

Universidad Nacional del Litoral.
Facultad de Ingeniería Química.

*CARRERA
ESPECIALIZACIÓN EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LA
LECHE Y PRODUCTOS LÁCTEOS.*

**“REVISIÓN CRÍTICA DE
PROCESOS PARA EL
TRATAMIENTO DEL SUERO
LÁCTEO. CARACTERÍSTICAS Y
APLICACIONES DE LOS
PRODUCTOS OBTENIDOS.
ESCENARIO ACTUAL”.**

Lic. María Belén Pirola

Trabajo Final Integrador para optar al título ESPECIALISTA EN CIENCIA Y
TECNOLOGÍA DE LA LECHE Y LOS PRODUCTOS LACTEOS.

Tutor: Ing. Carlos Zalazar.

Santa Fe, Agosto de 2011

Índice

Abreviaturas.....	4
I- Resumen.....	5
II- Objetivos.....	6
III- Introducción.....	7
III. 1- Leche.....	7
III. 2- Fabricación de quesos y producción de suero.....	7
III. 3- Principales componentes del suero.....	12
III. 3. 1- Proteínas, péptidos y aminoácidos.....	12
III. 3. 2-Lactosa.....	14
III. 3. 3- Otros componentes.....	15
III. 4- Importancia biológica de los componentes del suero.....	15
IV- Tecnologías disponibles para el tratamiento de suero de quesería.....	20
IV. 1- Tratamientos previos. Suero líquido.....	20
IV. 2- Obtención de sólidos totales del suero.....	23
IV. 3- El uso de membranas en el tratamiento de suero.....	27
IV. 4- Desmineralización.....	35
IV. 5- Separación y obtención de los componentes del suero.....	37
IV. 5. 1- Proteínas.....	37
IV. 5. 1. 1- Recuperación de las proteínas desnaturalizadas del suero... 41	
IV. 5. 1. 2- Aislamientos por cromatografía.....	42
IV. 5. 2- Lactosa.....	43
V- Productos derivados de los componentes del suero.....	49
V. 1- Hidrolizados de proteínas de suero.....	49
V. 2- Glicosilación de proteínas.....	50
V. 3- Conversión de lactosa.....	50
Esquema resumen de procesos descritos para tratamiento del suero.....	58
VI- Estado de la producción y aprovechamiento del suero en la Argentina y en la provincia de Santa Fe.....	59
VI.1- Producción, características y destinos de la leche a nivel nacional.....	59
VI.2- Producción, características y destinos de la leche en la provincia de Santa Fe.....	61

VI.3- Panorama general del aprovechamiento del suero en Argentina.....	64
VI.4- Análisis crítico de la producción y destinos del suero en la provincia de Santa Fe.....	64
VI.4.1- Clasificación de las empresas de acuerdo al volumen de leche y de suero.....	64
VI.4.2- Destinos principales del suero y tecnologías disponibles de acuerdo a la clasificación de las empresas.....	65
VII- Análisis de los destinos del suero en función del volumen producido por cada planta.....	72
VIII- Discusión y conclusiones finales.....	75
IX- Referencias bibliográficas.....	78

Abreviaturas.

aa: aminoácidos

ACE: *Angiotensin Converting Enzyme.*

BCAA: aminoácidos de cadena ramificada.

BSA: albúmina sérica bovina.

DBO: demanda biológica de oxígeno.

DQO: demanda química de oxígeno.

g: gramo.

GalOS: galactooligosacáridos.

GMP: glicomacropéptido

GSH: glutatión

HIV: Virus de Inmunodeficiencia Humana.

Ig: inmunoglobulinas.

kg: kilogramo

L: litro.

LF: lactoferrina.

LP: lactoperoxidasa.

MF: microfiltración.

mo: microorganismo.

NF: nanofiltración.

°C: grados centígrados.

OI o RO: ósmosis inversa.

PET: polietilen tereftalato

ppm: partes por millón

s: segundos

TCA: tricloroacético.

UF: ultrafiltración.

um: micrómetro

WPC: *Whey Protein Concentrate.*

WPI: *Isolated whey protein.*

WPP: *Whey Protein-hydrolyzed Peptides.*

WPT: *Whey Protein Texturizer.*

I- Resumen

La leche es un líquido blanco opaco en donde coexisten simultáneamente tres estados: suspensión (proteínas caseínas), emulsión (materia grasa) y solución (sustancias disueltas: suero). La fase solución o suero está formada por todos los componentes solubles de la leche: proteínas del suero, sales (fosfatos, citratos, sales de calcio) y lactosa.

Los sueros lácteos se definen como la fracción de la leche, de cualquier especie, que no precipita por la acción del cuajo o por los ácidos, durante el proceso de elaboración de quesos. Es el líquido resultante de la coagulación de la leche durante la elaboración de queso. Constituye el 90% de la leche y contiene compuestos hidrosolubles.

El suero, como subproducto de la elaboración de quesos blandos, duros y semiduros y de la producción de caseína de cuajo, es conocido como suero dulce. La fabricación de caseína precipitada por ácidos minerales o por acidificación por bacterias lácticas da lugar a un suero ácido.

El suero contiene alrededor del 50% de los nutrientes de la leche original: una fracción nitrogenada compuesta por β - lactoglobulina, α -lactoalbumina, inmunoglobulinas, proteasas peptona, enzimas nativas, aminoácidos (aa), urea, creatina, ac. nucleicos y amoniac; lactosa, vitaminas y sales minerales.

Por este motivo, no aprovechar el lactosuero como alimento es un enorme desperdicio de nutrimentos; ya que contiene un poco más del 25% de las proteínas de la leche, cerca del 8% de la materia grasa y cerca del 95% de la lactosa.

Posee una DBO muy alta (50000 ppm) por lo que no puede ser liberado a los cursos de agua. Teniendo en cuenta el importante valor nutricional, funcional y biológico que presentan los componentes del lactosuero es de gran importancia lograr el aprovechamiento del mismo.

Actualmente existen numerosas alternativas tecnológicas para al aprovechamiento del lactosuero que varían ampliamente tanto en la naturaleza de los productos obtenidos como en la inversión económica que cada una requiere.

A las utilidades primarias y que aún siguen en vigencia para las pequeñas cantidades consistentes en la alimentación de animales y su vuelco directo en suelos, le siguieron los procesos de recuperación de proteínas desnaturalizadas y los de concentración de sólidos totales. Posteriormente se desarrollaron métodos de separación de los

componentes del suero que permitieran la obtención de concentrados proteicos y de lactosa con diferentes grados de pureza.

Más recientemente se ha conseguido un mayor valor agregado de los productos a través de procesos de transformación de la lactosa en componentes con numerosas propiedades funcionales y nutricionales, de la desmineralización por sistemas de membrana y del fraccionamiento de las proteínas conducentes a la obtención de péptidos con diversas actividades biológicas. En el presente trabajo se plantea describir en profundidad estos procesos, discutir la aplicación de sus productos y evaluar la alternativa más conveniente en función del volumen de suero producido. Además se presenta la situación actual de las empresas de la provincia de Santa Fe que representan el 70% de la leche procesada en la provincia en cuanto al destino del lactosuero como así también las tecnologías disponibles para el tratamiento del mismo.

