencia de ello es que se obtiene un producto suave y cremoso, con buena calidad sensorial (CEDELE 2004).

### Requesón

Este se obtiene por la precipitación de las proteínas del lactosuero por tratamiento térmico y acidificación del lactosuero. Es un producto que también es utilizado como materia prima en otros productos como postres y pays.

El proceso de obtención de requesón inicia con la recolección del lactosuero, posteriormente se calienta hasta 80°C, se disminuye el pH con ácido cítrico o jugo de limón, después continua el calentamiento por 10min a 80°C, seguido se eleva la temperatura a 95°C. El calentamiento se detiene cuando ya no precipite más proteína, que se observa en forma de espuma en la superficie. Cuando la temperatura descienda hasta 20 a 22°C, se retira con un tamiz de manta de cielo, dejándolo escurrir por 2 a 4 horas, finalmente se envasa en un recipiente limpio y se conserva a una temperatura de 4 a 8°C.

## Diagrama de proceso del Requesón



Fuente (CEDELE 2004)

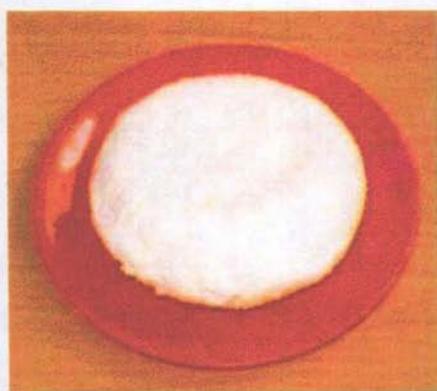
## **Ricotta**

Este es un queso muy conocido en Europa y utilizado en una gran variedad de postres, esta elaborado en su mayor parte por proteína del lactosuero y un poco de caseína y grasa proveniente de la leche que se utiliza.

Se realiza la mezcla de leche y lactosuero de quesería, en una proporción de 9L lactosuero/1L de leche, se calienta la mezcla hasta 80°C, posteriormente se disminuye el pH con ácido cítrico o jugo de limón, continuando el calentamiento por 10min a 80°C, séguido se eleva la temperatura a 95°C.

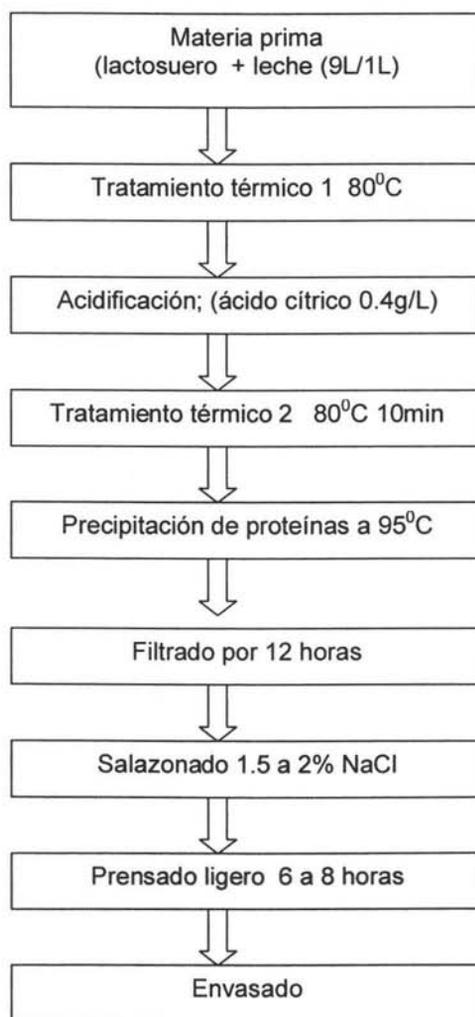
El calentamiento se detiene cuando ya no precipite más proteína, que se observa en forma de espuma en la superficie. Cuando la temperatura descienda hasta 20 a 22°C se retira con un tamiz de manta de cielo, se salazona dentro de la manta con 1.5 a 2% de NaCl, y se deja escurrir por 8 horas, se moldea en piezas de 250g a 1000g, se prensa ligeramente por 2 horas, finalmente se envasa al vacío y se conserva a temperatura de 4 a 8°C.

**Figura 8.1 Presentación de queso Ricotta.**



El queso Ricotta posee características similares al queso doble crema, por su suavidad y cremosidad, además de tener un costo muy bajo por ser elaborado a partir del lactosuero (Consulta de internet [a]).

## Diagrama de proceso del queso Ricotta



Fuente (CEDELE 2004)

## **Mysost**

Los quesos tipo Mysost son productos comerciales de origen escandinavo, que tienen la ventaja de usar todos los sólidos del lactosuero y de que su procesamiento no requiere grandes inversiones. Su tecnología de producción es esencialmente un proceso de concentración de sólidos, casi idéntica a la de fabricación del dulce de leche. De hecho, los productos tienen el color del dulce de leche, debido a las reacciones de oscurecimiento no enzimático y pueden ser formulados con textura para cortar o para untar.

Más que ser un producto, el queso Mysost es una familia de productos cuya composición, textura y color varía de acuerdo a los ingredientes, a las condiciones de proceso y al contenido final de humedad.

El primer paso consiste en concentrar la mezcla de ingredientes entre un 50 a 55 % de sólidos en un evaporador convencional como los usados para evaporar leche o lactosuero. La concentración final se hace en forma intermitente en marmitas o cocinadoras equipadas con agitador, como las usadas en la industria de los dulces de leche.

**Figura 8.2 Presentación del queso Mysost (Consulta Internet [a] y [b]).**



El queso Mysost puede elaborarse para ser untable como la mantequilla o de consistencia dura para cortar, esta lo hace ideal para postres y confites.

Si se desea afinar la textura, el color y el sabor a caramelo, la pasta se calienta a cerca de 110°C durante varios minutos en un intercambiador de calor de superficie raspada para evitar arenosidad en la textura, debida a lactosa cristalizada durante el tiempo del producto en el anaquel. Para esto, es importante que más del 90 % de los cristales de lactosa sean menores de 50 micras.

El producto puede ser de pasta dura para cortar (cerca del 85 % de sólidos) o untable (cerca del 70 % de sólidos), con consistencia similar a la de la mantequilla de maní (cacahuete). Los productos untables tienen mayor vida de anaquel que los productos de pasta dura, a pesar de tener mayor contenido de humedad,. Esto se debe a que los productos untables contienen usualmente más de 10 % de sacarosa, la cual baja la actividad de agua del producto por debajo de los niveles encontrados en los productos de pasta dura (Inda 2000).

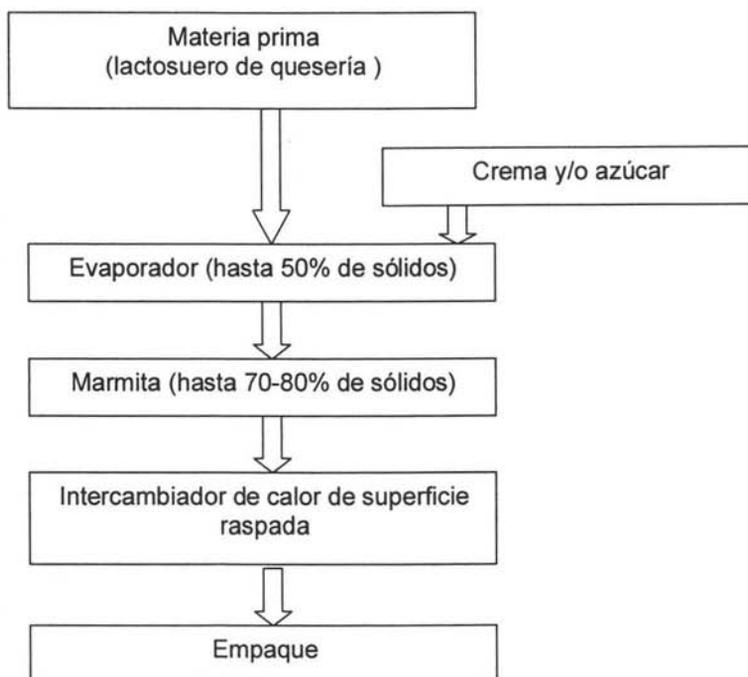
**Tabla 8.2 Ingredientes del queso Mysost.**

<b>Ingredientes por 100Kg de lactosuero</b>	<b>Mysost pasta dura (kilogramos)</b>	<b>Mysost untable (kilogramos)</b>
Lactosuero	100	100
Crema (60% de grasa)	4	---
Sacarosa	---	1
Rendimiento aproximado	9.4	10.9

**Tabla 8.3 Composición final de los quesos Mysost.**

<b>%</b>	<b>Mysost pasta dura</b>	<b>Mysost untable</b>
Humedad	14	28
Grasa	29	4
Proteína	10	8
Lactosa	42	46
Sacarosa	-----	49
Minerales	5	5

## Diagrama de proceso del queso Mysost



Fuente (Inda 2000)

## 8.2 BEBIDAS ELABORADAS A BASE DE LACTOSUERO

Las bebidas o fórmulas lácteas son bebidas nutrimentales análogas de leche, ideales para programas nutrimentales, pueden elaborarse a partir de una base de lactosueros no salados.