II- Objetivos.

El presente trabajo final integrador persigue los siguientes objetivos:

- Realizar una investigación bibliográfica exhaustiva acerca de los conocimientos existentes hasta el presente sobre la composición y los tratamientos del suero de quesería, las aplicaciones del mismo como tal, el aprovechamiento de sus componentes aislados y los derivados de estos últimos.
- Analizar y organizar la información recopilada para identificar qué posible aplicación se adapta a cada tipo de empresa quesera teniendo en cuenta el volumen que procesa. Exponer diferentes alternativas a las industrias para aumentar la rentabilidad del suero a través de su procesamiento y obtención de productos de mayor valor agregado.
- Presentar la situación actual de aprovechamiento del suero de un porcentaje representativo de empresas lácteas de la provincia de Santa Fe.
- Recopilar toda esta información en este documento y que el mismo sea de utilidad para quienes necesitan resolver el problema de aprovechamiento de este subproducto o bien a quienes quieran profundizar la investigación en esta área.

III- Introducción

III. 1-Leche

La propiedad fundamental de la leche es la de ser una mezcla, tanto física como química (Tabla 1). Desde el punto de vista físicoquímico, la leche es un líquido blanco opaco en donde coexisten simultáneamente tres estados: suspensión (caseínas), emulsión (materia grasa) y solución (suero). La fase solución o suero está formada por todos los componentes solubles de la leche: proteínas del suero, sales (fosfatos, citratos, sales de calcio) y lactosa (Alais C 1985).

De esta concepción de la leche, considerada como mezcla, se derivan importantes consecuencias:

- Las proporciones de los componentes de la mezcla pueden variar ampliamente.
- Cada uno de estos elementos puede aislarse de la mezcla sin modificación.
- A pesar de ello, estos componentes no disponen, en la leche, de la independencia que se podría suponer cuando se los estudia aisladamente con un fin didáctico. Existen interdependencias más o menos estrechas.
- Las modificaciones experimentales en uno de ellos pueden influir sobre el estado del otro.

Tabla 1. Composición de la leche

Componente	%
Materia Grasa	3.50
Lactosa	4.90
Caseína	2.70
α -lactoalbúmina + β -lactoglobulina.	0.40
Albúmina + globulinas	0.15
Ácido cítrico	0.20
Cloruros	0.16
Fosfatos	0.25
Agua	87.74

Fuente: Alais 1985.

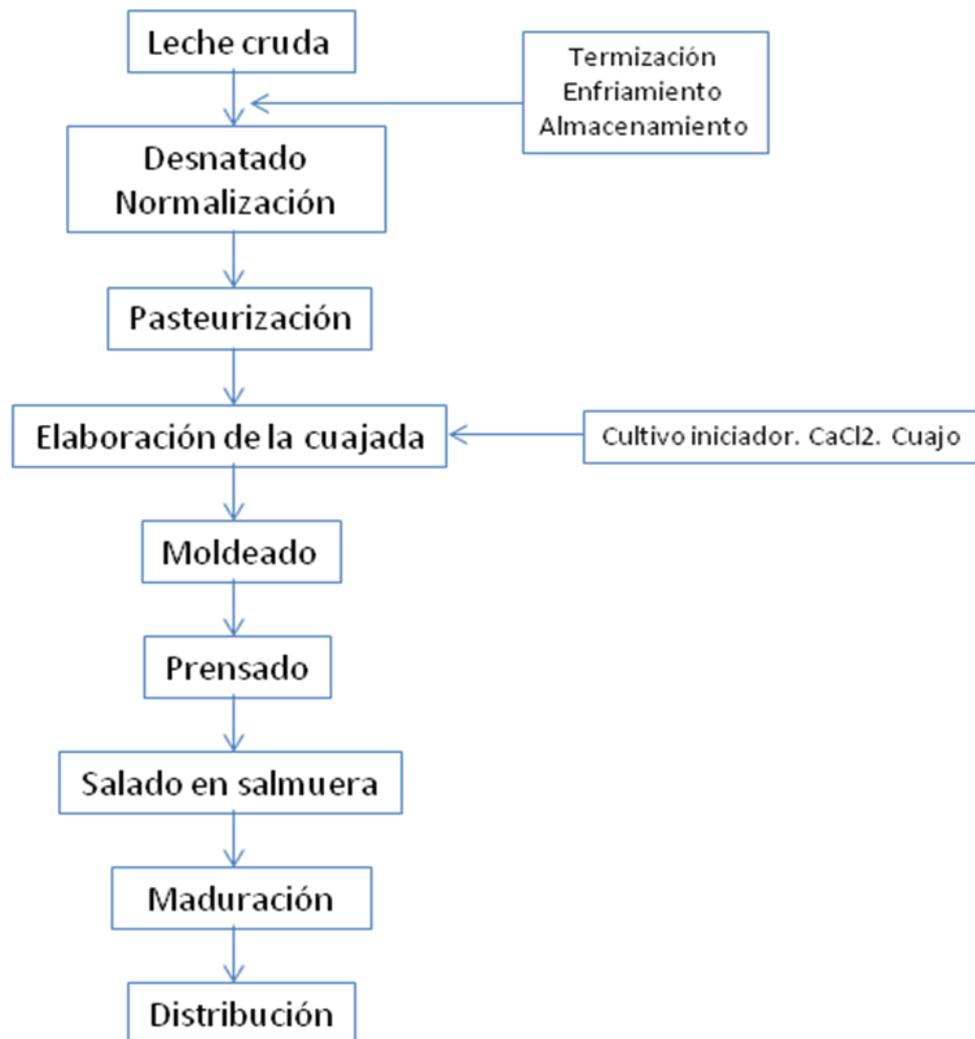
III. 2- Fabricación de quesos y producción de suero.

El queso es el producto sólido o semisólido, madurado o fresco que es obtenido por:

- Coagulación enzimática de la leche, por medio de la acción del cuajo o de otros agentes coagulantes adecuados, y con un escurrido parcial del lactosuero resultante de esta coagulación.
- Coagulación ácida, mediante el uso de ácidos inorgánicos, para la obtención de quesos blancos y ricota

La fabricación del queso implica cierto número de etapas fundamentales que son comunes a la mayoría de los diferentes tipos (Esquema 1).

Esquema 1. Proceso de elaboración de quesos con cuajo.



Para la elaboración de quesos de cuajada dulce, la leche para fabricación es pretratada, en ciertos casos prematurada tras la adición de un cultivo bacteriano apropiado al tipo de queso, y mezclada con el cuajo. La actividad enzimática del cuajo provoca que la leche coagule y pase a formar un gel conocido como cuajada o coágulo. Éste se corta en

pequeños cubos de tamaño adecuado –sobre todo para facilitar la expulsión del lactosuero. Durante el proceso de elaboración de la cuajada las bacterias se multiplican generando ácido láctico, y los granos de cuajada se someten a un tratamiento mecánico de agitación, al mismo tiempo que la cuajada se calienta según el tipo de queso que se elabore. El efecto combinado de estas tres acciones –crecimiento de bacterias, tratamiento mecánico y tratamiento térmico- da lugar a la sinéresis, es decir, a la separación del lactosuero de los granos de la cuajada. Luego la cuajada se coloca en moldes, se prensa, se sala y almacena para su maduración (Alais 1985; Bisang R et al 2003).

Los sueros lácteos se definen como la fracción de la leche, de cualquier especie, que no precipita por la acción del cuajo o por los ácidos, durante el proceso de elaboración de quesos. Constituye el 90% de la leche y contiene compuestos hidrosolubles (Ronda Lain 2000).

En esta solución se encuentran proteínas solubles, lactosa, vitaminas y sales minerales. La fracción proteica está compuesta por β -lactoglobulina, α -lactoalbumina, inmunoglobulinas, proteasa peptonas, enzimas nativas, aminoácidos (aa), urea, creatina, ácidos nucleicos y amoniaco (Alais C 1985). Estas seroproteínas son de apropiado balance de aminoácidos, alta digestibilidad y excelentes características funcionales.

El suero es una de las mayores reservas de proteínas alimentarias que aún permanecen fuera de los canales de consumo humano. Es una sustancia de alto valor nutritivo, pero muy contaminante al contacto con el agua y caro de procesar. El suero obtenido por kg de queso varía de 4 L para los frescos, hasta 11,3 L para los de pasta dura (Jaime Valencia, M C. 2008).

Posee una DBO muy alta (50000 ppm) por lo que no puede ser liberado a los cursos de agua. 0,25 – 0,30 L de suero sin depurar equivalen, aproximadamente, a la contaminación de las aguas residuales correspondientes a un habitante en un día. Una industria quesera media que produzca diariamente 400.000 L de suero sin depurar está generando una contaminación diaria similar a una población de 1.300.000 habitantes (Ronda Lain, E. 2000). La eliminación de los sueros lácteos a los ríos está prohibida, moral y legalmente, por lo tanto hay que seguir dos caminos: aprovechamiento integro del suero, o depuración. Teniendo en cuenta el importante valor nutricional, funcional y biológico que presentan los componentes del lactosuero es de gran importancia lograr el aprovechamiento del mismo. No usar el lactosuero como alimento es un enorme desperdicio de nutrimentos (Cunningham, A. I. 2000).

El suero, como subproducto de la elaboración de quesos blandos, duros y semiduros y de la producción de caseína de cuajo, es conocido como suero dulce y tiene un pH de 5,9 – 6,6. La fabricación de caseína precipitada por ácidos minerales o la elaboración de quesos blancos y ricota da lugar a un suero ácido con un pH de 4,3 – 4,6.

En la Tabla 2 se presenta la composición aproximada de estos dos tipos de suero:

Tabla 2. *Composición suero dulce y ácido.*

Constituyente	Suero de quesería (suero dulce) (%)	Suero caseínico (suero ácido) (%)
Sólidos totales	6.4	6.5
Agua	93.6	93.5
Grasas	0.05	0.04
Proteínas verdaderas	0.55	0.55
NPN (N no proteínico)	0.18	0.18
Lactosa	4.8	4.90
Cenizas (minerales)	0.5	0.80
Calcio	0.043	0.12
Fósforo	0.040	0.065
Sodio	0.050	0.05
Potasio	0.16	0.16
Cloruros	0.11	0.11
Ácido láctico	0.05	0.40

Fuente: Gösta Bylund M. (2002)

El contenido mineral suele ser ligeramente superior en los sueros ácidos. Generalmente ambas variedades de suero presentan un alto contenido de sales, constituyendo el NaCl y el KCl más del 50% del total de las sales presentes. Los sueros, particularmente los ácidos, contienen bastante fosfato cálcico y son muy pobres en hierro y yodo.

La capacidad de amortiguamiento (la variación del pH como función de las cantidades añadidas de ácidos y bases fuertes) de un lactosuero está determinada principalmente por las concentraciones de lactato y fosfato, por lo que también depende del pH al que el lactosuero fue separado de la cuajada durante la fabricación de queso (Cunningham, A. I. 2000). Estas propiedades son importantes durante el tratamiento térmico y la

precipitación de proteínas lactoséricas para elaborar requesones y, dependen también de otros factores como la concentración de sólidos del lactosuero.

III. 3- Principales componentes del suero.

III. 3. 1- Proteínas, péptidos y aminoácidos.

Se consideran proteínas del suero a aquella fracción no dializable contenida en el suero isoelectrico o en el suero de quesería. Representan el 20% del total de proteínas de la leche en el caso de la leche bovina. Tienen estructura típica de proteínas globulares compactas. A diferencia de las caseínas poseen estructuras secundarias, terciarias y cuaternarias. Las proteínas sufren un plegamiento intramolecular como resultado de la formación de puentes disulfuro entre los grupos sulfhidrilo de las cisteínas, quedando la mayor parte de los grupos hidrofóbicos encerrados en el interior, por esta razón no se agregan fuertemente ni interactúan con otras proteínas, en estado nativo (Fox PF et al 2003).

Las proteínas lactoséricas no reaccionan con el cuajo, son de peso molecular relativamente bajo, y son solubles en su punto isoelectrico, por lo que es necesario desnaturalizarlas para precipitarlas (Cunningham, A. I. 2000).

La solubilidad de las proteínas lactoséricas desnaturalizadas es limitada y su susceptibilidad a la precipitación térmica aumenta al aumentar la concentración de proteína (β -lactoglobulina) y al aumentar la concentración de iones Ca^{++} (Cunningham, A. I. 2000).

Dentro de las proteínas del suero se pueden citar (Tabla 3): β -lactoglobulina, α -lactoalbúmina, inmunoglobulinas (IgG1, IgG2, IgA e IgM), seroalbúmina bovina (BSA), lactoferrina, lactoperoxidasa, y otras fracciones peptídicas (Berruga Fernández 1999).

Tabla 3. Proteínas del suero.

Proteína	Porcentaje
β -lactoglobulina	50 a 55
α -lactoalbúmina	20 a 25
Inmunoglobulinas	10 a 15
Seroalbúmina	5 a 10
Péptidos (GMP)	2 a 5
Lactoferrina	1 a 2

La β -lactoglobulina es la proteína del suero mayoritaria, no está presente en leche humana y es el principal agente de alergias a la leche bovina (Grasselli M et al 1997). Representa el 70 % de las albúminas. Existen en leche 3 variantes genéticas y puede formar dímeros y octámeros. Al pH de la leche se encuentra como dímero.