Si la filosofía es ofrecer a ciertos segmentos de la población (niños en edad escolar, mujeres embarazadas, etc.) bebidas nutricias a bajo costo, el balance de nutrimentos (grasas y proteínas) puede provenir de fuentes de menor costo la leche fluida (grasas y/o aceites vegetales, concentrados de proteínas de lactosuero y/o de soya). En tal caso, el bajo contenido de colesterol constituye un beneficio adicional.

El contenido de proteína de las bebidas lácteas nutrimentales debería ser el mismo de la leche, aproximadamente 30 g/L, pero su contenido de materia grasa puede variar dentro del rango entre 1 y 33 g/l, como lo es en las leches descremadas, semidescremadas y enteras, siendo estas consideraciones de diseño más bien un reflejo de los propósitos y las estrategias de dichos programas.

Se trata de bebidas económicas consistentes en lactosuero, agua, acidulantes, azúcares, saborizantes, colorantes, etcétera. Envasadas en plástico y dirigidas principalmente al segmento de mercado de niños. Las bebidas comerciales de este tipo contienen entre un 30 % y 90 % de lactosuero

Son bebidas pasteurizadas y se recomienda el envasado caliente, a una temperatura no menor de la de pasteurización, bajo condiciones en las que el ambiente en el área de envasado sea de calidad microbiológica controlada. Desde el punto de vista comercial, pudiera ser de interés que estas bebidas estuvieran enriquecidas con vitamina C y con calcio.

Este tipo de bebidas refrescantes se pueden fabricar también a base de lactosueros residuales desproteinizados resultantes de la elaboración de requesón. En la práctica, estos lactosueros contienen alrededor de 0.4 % de proteína, menos de 0.1 % de grasa y un poco más de 5 % de lactosa y minerales.

Una de las opciones más sencillas consiste en hacer bebidas refrescantes, como la que se describe en la Tabla 8.1 El procedimiento consiste en filtrar el lactosuero para eliminar partículas pequeñas de queso, diluirlo aproximadamente en una proporción 1:1 (una parte de lactosuero en una parte de agua purificada), añadir alrededor de 8 % de azúcar (8 kg de azúcar por cada 100 kg de bebida), añadir jugo de alguna fruta localmente disponible (limón de distintas variedades, naranja, toronja, maracuyá, mora, piña, mango, etcétera, en cantidad del 10 % o más, pasteurizar la bebida de la manera usual y envasarla caliente (a temperaturas no menores de 70<sup>0</sup>C) en un recipiente de plástico o de vidrio, previamente higienizado, que tenga tapa hermética, de preferencia a base de rosca.

De esta manera, por cada 100 litros de lactosuero residual, se obtendrán por lo menos 250 litros de bebida refrescante. En este caso se puede considerar el uso de un conservador, en particular si la cadena comercial no garantiza que la bebida estará siempre en refrigeración a temperatura no mayor de 10<sup>0</sup>C. Puesto que el lactosuero residual tiene un pH cercano a 4.5, y los jugos son de frutas ácidas, el conservador adecuado es el benzoato de sodio y la dosificación máxima es de 0.1 % (100 g de benzoato de sodio por cada 100 kg de bebida).

Es importante recordar que la función de un conservador es conservar una buena calidad que ya existe, pero no la puede mejorar. En otras palabras, además de usar el conservador, sigue siendo esencial usar buenas prácticas de manufactura.

**Tabla 8.1 Ingredientes y composición para una bebida refrescante de alto contenido energético a base de lactosuero.**

<b>Ingredientes</b>	<b>%</b>
Lactosuero	30
Azúcar (sacarosa)	8.0
Ácido cítrico/citrato de sodio	C.M.N (para pH 3-3.9)
Saborizante	C.M.N
Colorante	C.M.N
Benzoato de sodio (conservador)	0.1%
Hidrocoloides (gomas)	C.M.N
Agua	60%
<b>Composición</b>	
Materia grasa	0.09
Proteína	0.27
Hidratos de carbono	9.5
Minerales	0.3
Sólidos totales	10.5
pH	3.0-3.9
Contenido energético	40 Kcal/100mL

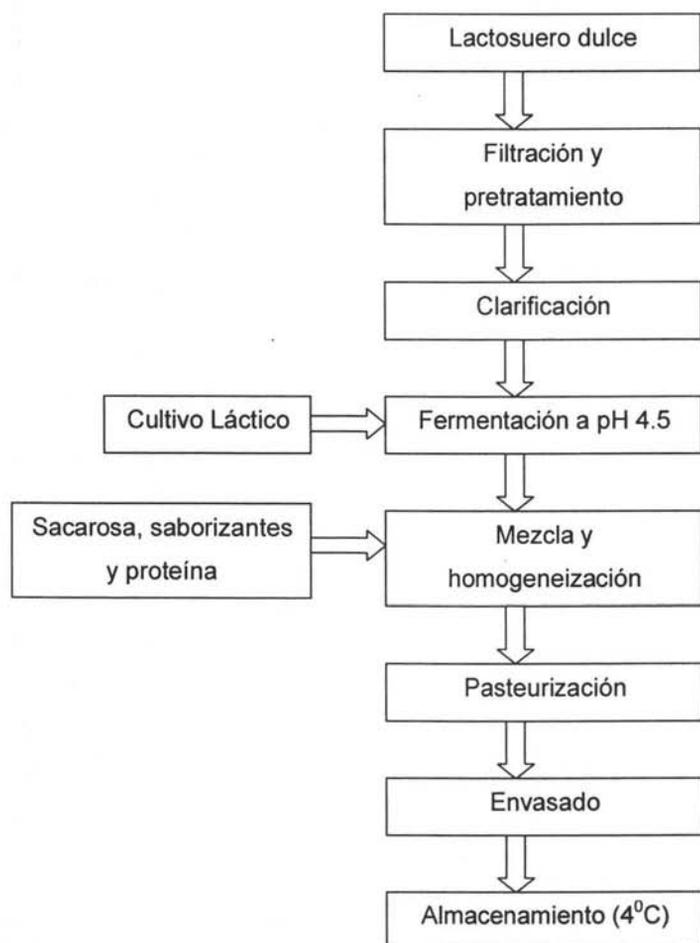
\*\*\*C.M.N significa cantidad mínima necesaria

Las bebidas de este tipo tienen vida de anaquel de hasta 21 días, a temperaturas de refrigeración comercial, entre 8 a 10°C (Torres 1989).

#### Notas

1. Pasteurizar y homogeneizar, con pH ajustado a 6.6 a 6.7.
2. Composición del lactosuero: 0.9 % de proteína, 0.3 % de materia grasa, 5.0 % de lactosa y 0.5 % de minerales.
3. El concentrado de proteína puede ser WPC-80
4. Los hidratos de carbono pueden ser sólidos de jarabe de maíz ("glucosa") y/o maltodextrinas.