La α -lactoalbúmina es la proteína de suero más característica de la leche. Está presente en las leches de todas las especies de mamíferos y es la principal proteína del suero encontrada en la leche humana. Es muy soluble en agua en un amplio rango de pH. En su estructura presenta cuatro puentes disulfuro, los que permiten mantener una estructura globular compacta. Existen dos variantes genéticas (Fox PF et al 2003).

Las Inmunoglobulinas son las proteínas del suero más termosensibles. Estos anticuerpos transmiten la inmunidad pasiva. Pueden encontrarse las inmunoglobulinas IgG, IgA e IgM. Las inmunoglobulinas son proteínas capaces de reconocer y unirse específicamente a las estructuras contra las que están dirigidas (antígenos), permitiendo su reconocimiento y facilitando su destrucción por el conjunto del sistema inmune. Se encuentran en gran concentración en el calostro (Fox PF et al 2003).

Las seroalbúminas bovina (BSA) es la proteína minoritaria de las albúminas, es una de las proteínas más grandes y posee 17 puentes disulfuro. Los aminoácidos se agrupan en 3 dominios con cada uno una carga definida. Esta proteína interviene en el transporte de moléculas pequeñas (ácidos grasos) a las que se une reversiblemente (Fox PF et al 2003).

El péptido más abundante y típico de los sueros de quesería es el glicomacropéptido (GMP), también llamado caseinomacropéptido, de 64 aa, procedente de la hidrólisis de la K-caseína durante el cuajado. También se han identificado en suero diferentes fracciones oligopeptídicas de unos 20-25 aa, procedentes de la hidrólisis de diversas caseínas durante la fabricación del queso. Otros compuestos nitrogenados presentes en el suero son las proteasa-peptonas (péptidos de tamaño medio), la urea (200-600 ppm) y el ácido úrico (Berruga Fernández 1999). Las proteasas peptonas son un grupo muy heterogéneo. Constituyen una fracción compleja formada por una mezcla heterogénea de polipéptidos que presentan alta estabilidad térmica. A pesar de poseer masas moleculares relativamente pequeñas se las incluye en el grupo de las proteínas porque precipitan en gran parte bajo la acción del ácido tricloroacético (TCA) a la concentración de 12%.

Proteínas menores. La lactoferrina es de origen mamario y de las mucosas, posee cisteína, hierro y glúcidos. Es una proteína de transporte con propiedades de fijar hierro.

Posee numerosas propiedades biológicas. Es termorresistente (Grasselli M et al 1997, Bruce G. 2000). La lactoperoxidasa es una enzima secretada al exterior y se expresa en las glándulas mamarias.

El suero es además rico en aa libres, particularmente en ácido glutámico, lisina, prolina, tirosina y ácido aspártico.

III. 3. 2-Lactosa:

El principal carbohidrato de la leche de la mayoría de los mamíferos es el disacárido lactosa y es considerada como “el azúcar de la leche”. La leche es la única fuente de lactosa conocida en la naturaleza. La principal función en leche es su aporte de energía (4 kcal/g). Su concentración varía mucho según cada especie. La lactosa constituye el 70-80% del total de los sólidos del suero y es el principal responsable de su DQO (Berruga Fernández 1999). La lactosa suele estar presente en sueros dulces o ácidos en similar concentración. En la leche cumple dos funciones importantes: es fuente de energía para el recién nacido y es responsable de mantener la presión osmótica de la leche. La lactosa es un disacárido, está compuesto por dos moléculas: galactosa y glucosa unidas por un enlace β -glicosídico. Su principal origen está en la glucosa de la sangre; el tejido mamario la isomeriza en galactosa y la liga a un resto de glucosa para formar la molécula de lactosa. También, en los rumiantes, la mama puede realizar la síntesis de la lactosa a partir de los ácidos grasos volátiles. La molécula de glucosa presenta un carbono anomérico dando una molécula asimétrica que le da la posibilidad de presentarse de dos maneras: la α -lactosa y la β -lactosa, estas dos formas se encuentran en equilibrio en la leche pero se puede ver afectado por diversos factores (Fox PF et al 2009). Las propiedades de ambos son diferentes: poder edulcorante, solubilidad, ángulo de desviación de la luz polarizada y cristalización, que es muy importante en la tecnología de las leches concentradas.

Una de las propiedades más interesantes de la lactosa es la mutarrotación. Cuando se disuelve un isómero de lactosa (por ejemplo α), inmediatamente comienza a transformarse parcialmente en β hasta alcanzar un equilibrio dinámico. En el equilibrio, el ángulo de rotación específica es $55,4^\circ$ y la relación β/α es 1,68. La lactosa posee bajo poder edulcorante, sólo el 16% del poder de la sacarosa (Fox PF et al 2009).

Por otro lado, la lactosa tiene la particularidad de mantenerse en solución aún estando sobresaturada, por un período de tiempo determinado. Cuando la lactosa precipita lo

hace en forma de cristales y no como amorfa. En estado sólido se encuentra en forma cristalina.

El poder reductor por el grupo aldehído de la glucosa interviene en las reacciones de pardeamiento enzimático que son las responsables del color oscuro de la leche cuando se somete a altas temperaturas y con un sabor característico (reacciones de Maillard) (Berruga Fernández 1999).

III. 3. 3- Otros componentes

Los minerales presentes en la leche presentan una amplia variedad de funciones fisiológicas esenciales, son componentes estructurales de los tejidos, de muchas enzimas y otras moléculas de importancia biológica. Pueden encontrarse 20 minerales nutricionalmente esenciales para el hombre, que están presentes tanto en leche humana como vacuna (Fox PF et al 2009).

El contenido mineral total de la leche de vaca es de 7.3 g/l, siendo la mayoría sodio, potasio, cloruros, calcio, fósforo y magnesio. Algunas porciones de todos estos minerales están presentes en la fracción soluble (suero) y también podemos encontrar ácido láctico y citrato (Fox PF et al 2009).

Por otro lado, la leche y los productos lácteos son una importante fuente de vitaminas. El contenido de vitaminas de la leche varía entre las especies. Las vitaminas que se encuentran en la fase acuosa de la leche son las hidrosolubles y por ende son las que se van con el suero. Estas vitaminas son las del complejo B y la C. Éstas participan en complejos enzimáticos y deben suministrarse continuamente porque no se depositan en el organismo. Presentan estructuras químicas muy diversas. En general, los sueros son una excelente fuente de vitaminas del grupo B, especialmente de B12, riboflavina, ácido pantoténico, biotina y colina (Schaller, A 2009).

III. 4- Importancia Biológica de los componentes del suero.

Los componentes del suero presentan altísimo valor biológico. No utilizarlos en alimentos es un enorme desperdicio de nutrientes.

Algunas características relevantes del suero es que posee proteínas de importante calidad biológica (Tabla 4) y funcional, como sus cualidades como emulsionante y espumante, su alta solubilidad, su gran aptitud gelificante y adhesiva y su elevada capacidad de retención de agua (U.S. Dairy Export Council 2010). En cuanto al valor nutricional, estas proteínas no son deficientes de ningún aa esencial. Es el complemento

ideal para la dieta de un organismo en desarrollo. El valor biológico y nutricional supera al de las caseínas.

Tabla 4. Comparación de calidad proteica.

Tipo de Proteína	Score de Aminoácidos Esenciales	Valor Biológico	% Digestibilidad Proteica
Concentrado de Proteína del Suero	1,14	104	99
Huevo Integral	1,21	100	98
Caseína	1,19	77	99
Concentrado de Proteína de Soja	1,04	74	95
Carne Bovina	0,94	80	98
Gluten de Trigo	0,47	54	91

Fuente: Archibald 2007.

En la Tabla 5 se indican las principales propiedades funcionales y biológicas de las proteínas del suero:

Tabla 5. Efecto funcional de las proteínas del suero.

Proteína	Efecto Funcional/Biológico
β -Lactoglobulina	<p>Función digestiva.</p> <p>Gelificante (en carnes y pescados).</p> <p>Solubilidad y nutrición (bebidas deportivas y soft).</p> <p>Estimula fijación de vitaminas liposolubles, aumentando su biodisponibilidad.</p> <p>Excelente fuente de aa esenciales y de cadena ramificada (BCAA) que ayudan a prevenir la degradación muscular.</p>
α -Lactoalbúmina	<p>Anticariogénico. Anticancerígeno.</p> <p>Nutrición (fórmulas infantiles).</p> <p>Actividad Inmunomodulatoria.</p>

	<p>Reduce el estrés (niveles elevados de triptófano), estimula el aumento de los niveles de serotonina en el cerebro.</p> <p>Provee todos los aa esenciales y aa de cadena ramificada (BCAA).</p>
Lactoferrina	<p>Antimicrobiano (se usa en fórmulas infantiles), inhibe a <i>Helicobacter pylori</i>.</p> <p>Antiviral.</p> <p>Transporte y regulación del hierro (absorción y biodisponibilidad).</p> <p>Inmunoestimulador. Antiinflamatorio.</p> <p>Crecimiento y proliferación celular. Promueve el crecimiento de bacterias benéficas, tales como <i>Bifidus</i>. Prebiótico.</p> <p>Anticariogénico. Anticancerígeno.</p>
Inmunoglobulinas.	Inmunidad pasiva. Protección contra enfermedades.
Lactoperoxidasa.	<p>Antibacteriano.</p> <p>Anticaries (para pastas dentales).</p>
Factores de crecimiento.	<p>Diferenciación y crecimiento celular.</p> <p>Reparación y protección de la mucosa intestinal.</p> <p>Reparación de lesiones.</p>
Albúmina sérica bovina	Provee aa esenciales.
Glicomacropéptido	<p>Actividad Antiviral.</p> <p>Acción bacteriostática.</p> <p>Actividad Inmunomodulatoria. Sistema de defensa pasiva a recién nacidos.</p> <p>Cantidades elevadas de aa de cadena ramificada (BCAA),</p> <p>Factor estimulador de bifidobacterias.</p> <p>Fuente de ácido siálico (importante para el desarrollo cerebral del lactante).</p>

	<p>Modulador de las secreciones gástricas.</p> <p>Estimula al organismo a producir colecistoquinina, (sensación de saciedad).</p> <p>Efecto sobre la producción de melanina y propiedades hidratantes de la piel.</p>
--	---

Fuente: Archibald (2007). Baró L et al 2001

Otros componentes que poseen actividad biológica importante son los biopéptidos que se obtienen a partir de las proteínas del suero. La forma de obtención de los biopéptidos es generalmente mediante digestiones in vitro, con enzimas proteolíticas tanto de origen animal como microbiano, e in vivo, por digestión de la proteína precursora (Torres Llanez, M J et al 2005).

Los péptidos bioactivos pueden atravesar el epitelio intestinal y llegar a tejidos periféricos vía circulación sistemática, pudiendo ejercer funciones específicas a nivel local, tracto gastrointestinal, y a nivel sistémico. Podrían alterar el metabolismo celular y actuar como vasoreguladores, factores de crecimiento, inductores hormonales y neurotransmisores (Baró L et al 2001). El catálogo de actividades incluyen, entre otras, opiáceas, inmunomodulantes, antimicrobianas, antitrombóticas, quelantes de minerales y antihipertensivas (Torres Llanez, M J et al 2005; Archibald 2007).

La generación de actividad antihipertensiva a partir de proteínas del suero depende de la proteasa utilizada y las condiciones de hidrólisis. Estudios realizados con animales han revelado que péptidos del suero hidrolizados actúan como inhibidores de la enzima transformadora de la angiotensina (ACE, del inglés *Angiotensin Converting Enzyme*), esta enzima es la responsable de la conversión de angiotensina I en angiotensina II, un poderoso vasoconstrictor. Esto llevaría a incorporar péptidos del suero a muchos productos alimenticios con el objetivo de reducir la presión arterial (Schlothauer, RC et al 2005; Archibald 2007).

En la Tabla 6 se detallan los péptidos obtenidos a partir de las proteínas del suero y su bioactividad:

Tabla 6. Bioactividad de los péptidos de proteínas del suero.

Proteína	Péptido Bioactivo	Bioactividad descrita
α -lactoalbúmina	Fragmento 50-53	Actividad opiácea.

β -lactoglobulina	β -lactorfinas	Actividad opiácea + antihipertensiva.
Lactoferrina	Lactoferrosina	Antagonista opiácea.

Fuente: Baró L et al 2001.

Además de las numerosas propiedades biológicas de las proteínas y los biopéptidos, también presentan un rico perfil de aa, poseen considerables cantidades de *aa esenciales*, *aa sulfurados* y *aa de cadena ramificada*. Por esta razón la proteína del suero es un ingrediente alimenticio dinámico capaz de desempeñar un papel fundamental en áreas de salud tan diversas como integridad de motilidad intestinal, funcionamiento y fortalecimiento del sistema inmunológico, cáncer, sistema cardiovascular y la mejoría del desempeño cardiorrespiratorio (Baró L et al 2001; Archibald 2007; Smithers 2008).

Los aa sulfurados: cisteína y metionina actúan como precursores del tripéptido denominado glutatión (GSH), el cual reduce los daños causados por la oxidación y, al mismo tiempo, mejora el funcionamiento del sistema inmunológico. Es de vital importancia para el tratamiento intensivo para pacientes en condiciones de estrés fisiológico. Esto también se aplica a pacientes con HIV, que se caracterizan por el aumento de los niveles de estrés oxidativo (Baró L et al 2001; Smithers 2008).

Los aa de cadena ramificada (isoleucina, leucina y valina) son oxidados directamente por los músculos del esqueleto durante actividades físicas prolongadas. La ingestión de aa de cadena ramificada puede proteger/reducir el catabolismo de la masa muscular para obtener energía y también permitir la recuperación más rápida después de practicar ejercicios físicos intensos (Archibald 2007).