## Proceso de elaboración de una bebida con lactosuero.



Fuente: CPML-N. 2003

### Notas

- La clarificación consiste en centrifugar y eliminar las impurezas sólidas.
- La proteína es adicionada con la finalidad de aumentar el valor proteínico y energético.
- Se sugiere adicionar un inóculo de lactobacilos para disminuir el pH hasta 4.5, cuando el lactosuero no tenga este pH.

### 8.3 ELABORACION DE KEFIR CON LACTOSUERO

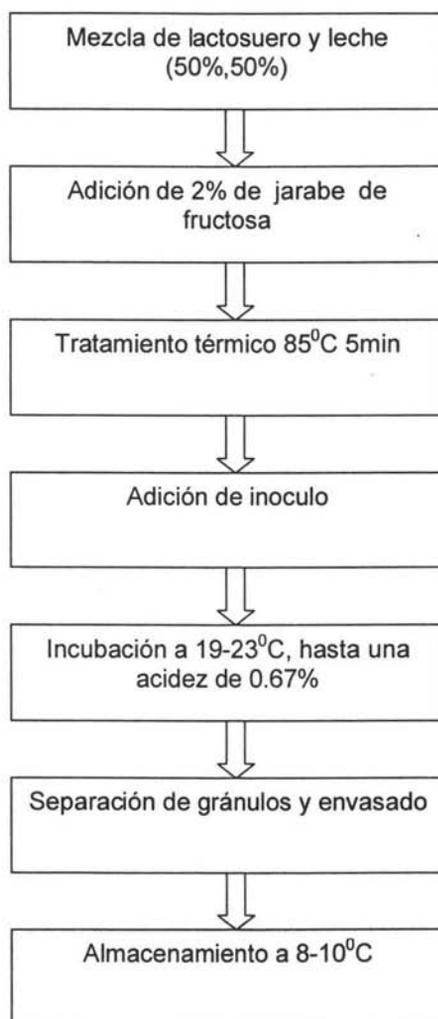
El kéfir es una bebida típicamente de leche fermentada, aunque es posible hacer la modificación en donde se incorpore lactosuero de quesería en su elaboración en proporciones del 50 a 80%. Los microorganismos responsables de la fermentación son asociaciones de bacterias y levaduras agrupadas en un granulo (granulo de kéfir), que llevan acabo principalmente una fermentación láctica y una ligera fermentación alcohólica a partir de la lactosa.

Investigaciones señalan que un 95% del granulo de kéfir son bacterias (mas de 120 especies) que pertenecen a los géneros *Lactococcus* y *Lactobacillus*, de donde destacan bacterias únicas como *Lactobacillus kefirgranum*, *Lactobacillus kefiranofaciens*, *Lactobacillus kéfir* y *Lactobacillus parakefir*. La cantidad de levaduras presentes en el kéfir es de aproximadamente un 5% de la flora total; las principales levaduras aisladas de los gránulos del kéfir son; *Candida kefir*, *Kluveromyces marxianus*, *Candida collicuosa*, *Torulaspota delbrueckii*, *Saccharomyces unisporus*, *Brettanomyces anomalus*. Entre las levaduras destacan *Candida kefir*, y *Kluveromyces marxianus* ya que fermentan la lactosa con producción de etanol (CEDELE 2004).

#### Elaboración

Se ha observado que la incorporación de un 2% de fructosa, (puede ser en forma de jarabe de alta fructosa), o un jarabe de una fruta con alto contenido de fructosa, antes del inoculo favorece el crecimiento y la calidad sensorial del kéfir. La incorporación del lactosuero al kéfir en proporciones mayores al 50% permite una buena disminución del pH y un producto mas fluido, evitando la separación de fases generada por la coagulación de la caseína cuando desciende el pH, así la bebida alcanza mayor vida de anaquel (Paraskevopoulou 2003).

## Diagrama de elaboración de kéfir con lactosuero y leche



Fuente (CEDELE 2004 y Paraskevopoulo 2003)

## 8.4 BEBIDAS ENERGETIZANTES EN POLVO

La proteína de lactosuero destaca ampliamente, de otras proteínas, debido a su excepcional calidad nutrimental, es por ello que la mayoría de formulas para fisicoculturistas y deportes de alto rendimiento, están elaboradas a base de proteína de lactosuero en polvo. En las ultimas 2 décadas ha surgido un gran interés por el deporte, lo que ha generado una carrera por lograr resultados y altos rendimientos. Entre los deportes sobresale el fisicoculturismo que consiste en lograr una mayor fuerza y masa muscular.

Los deportes de alto rendimiento, en especial aquellos que se requiere una gran masa muscular requieren no solo de un gran esfuerzo físico, si no también de una nutrición muy completa, esto ha involucrado que se utilicen alimentos como la proteína de suero de leche o lactosuero para lograr esa nutrición tan alta, en la cual la masa muscular se incrementa por el ejercicio físico y una dieta alta en proteína.

**Figura 8.3 Presentaciones comerciales de bebidas energizantes en polvo para deportistas, a base de lactosuero (Consultas de internet [c], [d] y[e]).**



Estas formulaciones de proteína de lactosuero alcanzan elevados precios en el mercado de 5 a 10 veces el valor de la leche en polvo.

Los aminoácidos de la proteína del lactosuero son suplementos que dan el valor de una alta calidad proteínica, tienen el potencial de aumentar la masa muscular, conjuntamente con un entrenamiento apropiado.

El calcio y la mezcla de minerales, presente en el lactosuero es una composición significativamente importante para la formación del tejido. Por otra parte los aminoácidos y compuestos bioactivos (vitaminas y enzimas como la lactoferrina) aislados del lactosuero también mejoran la función inmunitaria y la salud gastrointestinal (Ewan 2003).

**Figura 8.4 Bebidas energizantes a base de proteína de lactosuero.**



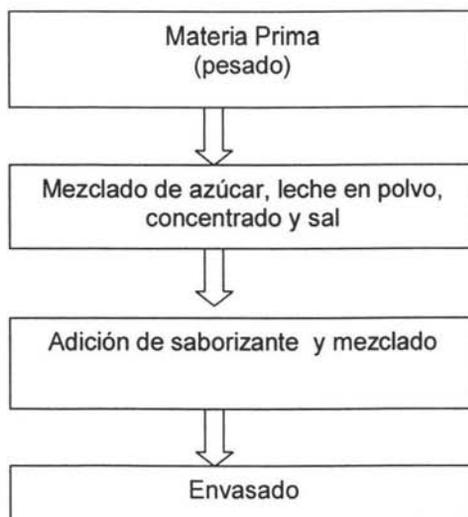
Las bebidas tienen un aspecto lácteo y una buena calidad sensorial, lo que hace fácil su aceptación en el mercado además de ser un alimento de alto valor nutricional (Huginin 1999).

## FORMULA DE UNA BEBIDA ENERGETIZANTE EN POLVO

Tabla 8.2 Formulación empleada en la elaboración de bebida a base de concentrado proteínico de lactosuero.

Ingredientes	%
Azúcar	6.50
Cocoa (saborizante)	1.00
Sal mineral	0.02
Leche descremada en polvo	0.48
Concentrado (WPI o WPC 80)	92.00
Total	100.00

## Proceso de elaboración de bebida energética en polvo



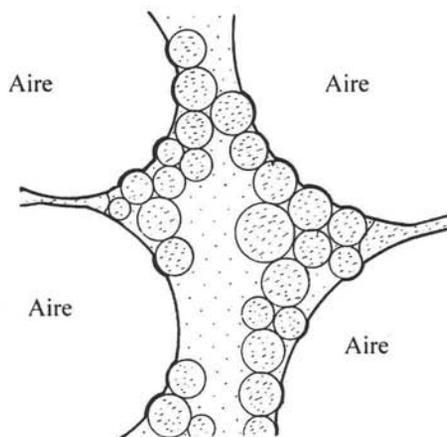
Fuente (PLZ 2005)

## 8.5 FORMULACION DE HELADOS CON PROTEINA DE LACTOSUERO

El helado es un postre congelado hecho por el congelamiento de una mezcla pasteurizada, la cual contiene sólidos de leche. Usualmente los sólidos de leche que se requieren son de leche descremada, pero los WPCs, con un contenido similar de lactosa y minerales pueden remplazar a la leche descremada. Incluso se ha probado que con 50% de WPC se mejora la palatabilidad del helado (Renner1999).

La incorporación de las burbujas de aire en el helado se debe a las proteínas del lactosuero que las retiene. La estructura del helado queda formada por una red de  $\beta$ -caseína, glóbulos de grasa y burbujas de aire, cubiertos por las proteínas de lactosuero lo que evita la desestabilización.

**Figura 8.5 Diagrama esquemático de la estructura de un helado batido.**



Los puntos son lactosuero, los círculos los glóbulos de grasa, las líneas arqueadas son la red proteica y los espacios señalados son las burbujas de aire (Prentice 1993).

La proteína de lactosuero puede ser aplicada a la elaboración de helados con varios fines, uno de ellos es aumentar la estabilidad del helado. Un ejemplo de un helado con WPC se muestra en la tabla 8.3.

**Tabla 8.3 Composición de un helado utilizando WPC.**

Ingredientes	%
Azúcar	22.13
Estabilizador	0.27
Leche descremada en polvo	2.30
Solución de ácido cítrico	0.48
Agua	19.47
Concentrado proteínico de lactosuero	44.26
Sabor natural de fresa	11.06
Sabor artificial de fresa	0.03
Total	100.00

Fuente (PLZ 2005).

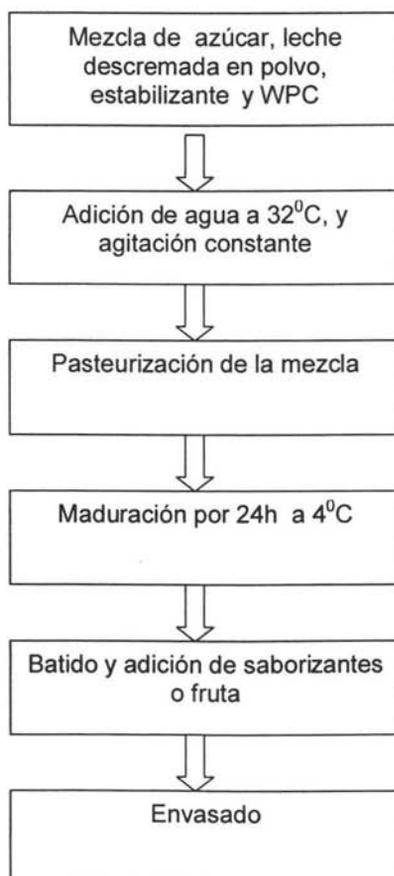
**Figura 8.6 Helados donde se utiliza la incorporación de proteínas de lactosuero.**



En estos helados se observa una mejor estabilidad al congelado y al choque térmico, al momento de su consumo, ya que la textura perdura más tiempo (Dairy Management [3] 1989).

En cuanto a la calidad sensorial, no se observa diferencia significativa al utilizar WPC, y la estabilidad del espumado se ve mejorada, principalmente después del batido, la espuma es más estable. El WPC recomendado es al 30%, esto por que en éste, el costo es viable para elaborar helado, a mayor concentración de proteína puede no serlo (Renner 1999).

### Proceso de elaboración de helado



Fuente (CEDELE 2004)

## 8.6 FORMULAS PARA LACTANTES

### Definición

Fórmula para lactantes, producto elaborado a base de leche de vaca o de otros mamíferos u otros componentes comestibles de origen animal, incluido el pescado o vegetal, que se consideren adecuados para la alimentación de los lactantes ( NOM-131-SSA1-1995).

La mayoría de las formulas para lactantes comerciales, son elaboradas con sólidos de leche de bovino, como ingrediente base. Sin embargo esta leche difiere en muchos aspectos de la leche humana, por lo que cuando se elaboran formulas de infantes deben modificarse para imitar la composición de la leche materna humana.

Las formulas de infantes están elaboradas en su mayoría por proteína de lactosuero y un bajo porcentaje de leche descremada, además de modificaciones incluye la adición de hidratos de carbono, minerales y vitaminas, que son necesarios para generar una composición similar a la leche humana (McSweeney 2003).

La mejor nutrición para un recién nacido es la leche materna. Sin embargo algunos no pueden amamantar por cuestiones de salud o problemas de la madre, lo que crea un potencial cuadro de salud, principalmente en lo que se refiere a alergias infantiles causadas por sustitutos de la leche materna. Estudios en los últimos años sobre la utilización de pHF (formula de proteína de lactosuero parcialmente hidrolizada) y de eHF (formula de proteína de lactosuero extensamente hidrolizada) han mostrado una gran prevención de alergias en los infantes que consumen los sustitutos del leche materna.

Una de las principales diferencias que se cuestiona es que el pHF tiene la posibilidad de llegar ocasionar alergias a algunos infantes, mientras que el eHF

tiene mucho menor esta posibilidad, pero la cuestión sensorial juega un papel importante ya que el pHF tiene una buena palatabilidad mientras que el eHF, posee un sabor amargo, lo cual al realizar una formulación comercial influye mucho en selección de uno u otro (Exl 2000).

Las formulas extensamente hidrolizadas forman parte de tratamientos para evitar alergias y diarreas por alimentos. Estudios de prevención de alergias de infantes, han visto que el eHF tiene una buena tolerancia en el humano y disminuye los riesgos de alergias, a pesar de ello las formulas pHF han sido denominadas hipoalergénicas en Europa, estas formulas son mas palatables y menos costosas que las eHF.

La diferencia entre ambos radica en que las eHF son preferibles en la prevención primaria de alergias, pero la pHF también se considera con una capacidad de producir alergias, a lo que los estudios señalan que se debe dar a la extensamente hidrolizada (eHF) a infantes recién nacidos y a infantes de edades mayores la pHF (Exl 2000).

**Tabla 8.4 Comparación entre la leche materna, la leche de vaca.**

	Proteína (g)/100g	Grasa (g)/100g	Carbohidratos (g)/100g	Energía (Kcal/100g)
Leche de Vaca	3.2	3.7	4.6	66
Leche Humana	1.1	4.2	7.0	72

Fuente (CEDELE 2004)

El uso de las leches maternizadas es muy amplio tanto que actualmente, en países como los Estados Unidos de América, solamente 54% de los bebés son alimentados únicamente por la leche materna; el resto se alimenta con fórmulas infantiles. Esta carencia se debe a diferentes causas que pueden hacer a la madre abandonar sus esfuerzos de amamantar; como son ansiedad, tensión, fumar y algunas cirugías de seno (Consulta de Internet [h]).

## CAPITULO 9

### PROCESOS Y PRODUCTOS ADICIONALES

#### 9.1 FÓRMULAS PARA BECERROS

En el Trópico Mexicano al menos el 40% de la producción de leche se destina a la industria quesera. En promedio por cada 10 litros de leche procesada se obtienen 9L de lactosuero, la mayoría de los cuales se desecha a mantos acuíferos y subsuelo, causando problemas de contaminación. A pesar de su alto valor nutricional, el lactosuero no suele utilizarse en la alimentación de becerros por su rápida descomposición.

##### Lactosuero fermentado

La elaboración del lactosuero de leche fermentado consiste en agregar 1L de Yakult® (8 botellitas de 125 mL) en 9L de lactosuero fresco, 24 horas después adicionar estos 10L de lactosuero fermentado (inóculo) a 100L de lactosuero fresco y dejar fermentar por 24 horas. Separar cada día 10L de lactosuero fermentado para agregar a 100L de suero fresco. Se recomienda realizar el primer paso cada mes para mantener joven la población de lactobacilos. Se sugiere utilizar contenedores de plástico con tapa para fermentar el lactosuero. Con esta innovación, además de preservar el lactosuero, es una vía para el suministro de probióticos en la alimentación de becerros.

Se recomienda ofrecer a los becerros 3L de lactosuero fermentado diario desde el primer mes de vida. Incrementar cada mes 1L diario en su alimentación. Después de los 3 meses de edad del becerro, el lactosuero fermentado se puede dar a libertad. Becerros de 6 meses de edad consumen hasta 8L de lactosuero diario.