La proteína del suero también es una excelente fuente de arginina y lisina. Se considera que estos dos aa pueden estimular la hormona del crecimiento – una hormona anabólica. Esta correlación es particularmente significativa para los practicantes de fisicoculturismo y a quienes se les prohíbe el uso de anabolizantes (Smithers 2008).

IV- Tecnologías disponibles para el tratamiento del suero de quesería.

Actualmente existen numerosas alternativas tecnológicas para el aprovechamiento del lactosuero que varían ampliamente tanto en la naturaleza de los productos obtenidos como en la inversión económica que cada una requiere.

Las utilidades primarias y que aún siguen en vigencia, para pequeñas cantidades del subproducto, consisten en la alimentación de animales propios o de terceros y el uso como fertilizante por riego directo de suelos (Cunningham, A. I. 2000). Le siguen los procesos de recuperación de proteínas desnaturizadas y los de concentración de sólidos totales. Posteriormente se desarrollaron métodos de separación de los componentes del suero que permitieron la obtención de concentrados proteicos y de lactosa con diferentes grados de pureza.

El suero, debido a su composición, es susceptible a diversas biotransformaciones de carácter más valorizadas. Más recientemente se ha conseguido un mayor valor agregado de los productos a través de procesos de transformación de la lactosa en componentes con numerosas propiedades funcionales y nutricionales, de la desmineralización por sistemas de membrana y de la hidrólisis de las proteínas conducentes a la obtención de péptidos con diversas actividades biológicas.

IV. 1- Tratamientos previos. Suero líquido.

El suero debe ser procesado tan pronto como sea posible después de su recogida, ya que su temperatura y composición promueven el crecimiento de bacterias.

Las operaciones que normalmente incluye este procesado son:

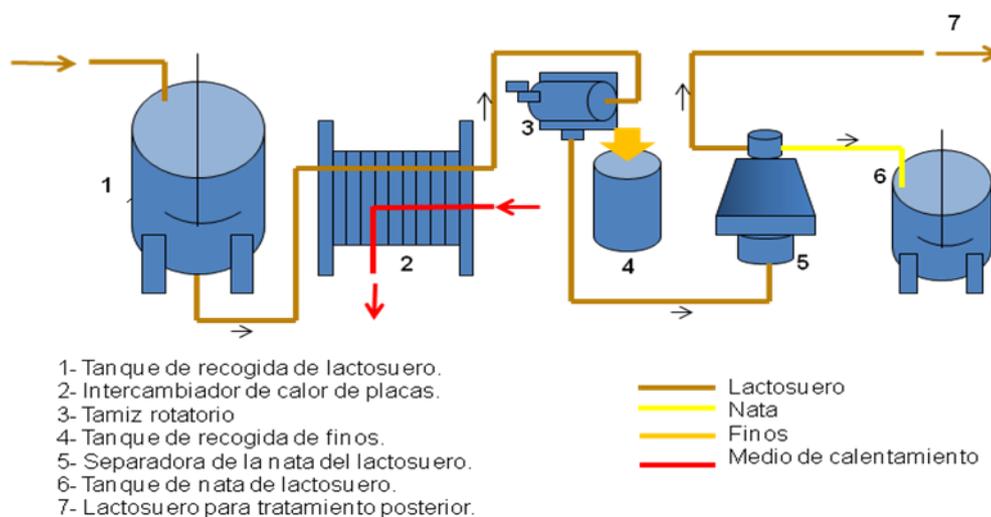
- Tamizado o desmigado.
- Desnatado
- Pasteurización
- Almacenamiento refrigerado.

Recuperación de finos de caseína y separación de la grasa:

En primer lugar se realiza la eliminación de partículas de masa de queso (desmigado), que pueden ser reutilizadas para la elaboración de queso fundido. Luego se procede al desnatado. Para ello se utilizan diversos tipos de dispositivos (Esquema 2). Para desmigado: ciclones, filtros rotativos, filtro vibratorio. Para desnatado: separadores centrífugas (desnatadoras). La grasa obtenida del desnatado suele utilizarse en

productos de segunda marca, como por ejemplo manteca o queso cremoso (Jiménez-Flores R. 1998; Gösta Bylund M, 2002).

Esquema 2. Tratamientos previos del lactosuero (pretratamiento).



Pasteurización y Enfriamiento:

El suero que va a ser almacenado antes de su tratamiento debe ser enfriado y/o pasteurizado tan pronto como se separa la grasa y los finos contenidos en el mismo.

El suero se pasteuriza tratando de no desnaturalizar las proteínas (por ejemplo a 75-76 °C por 4-5 s), no se deben superar los 80 °C ya que se desnaturalizan y precipitan “ensuciando” el pasteurizador. Esta pasteurización se realiza para eliminar la alta carga microbiana debida a los cultivos utilizados durante la elaboración del queso. Es importante que esta pasteurización se realice lo antes posible para evitar el desarrollo de acidez. Una vez pasteurizado el suero se enfría a 4 °C y se almacena.

Otra opción de conservación del suero es mediante la adición de conservantes químicos, pero en general no deberían utilizarse. Entre ellos podemos citar agua oxigenada y raramente ácido fórmico (Gösta Bylund M, 2002).

Usos del suero líquido.

Lactosuero sin ningún tratamiento: su principal uso como alimentación para animales y como fertilizante (Cunningham, A. I. 2000).

- Alimentación animal (terneros, recria y cerdos). Este es el destino principal que utilizan los pequeños y medianos productores, para alimentación de animales propios o

de terceros. Para alimentación de rumiantes, si el suero no es tratado, hay que tener en cuenta que altas dosis de minerales provocan un incremento en el volumen de orina, así como alta concentración de lactosa puede provocar diarreas. Además el suero ácido provoca desgaste acelerado de los dientes en el ganado y corrosión en los tanques de almacenaje (Jaime Valencia, M C. 2008).

- En agricultura, por su aptitud como fertilizante se está utilizando dentro de determinados límites. La desventaja de este uso es que deja en los suelos grandes cantidades de sales. En Nueva Zelanda, la irrigación (por aspersión) de tierras para pastura con lactosuero ha sido un método exitoso para disponer del exceso de este material. El lactosuero se aplica a razón de 110 – 125 litros por hectárea, por día. De esta forma, los agricultores reciben un buen reemplazo de fertilizantes a bajo costo y los queseros aumentan su rentabilidad al vender el lactosuero y no contaminar el medio ambiente. Cien litros de lactosuero de quesería contienen alrededor de 150 gramos de nitrógeno, 33 gramos de fósforo inorgánico, 150 gramos de potasio, 14 gramos de azufre, 50 gramos de calcio y 55 gramos de sodio. Es importante que el suero empleado en esta aplicación sea suero dulce de quesería, o sea que no haya desarrollado acidez, por ello hay que utilizar lactosuero fresco o enfriado rápidamente (Cunningham, A. I. 2000).

Suero líquido con tratamientos previos:

- Alimentos – Bebidas:

- ✓ Bebida a base de suero, saborizada artificialmente: destinada a deportistas y niños. Son bebidas nutricionales análogas de leche, consistentes en lactosuero, agua, acidulantes, azúcares, saborizantes, colorantes, etc. Contienen entre el 30 y 90% de suero. Se pueden elaborar pasteurizadas, saborizadas o no, fortificadas o no, con lactosa como carbohidrato principal o con lactosa hidrolizada (Cunningham, A. I. 2000, Estrada González et al 2004).
- ✓ Quesos de suero (Ricota, Requesón, Anthotyros) (Berruga Fernández 1999), elaborados por coagulación térmica a 80-90°C, cuya composición contiene mayoritariamente proteínas séricas. Estos productos son económicos y deseables para los consumidores, elaborados por coagulación de proteínas lactoséricas por acidificación, tratamientos térmicos y calcio (Monsalve J et al 2005).
- ✓ Quesos tipo Mysost, de origen escandinavo. Su obtención es un proceso de concentración de sólidos, evaporando por ebullición. Debido a las reacciones de

oscurecimiento no enzimático (Maillard) son productos de color como el dulce de leche. Pueden ser formulados con textura para cortar o para untar. Esta opción es de bajo costo y alto valor nutricional, pero no está presente en mercados latinoamericanos (Cunningham, A. I. 2000).

- Propagación de inóculos en queserías: El suero se emplea para la conservación y propagación de bacterias lácticas (*Lactobacillus*, *Leuconostoc* y *Streptococcus*) ya que resultan propicios para evitar la infección por bacteriófagos (contienen quelantes de calcio y reguladores de pH).

- Medio de cultivo para procesos de fermentación. El suero de leche presenta una serie de características que lo hacen atractivo como sustrato en los diferentes procesos microbiológicos. La producción de biomasa a partir de suero para uso como alimento es una alternativa en potencia (Vigliengo E et al 2009).

- Producción de Enzimas:

- ✓ β -galactosidasa o lactasa, el suero debe suplementarse con una fuente de N y el proceso es aerobio.
- ✓ producción de proteasa alcalina de *Bacillus subtilis* en suero ácido o bien de alfa amilasa más proteasa, en un medio de soja + suero.

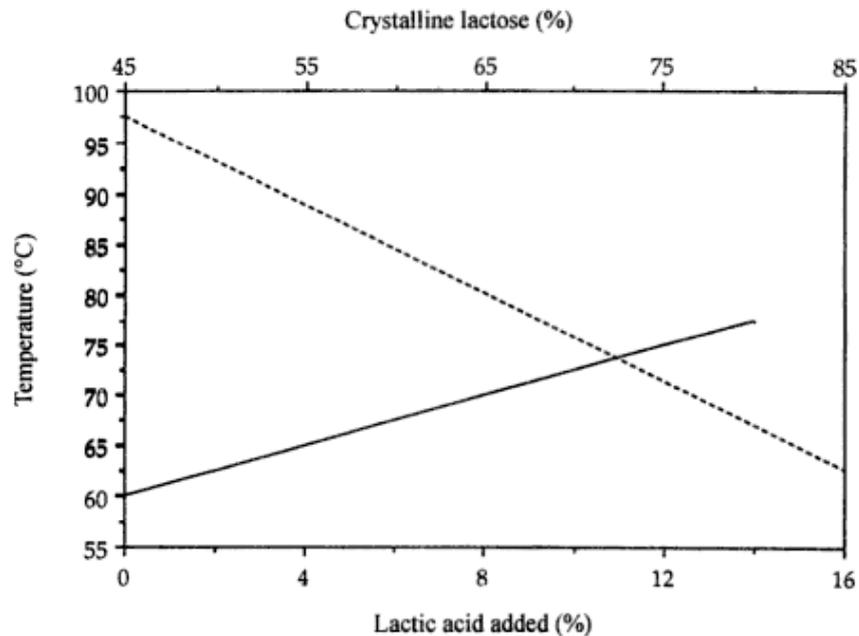
IV. 2- Obtención de sólidos totales de suero.

Las operaciones principales utilizadas para la producción de suero en polvo son:

- Concentración/Evaporación.
- Cristalización
- Secado

El suero dulce es más fácil de secar que el suero ácido. El aumento de acidez en el suero aumenta las posibilidades de pegado del mismo en los equipos de evaporación (gráfico 1).

Gráfico 1. Efecto del agregado de ácido láctico (----) y grado de cristalización de lactosa (___) en la temperatura de pegado del suero en polvo (1,5-3,5 % humedad)



Fuente: Fox PF (1998).

Concentración.

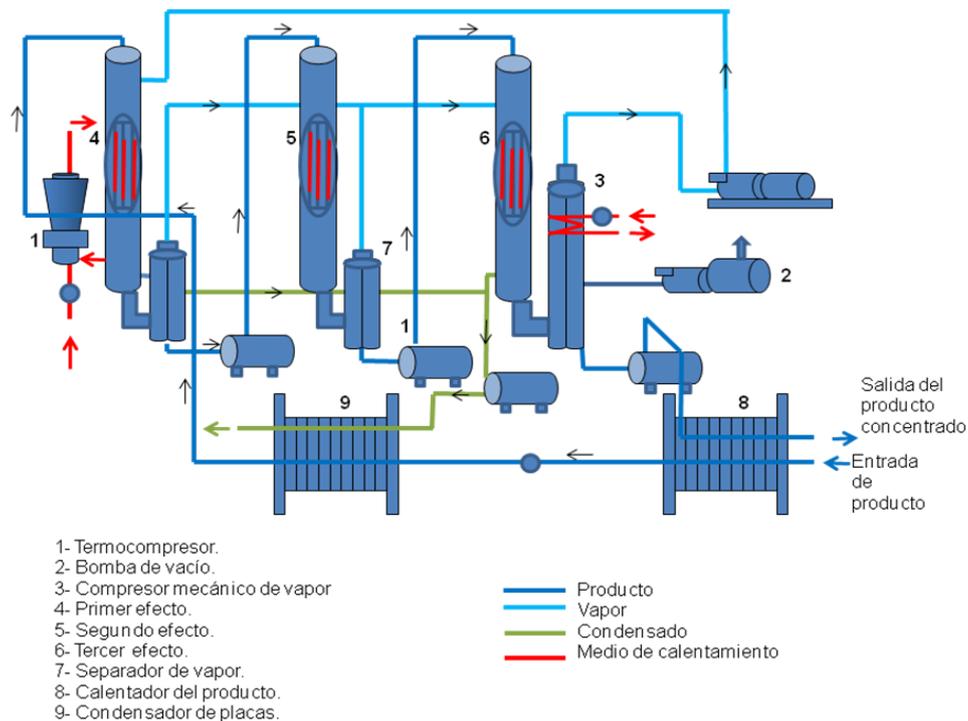
El transporte de suero sin concentrar siempre resultará costoso, debido a su bajo contenido de sólidos. Con el tratamiento de concentración se facilita y economiza el transporte, a la vez que se alarga la vida útil del suero.