### **Aplicación del lactosuero fermentado**

Esta tecnología se puede aplicar en las regiones tropicales donde se tengan sistemas de producción bovina de leche en pastoreo y de doble propósito, de preferencia cercanas a queserías. Como en los estados de Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán, Quintana Roo, Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Colima, Jalisco y Puebla.

El lactosuero se consigue en queserías aledañas a los sistemas de producción, y los lactobacilos se obtienen de productos lácteos comerciales como el Yakult® o similares disponibles ampliamente en el mercado.

Actualmente, el lactosuero fresco no tiene costo, ya que es preferible regalarlo que tirarlo, solo el costo del transporte se tiene que considerar. El uso de lactobacilos preserva al lactosuero hasta por 48 horas a temperatura ambiente. En becerros, el consumo de lactosuero fermentado ahorra en un 40% el consumo de concentrado para alimentación del becerro, o sustituye en un 25% el consumo de leche del becerro, sin decremento en las ganancias diarias de peso del becerro.

El lactosuero tiene un alto valor nutricional en la alimentación de becerros por su contenido de lactosa y proteínas. Un ejemplo es que en el estado de Veracruz se producen diariamente 644 mil litros de lactosuero que, alcanzaría para ofrecer 4 litros diarios a 161 mil becerros de la ganadería de leche y doble propósito de este estado. Un beneficio adicional para el ganadero al utilizar el lactosuero es que se puede ahorrar un 25% de leche destinada a la alimentación del becerro (equivale a un litro de leche diario, que en lugar de ser consumido por el becerro, se podría destinar para consumo humano) o 40% de forraje (lo que representa 30 kg de pienso en forma de concentrado al mes) (SAGARPA [1] 2001).

## 9.2 OBTENCIÓN DE LACTOSA Y SUS USOS

La lactosa representa el 5% del lactosuero fresco y un 15 a 70% en el WPC, esto implica que se generan grandes cantidades de lactosa en la elaboración de quesos. En los quesos por coagulación ácida como el Cottage y el Quark, la lactosa ha sido hidrolizada a ácido láctico y no es posible obtenerla (CEDELE 2004).

La lactosa ha encontrado diversas aplicaciones en la industria alimentaria principalmente como aditivo y excipiente de sabores. Los usos de la lactosa se basan en su relativamente baja dulzura, propiedades estabilizadoras de proteínas, tendencia a la cristalización, capacidad para acentuar el sabor, cualidades nutricias (la inclusión de lactosa en la dieta mejora la utilización de calcio y otros minerales) y capacidad para participar en el pardeamiento de Maillard.

La dulzura relativa de la lactosa se considera comúnmente como un sexto de la que posee la sacarosa; sin embargo, estudios recientes indican que su dulzura varía con la concentración, oscilando desde la mitad a un cuarto de la que tiene la sacarosa. Puesto que los azúcares se utilizan frecuentemente para aumentar la viscosidad y/o sensación al paladar, o para mejorar el aspecto y la estabilidad, la lactosa se aplica de igual forma teniendo la ventaja de reducir la dulzura.

A diferencia de muchos otros azúcares de los alimentos, la adición de lactosa no reduce la solubilidad de la sacarosa. Además al aumentar la concentración de la sacarosa, ocurre la formación de pequeños cristales de ambos azúcares y se logra así un producto más blando y suave. Por lo tanto, la calidad de los caramelos y productos de repostería puede mejorar sustancialmente con la adición de lactosa (Badui 1994).

### **Obtención de lactosa**

Para la separación de lactosa del lactosuero se recomienda el descremado previo y de ser posible la separación de proteínas del mismo, de esta forma los rendimientos de lactosa son mayores, al no perder hasta un 10% en la refinación por la presencia de proteínas, por lo que es recomendable utilizar el permeado de la ultrafiltración resultante de la separación de proteínas y/o el lactosuero residual de la obtención de quesos.

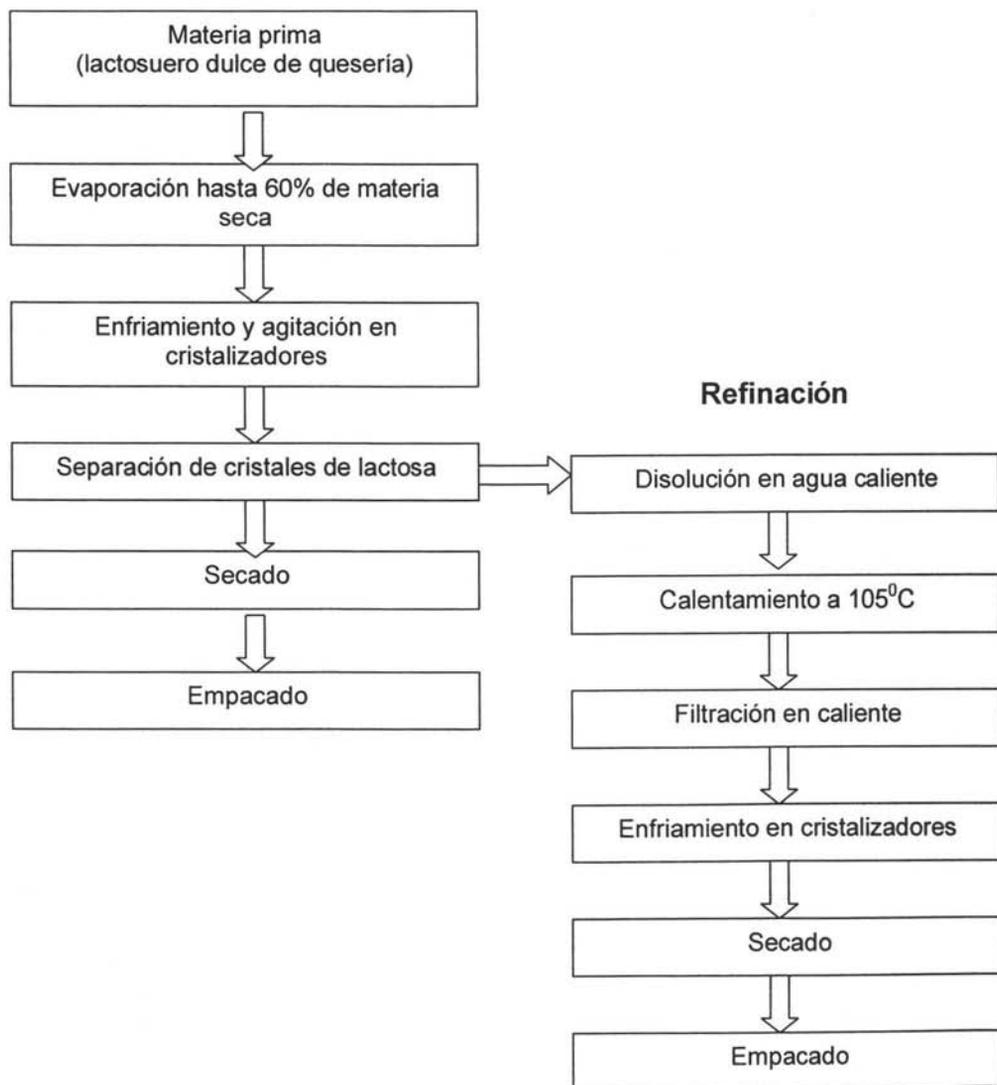
El proceso inicia con la concentración de la lactosa, mediante la evaporación de agua, obteniendo entre un 50 a 60% de materia seca. El concentrado se enfría y se agita lentamente en cristalizadores, en esta etapa, es un punto de importancia la obtención de cristales grandes que faciliten la separación posterior y que absorban menos impurezas.

Los cristales son separados en dos etapas sucesivas en centrifugas de eje horizontal descargando hasta un 90% de materia seca. A partir de este punto el proceso puede tomar dos rutas, una es pasar al proceso de secado en donde se obtiene lactosa bruta en polvo sin refinar, y la otra ruta es la refinación.

### **Refinación de lactosa**

Para la refinación de lactosa, los cristales brutos se vuelven a disolver en agua caliente hasta una concentración de 50 a 60% de materia seca, esta solución se hace pasar por un intercambiador de placas donde alcanza una temperatura de 105°C, la solución calentada se pasa por filtros de carbón activado o tierras de diatomeas. Una vez filtrada la solución se envía a los cristalizadores donde se cristaliza nuevamente, se separan los cristales y se procede a la operación de secado y envasado.

## Diagrama de proceso de obtención de lactosa



Fuente (Madrid 1999)

### 9.3 OBTENCION DE ETANOL POR BIOCONVERSION DEL LACTOSUERO

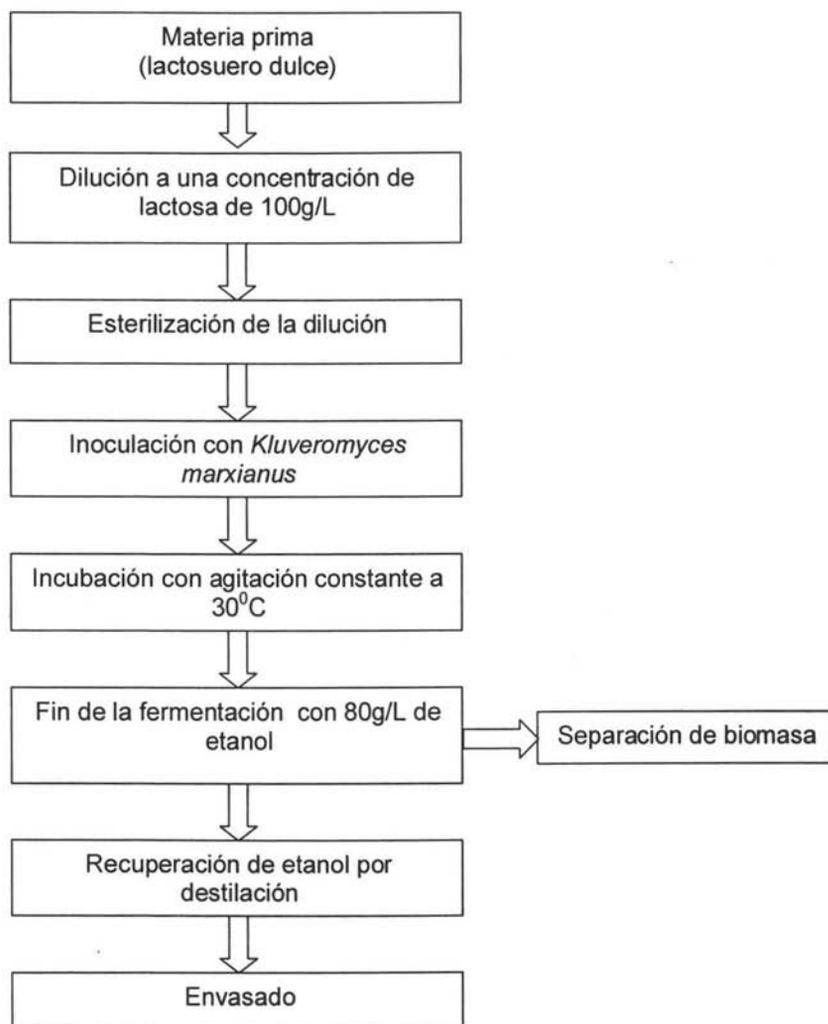
La bioconversión del lactosuero en etanol es una alternativa de gran futuro ya que el etanol se ve cada vez mas como una fuente de combustible renovable. En países como Irlanda, Estados Unidos de América y Nueva Zelanda, existen plantas a gran escala que comercializan etanol a partir del lactosuero.

La fermentación requiere ciertas condiciones en donde, es necesario hacer diluciones para disminuir la concentración de lactosa, que es el principal sustrato para la fermentación. Las investigaciones han mostrado que *Kluveromyces marxianus* tiene una mejor sobrevivencia y rendimientos de etanol que la ya conocida *Saccharomyces cerevisiae*, que incluso no pude ser utilizada para producción de etanol en lactosuero por su poca sobrevivencia.

#### Fermentación

Para realizar la fermentación se requiere lactosuero dulce, ya que el sustrato será la lactosa, este debe ser esterilizado para evitar la presencia de flora competitiva y alterante, la concentración de lactosa debe estar alrededor de 100g/L y no mayor a 130g/L, para evitar inhibición de *Kluveromyces marxianus*, se incuba a 30<sup>0</sup>C con agitación constante, las condiciones pueden ser aerobiosis o anaerobiosis, aunque se ha observado que se tiene mayor rendimiento en condiciones de anaerobiosis, la fermentación finaliza con la inhibición de *Kluveromyces marxianus* , cuando la concentración de etanol es cercana a 80g/L. Se separa la biomasa de la fermentación y el etanol producido se recupera por destilación (Silveira 2005).

## Diagrama obtención etanol por bioconversión del lactosuero



Fuente ( Silveira 2005)

## IV. CONCLUSIONES

- La producción nacional de leche presenta un crecimiento en el sector nacional, destacando los sectores tecnificados, alcanzando estos para el año 2001 el 51% de la producción del país.
- La tecnificación del sector lechero implica una mayor elaboración de productos, lo que da importancia para que el lactosuero de las queserías, sea aprovechado, tanto como por la fuente de nutrimentos que posee, así como por la recuperación económica debida a su aprovechamiento.
- Se presento la información de más de 10 productos, que se pueden elaborar o formular a partir del lactosuero de quesería representando alternativas para su aprovechamiento.
- La proteína del lactosuero es el componente mayoritario en el lactosuero, se puede industrializar en forma de alguno de los concentrados proteínicos, o por la elaboración de varios productos.
- Las proteínas del lactosuero están reconocidas por la FAO como las de mayor calidad nutrimental, con un valor biológico de 100, una digestibilidad de 99% y una relación de eficiencia de la proteína de 3.2 .Todo ello implica la importancia de su recuperación a partir del lactosuero de quesería, para la elaboración de productos con un buen contenido nutrimental.
- La funcionalidad de las proteínas del lactosuero es amplia, en donde se destaca el gelificado, espumado, y microencápsulado, que se aplica en productos lácteos y bebidas, además de extensor de proteínas en botanas, y productos cárnicos, en donde permiten mejorar la calidad sensorial de muchos productos.

- Se presenta la forma de elaboración de diversos productos en diagramas y tablas de composición, que pueden elaborarse con lactosuero fresco de una forma artesanal como son; el Requesón, los quesos, Ricotta, Mysost, las bebidas fermentadas, y el kéfir. Así también información para formular productos como yogurt, helados, botanas y algunos productos cárnicos con los concentrados proteínicos de lactosuero.
- La utilización del lactosuero en alimentación animal es escasa debido a la mejora y costo económico en los concentrados para animales, lo que hace preferible la utilización de éstos en lugar del lactosuero fresco. Por otro lado el lactosuero deshidratado es demasiado costoso para ser utilizado para la alimentación animal.
- La diversidad de productos que se pueden obtener y en los cuales las proteínas del lactosuero forman parte, abre un amplio mercado, generando buenas expectativas para la viabilidad de su industrialización.
- El lactosuero fresco se utiliza para engorda de becerros, como un sustituto parcial de leche, para ello se fermenta con lactobacilos para conservarlo mayor tiempo (2 a 3 días).
- El uso y destino del lactosuero debe ser según la industrialización, capital y captación de lactosuero de quesería. Teniendo en cuenta que productos como los WPC, y las bebidas energizantes en polvo, son de alto valor económico, por otro lado productos como los quesos pueden realizarse a nivel artesanal lo que es una alternativa fácil del aprovechamiento del lactosuero.
- En cuanto a la lactosa que posee el lactosuero dulce, esta puede utilizarse en diferentes formas, bien sea realizando su separación y obteniéndola como un producto, o realizando una bioconversión a etanol en el mismo

lactosuero, donde la lactosa es el sustrato principal, esto tiene la gran ventaja de que el etanol posee grandes aplicaciones. Cobra importancia el que el etanol se vea como una fuente combustible renovable ante la inminente escasez y aumento del costo de la energía proveniente del petróleo.

- La información recolectada en este documento permite ampliar y conocer alternativas para el aprovechamiento del lactosuero de quesería considerado como un subproducto sin uso en la industria de lácteos del país. Las alternativas que una industria o quesería tome dependerá de su capital y recursos que tenga. Se propone un orden en cuanto a los costo de equipo y elaboración.

Alternativas de una Quesería Artesanal: Requesón, Ricotta, Mysost, bebidas saborizadas, kéfir y yogurt.

Alternativas de una Quesería Industrializada: obtención de WPC, WPI, lactosa refinada, bebidas energizantes en polvo, formulas para infantes, etanol.

Alternativas para industrias de alimentos en general: utilización de WPC en helados, confitería y panadería, elaboración de yogurt, bebidas energizantes en polvo, elaboración de botanas extruidas con WPC y extensor de proteína de algunos productos cárnicos.

## V. RECOMENDACIONES

- La ganancia económica con el aprovechamiento del lactosuero es redituable ya que si no es aprovechado se desecha, lo que hace que sea una materia prima de muy bajo costo.
- Divulgar la información de las formas del aprovechamiento del lactosuero a queserías artesanales e industriales, para fomentar e iniciar el aprovechamiento del lactosuero.
- Diseñar programas gubernamentales para el aprovechamiento del lactosuero, tanto por la recuperación de una excelente fuente nutricional, así como una fuente de ingreso económico.

## VI. BIBLIOGRAFIA

1. Alais Ch. Ciencia y tecnología de la leche. Principios de técnica lechera. Editorial Reverte.S.A Barcelona España 1992. 314-327.
2. Amiot. J. Ciencia y Tecnología de la Leche. Editorial Acribia. Zaragoza España.1998 530-565.
3. Atra Ramadan, Vatai G, Bekassy-Molnar E, Balint A. Investigation of ultra- and nanofiltration for utilization of whey protein and lactose. Journal of Food Engineering. 2004.325-332.
4. Badui D.S. Química de los alimentos. (segunda edición). Editorial Alhambra Mexicana. México 1994. 150-165, 70-82.
5. Belitz W, Grosor W. Química de los alimentos (segunda edición).editorial Acribia Zaragoza España 2000. 527-548
6. Britten M and Giroux H.J. Acid-induced gelation of whey protein polymers: effects of pH and calcium concentration during polymeration. Food Hydrocolloids. 2001.609-617.
7. Carrera-Sanchez C, Rodríguez-Niño R.M, Lucer-Caro A. Rodríguez-Patiño J.M. Et . Biopolymers and emulsifiers at the air waters interface, Implications in food colloid formulations. Journal Food Engineering. 2004 225-234.
8. Chamorro M.C, Losada M. L. El Análisis Sensorial de los quesos. Editorial AMV Ediciones. España 2002. 30-33.

9. (CEDELE). Centro de Estudios de la Leche A.C Diplomado en lactología. de quesos naturales, frescos y madurados, yogurt y cultivos lácticos. México 2004.
- 10.-(CPLM-N) Centro de Producción mas Limpia de Nicaragua. Estudio de Pre-factibilidad para la instalación de una planta procesadora de bebidas para infantes a base de lactosuero- CPML-N. Nicaragua 2004. 1-52.
- 11.Cenzano I, y Madrid V .A. Los Quesos. Editorial Mundi-Prensa libros S.A. Madrid España 1994. 11-21.
- 12.Dairy Management Inc [1]. Acid Whey Functions as Prebiotic in Yogurt. Dairy Discovery.2000 1-4.
- 13.Dairy Management Inc [2]. Advanced Innovations in Dairy, whey Ingredient Technologies. Dairy Industry Technologies. 2004 1-6.
- 14.Dairy Management Inc [3]. Dairy technology cranks up premium ice cream quality Ingredients insight, doing more dry milk & dry whey ingredients. 1999.2-4.
- 15.Dairy Export Council U.S [1]. Nutritional, functional benefits and major applications. U.S Dairy in Food Assistance Programs.2002.2-12.
- 16.Dairy Export Council U.S [2]. Protein Quality Evaluation Chart. Report of de Joint FAO/WHO 2000. U.S whey products, second edition. 2000.
- 17.Davis J.P, Doucet D, Foeding E.A. Foaming and interfacial properties of hydrolyzed  $\beta$ -lactoglobulin. Journal of Colloid and Interface Science. 2005. 412-422.

18. Dickinson E. and Parkinson E.L Heat-induced aggregation of milk protein-stabilized emulsions: sensitivity to processing and composition. *International Dairy Journal* 14 (2004) 635–645.
19. Ewan H. Zemel M.B. Functional properties of whey, whey components, and essential amino acids; mechanisms underlying health benefits for active people. *The Journal Nutritional Biochemistry*. 2003.251-258.
20. Exl B.M. A review of recent developments in the use of moderately hydrolyzed whey formulae in infant nutrition. Department of Nutrition. Nestle Suisse.SA. *Nutrition Research* 2000. 355-379.
21. Fachin L, and Viotto W.H. Effect of pH and heat treatment of cheese whey on solubility and emulsifying properties of whey protein concentrate produced by ultrafiltration. *International Dairy Journal*.2005 32-332.
22. Fennema Owen R. *Química de los Alimentos*. Segunda Edición. Editorial Acribia S.A. Zaragoza. España 2000. 1001-1016.
23. Forstrom C.K, Vegarud G, Langsrud T, Risberg M.E. Hydrolyzed whey proteins as emulsifiers and stabilizers in high-pressure processed dressings. *Food Hydrocolloids* 18 (2004) 757–767.
24. Gonzalez-Martinez C, Becerra M, Cháfer M, Albors A, Carot J.M. Chiratl A. Influence of substituting milk powder for whey powder on yoghurt quality. *Food Science & Technology* (2002) 334–340.
25. Gravelan-Bikker J.F, Anema S.G. Effect individual whey protein on the rheological properties of acid gels prepared from heated skim milk. *International Dairy Journal*. 2003 401-408.

26. Hualde José Maria, Javier Pagola y Paloma Torre Quesos de Navarra. Colección: Temas de Navarra nº 2. Fondo de publicaciones del Gobierno de Navarra. España 2000. 5-10.
27. Hugunin A. Ph. D. USA. Whey products in yogurt and fermented dairy products. U.S. Dairy Export Council. 1999. 1-8.
28. Inda-Cunningham A.E. Optimización de Rendimiento y Aseguramiento de Inocuidad en la Industria de la Quesería Organización de los Estados Americanos OEA .2000.63-93.
29. Innocente N, Comparin D, Corradini C. Proteose-peptone whey fraction as emulsifier in ice-cream preparation. International Dairy Journal. 2002.69-74.
30. Janer C, Pélaez C, Requena T. Caseinomacropéptide and whey protein concentrate enhance *Bifidobacterium lactis* growth in milk. Food Chemistry.2004. 263-267.
31. Kananen A, Savolainen J, Makinen J, Perttila U, Myllykoski L, Pihlanto-Leppala A. Influence of chemical modification of whey protein conformation of hydrolysis with pepsin and trypsin. International Dairy Journal. 2000.691-697.
32. Keating Patric F. Introducción a la lactología. Editorial Limusa. México 1992.184-187.
33. Keogh K M, O'Kennedy B.T. Milk microencapsulation using whey protein. International Dairy Journal. 1999 657-663.

34. Lee S.J and Rosenberg M. Whey Protein-based Microcapsules Prepared by double emulsification and heat gelation. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.*, (2000).80-88.
35. Lucas D, Rabiller-Baudry M. Millesime L, Chaufer B, Daufin G. Extraction of  $\alpha$ -lactalbumin from whey protein concentrate with modified inorganic membranes. *Journal Membrane Science*.1998.1-12.
36. Luquet Francois M. Leche y productos lacteos 2. Los productos lácteos. Editorial Acribia S.A. Zaragoza España.1999.83-108.
37. Madueria A.R, Pereira C.I, Truzkowska K, Gomes A.M, Pintado M.E, Malcata F.X. Survival of probiotic in a whey cheese vector submitted to environmental conditions prevailing in the gastrointestinal tract. *International Dairy Journal*.2005. 921-927.
38. Madrid V.A. Modernas técnicas de aprovechamiento del lactosuero. Editorial Mundi-Prensa S.A. España 1993. 13-47, 91-107..
39. Matthew F.P and Hanna M.A. Physical and Functional Properties of Twin-screw Extruded Whey Protein Concentrate-corn Starch Blends. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol*, (1997). 359 - 366.
40. McSweeney S.L, Mulvihill D.M, O'Callaghan D.M.The influence of pH on the heat-induced aggregation of model milk protein ingredient systems and model infant emulsions stabilized by milk protein ingredients. *Food Hydrocolloids* 2003. 109 -125.
41. Mor R, Shoemaker C.F, Rosenberg M. Mechanical properties of composite gels consisting of fractionated whey proteins and fractionated milk fat. *Food Hydrocolloids* 18 (2004) 153 -166.

42. Norma Oficial Mexicana NOM-035-SSA1-1993, Bienes y servicios. quesos de suero especificaciones sanitarias.
43. Norma Oficial Mexicana NOM-131-SSA1-1995, Bienes y servicios. Alimentos para lactantes y niños de corta edad. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales.
44. Neyestani T.R, Djalali M, Pezeshki M. Isolation of  $\alpha$ -lactalbumin,  $\beta$ -lactoglobulin, and bovine serum albumin from cow's milk using gel filtration and anion-exchange chromatography including evaluation of their antigenicity. *Protein Expression & Purification*. 2003.202-208.
45. Onwulata C.I. Smith P.W, Konstance R.P, Holsinger V.H, Incorporation of whey products in extruded corn, potato or rice snacks. *Food Research International*. 2001. 679-687.
46. Paraskevopoulou A, Athanasiadis I. Blekas G, Kountinas A.A, Kanellaki M. Kioseoglou V. Influence of polysaccharide addition on stability of a cheese whey kefir-milk mixture. *Food Hydrocolloids* .17. (2003) 615–620.
47. Picot A and Lacroix C. Encapsulation of bifidobacteria in whey protein based microcapsules and survival in simulated gastrointestinal conditions and in yogurt. *International Dairy Journal*. 2003. 505-515.
48. Prentice J.H. Dairy Rheology A Concise Guide. Ed Food science and technology. New York. United States of America .1993.115-146.
49. Protein Quality Evaluation, Report of the Joint FAO/WHO Consultation; Reference Manual for Whey Proteins, 2<sup>nd</sup> (accesado el 10 Febrero 2005) Disponible en linea <http://www.wheyoflife.org/facts/ProteinQualityWeb.pdf>

50. (PLZ) Productos Lácteos de Zamorano Evaluación de sorbetes y bebidas elaboradas a base de concentrado proteínico del suero de queso. (accesado el 14 abril 2005) Disponible en línea:  
<http://www.monografias.com/trabajos12/suero/suero.shtml#revi>
51. Punvanenethiram A, Williams R.P.W, Augustin M.A. Structure and viscoelastic properties of set yoghurt with altered casein to whey protein ratios. *International Dairy Journal*. 2001. 383-391.
52. Renner E, and El-Salam A. Application of Ultrafiltration in the dairy Industry. Ed Elsevier Applied Science. New York .USA. 217-270 1999.
53. Resch J.J, Daubert C.R, Foeding E.A. The effects of acidulant type on the rheological properties of beta-lactoglobulin gels and powders derived from these gels. *Food Hydrocolloids*. 2005. 851-860.
54. Rouimi S, Schorsh C, Valentini C, Vaslin S. Foam stability and interfacial properties of milk protein-surfactant systems. *Food Hydrocolloids*. 2004. 1-12.
55. Saboya L.V, Maubois Jean-Louis. Currents developments of microfiltration technology in the dairy industry. *Laboratoire de Recherches de Technologie Laitiere, INRA, France*. 2000. 541-543.
56. Sandoval-Castilla O, Lobato-Calleros C, Aguirre-Mandujano E, Vernon-Carter E.J. Microestructure and texture of yogurt as influenced by fat replacers. *International Dairy Journal*. 2004. 151-159.
57. SAGARPA [1] Inifap. Bovino (becerro). Preservación de suero de leche con lactobacilos para la alimentación de becerros. México. 2002. 1-2.

58. SAGARPA [2] Coordinación General de ganadería. La producción y el mercado de productos lácteos en México. México 2001.
59. SAGARPA. [3] Panorama mundial de la leche. (accesado el 30 julio 2005). Disponible en línea.  
<http://www.siap.sagarpa.gob.mx/InfOMer/analisis/anleche.html#intro>
60. Scott R. Fabricación de Queso. Segunda Edición Editorial Acribia. S.A. Zaragoza España 2002. 353-359.
61. Silveira W.B, Passos F.J.V, Mantovani H.C, Passos F.M.L. Ethanol production from cheese whey permeate by *Kluveromyces marxianus* UFV-3; A flux analysis of oxido-reductive metabolism as a function of lactose concentration and oxygen levels. Enzyme and Microbial Technology. 2005. 930-936.
62. Sok-Line V.L, Remondetto G.E, Subirade M Cold gelation of  $\beta$ -lactoglobulin in oil-water emulsions. Food Hydrocolloids. 2005. 269-278.
63. Valle-Rivera M.C, Álvarez-Macias A.G. La producción de leche en México en la encrucijada de la crisis y los acuerdos del TLCAN. México, Reunión de LASA abril 17-19 de 1997. (accesado 10 Febrero 2005) Disponible en línea <http://136.142.158.105/LASA97/delvrivalvarez.pdf>
64. Valle-Rivera M.C, Aguilar-Cruz C, Hernández-Tinajero A. Efectos económico-sociales de la política neoliberal en el sistema lácteo mexicano. La reestructuración productiva en dos microregiones. (accesado 10 Febrero 2005). Disponible en línea en <http://www.unam.mx/rer/DELVALLE.html> obtenida el 19 Feb 2005.

65. Walstra P, Geurts T.J, Normen A, Jellema A. Química y física lactológica. Editorial Acribia Zaragoza España 2001. 29-97.
66. Zhang Z, Dalgleish D.G, Goff H.D. Effect of pH and ionic strength on competitive protein adsorption to air/water interfaces in aqueous foams made with mixed milk proteins. Colloids and Surfaces B. (2004) 113-121.
67. Zorba O, Kurt S, Genccelep H. The effects of different levels of skim milk powder and whey powder on apparent yield stress and density of different meat emulsions. Food Hydrocolloids. 2005.149-155.

### **Consultas de Internet**

a) Answer.com Fast Fac. topic chesse; gjetost and mysost (accesado el 25 mayo del 2005). Disponible en línea: <http://www.answers.com/topic/gjetost-cheese>

b) Recipe Achive. Food and drink; Mysost (accesado el 25 de mayo del 2005) Disponible en línea: <http://www.dlc.fi/~marianna/gourmet/mysost.htm>

c) De remate.com ; Proteína de suero 100% Whey de optimum nutrition ( accesado el 25 de mayo ). Disponible en línea:  
<http://www.deremate.com.co/accdb/ViewItem.asp?Data=6717201%7C3768>

d) Mundo Gym; Nutrición; Proteína. (accesado el 25 de Mayo 2005). Disponible en línea: <http://www.mundogym.com.ar/index.htm>

e) Irish Dairy borrad; Menú de productos; Productos a base de suero. ( accesado en linea el 25 de mayo del 2005). Disponible en línea:  
<http://www.idb.ie/spanish/whey-lomin90.htm>

f) Steven P. W. Infant formulas versus Breast milk. Pharmaceutics, School of Pharmacy, Southwestern Oklahoma State University, Weatherford U.S Pharmacist. (accesado el 25 de mayo del 2005) .Disponible en línea:  
[http://www.uspharmacist.com/oldformat.asp?url=newlook/files/Cons/ACF2F78.cfm&pub\\_id=8&article\\_id=74](http://www.uspharmacist.com/oldformat.asp?url=newlook/files/Cons/ACF2F78.cfm&pub_id=8&article_id=74)