La evaporación o concentración del suero es un proceso que permite eliminar el agua, concentrar los sólidos y es un requisito previo para realizar otros procesos como cristalización y secado.

El suero puede concentrarse por calor utilizando evaporadores, llevándolo hasta aproximadamente 48% de sólidos totales. Para concentración, se utilizan los evaporadores falling film múltiple efecto para facilitar la posterior etapa de cristalización y para reducir la cantidad de vapor necesario. En estos equipos se tienen dos o más unidades que operan a presiones cada vez más bajas en cada efecto, consiguiéndose así un punto de ebullición cada vez más bajo. En estos diseños el vapor producido en el efecto anterior se utiliza como medio de calentamiento en el efecto siguiente. En la industria láctea se utilizan actualmente evaporadores hasta de 7 efectos (Gösta Bylund M, 2002).

A continuación, en el Esquema 3, se presenta un evaporador de tres efectos con compresión mecánica de vapor:

Esquema 3. Evaporador de tres efectos.



Precristalización y tratamiento de cristalizado

Luego de alcanzar el contenido en sólidos totales del 45-65 %, el concentrado se enfría rápidamente hasta unos 30 °C en un intercambiador de calor de placas y se pasa a un depósito encamisado (con tres camisas) para su posterior enfriamiento a 15-20 °C acompañado con una constante agitación durante 6-8 horas para obtener cristales del menor tamaño posible, a fin de evitar un producto higroscópico (Gösta Bylund M. 2002). Debido al alto contenido de lactosa que presenta el suero, bajo ciertas condiciones de temperatura y concentración, la lactosa puede cristalizar antes de salir del evaporador. Con concentraciones superiores al 65% el producto puede volverse tan viscoso que no puede fluir. En estos casos, cuando se seca suero con alto contenido de lactosa se produce termoplasticidad: a partir de cierta temperatura el suero se vuelve pegajoso (Gráfico 1). Para evitar que esto ocurre se puede neutralizar el suero, dado que el suero ácido se pega, y luego proceder a la cristalización de la lactosa.

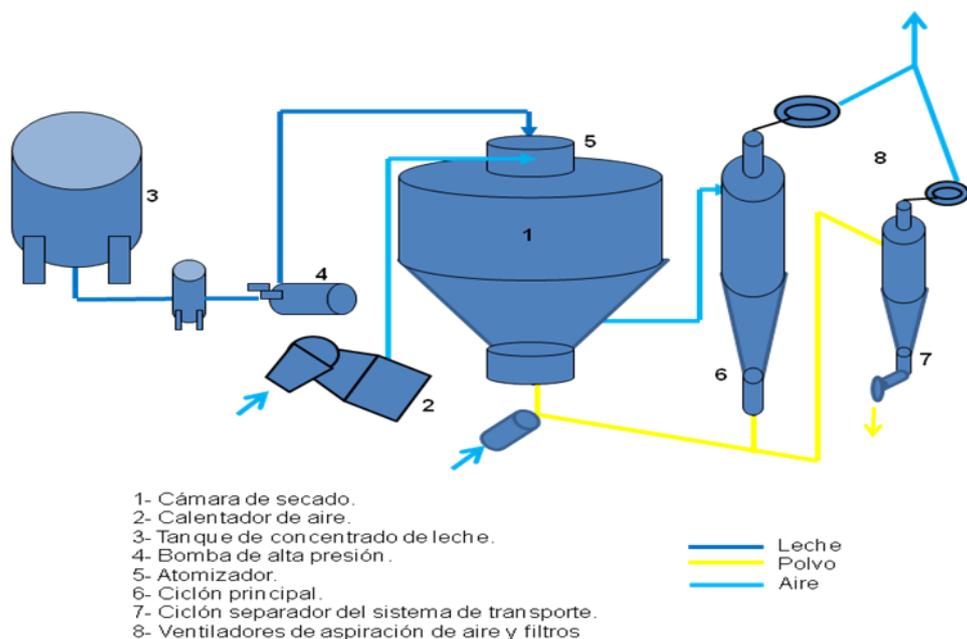
La pre-cristalización se realiza antes del secado por atomización. La viscosidad del concentrado es razonablemente baja, las temperaturas ajustadas y controladas con exactitud, el desplazamiento de la solución utilizada desde la superficie de cristales puede acelerarse mediante la agitación y la cantidad requerida de cristales apropiados de

lactosa puede asegurarse con la siembra de cristales. Durante el proceso de cristalización hay suficiente tiempo para alcanzar el grado teórico de cristalización. Este proceso evita la formación de grumos y aglomerados. En este caso, los aglomerados tienden a ser pequeños y, por consiguiente, la densidad de volumen es relativamente alta.

Secado.

El suero se seca de la misma forma que la leche, es decir en secaderos de tambor o atomizadores (Esquema 4). En la actualidad el método más utilizado es la atomización. En términos generales, el suero dulce (de queso) es más fácil de secar que el suero ácido (Gösta Bylund M. 2002).

Esquema 4. Secado por atomización.



Usos del Suero en polvo.

El suero en polvo presenta importantes propiedades como mejoramiento de textura, flavor, actúa como dispersante, espumante, aereante y solubilizante.

Las aplicaciones del mismo se enumeran a continuación:

- *Alimentación de ganado:* Uso en ensilados: la incorporación de un 1 % de suero en polvo a un ensilado de maíz conduce a un incremento en el rendimiento de leche del

6,5%, y a una ganancia en peso del 7% en becerras (Berruga Fernández 1999; Jaime Valencia, M C. 2008).

- *Alimentación humana*: como ingrediente en la industria láctea (yogures, helados, postres), cárnica (embutidos cocidos, ya que ayuda a la retención de agua), panadera (base para pasteles, galletitas, barras nutritivas), productos de confitería, pastelería y en la fabricación de bebidas (para deportistas, por ejemplo) y alimentos infantiles. En estos productos, el suero puede contribuir a mejorar las características organolépticas (sabor, textura, color) y a aumentar el valor nutricional. El suero en polvo puede sustituir a la leche en polvo en la elaboración de galletas, yogur y, en general, cualquier derivado de la leche incluido el propio queso (Estrada González et al 2004, Berruga Fernández 1999; Page J et al 2002; Jaime Valencia, M C. 2008; Hugunin A. 2009).

El principal factor limitante para la utilización del suero es el alto contenido en sales, que le confiere un sabor salado/metálico poco atractivo para el consumidor (Hugunin A. 2009). La desmineralización (por ósmosis inversa, por ejemplo), amplía pues considerablemente las posibilidades de aplicación. Es importante que el lactosuero destinado a alimentación no contenga sal y que no se haya acidificado. Las bebidas o fórmulas lácteas son bebidas nutricionales análogas de leche, ideales para programas gubernamentales, que se pueden elaborar a base de lactosueros no salados.

- *Aditivo de gel de baño*: se han comprobado los beneficios que las proteínas lácteas aportan al organismo, tanto dentro del cuerpo como en la piel.

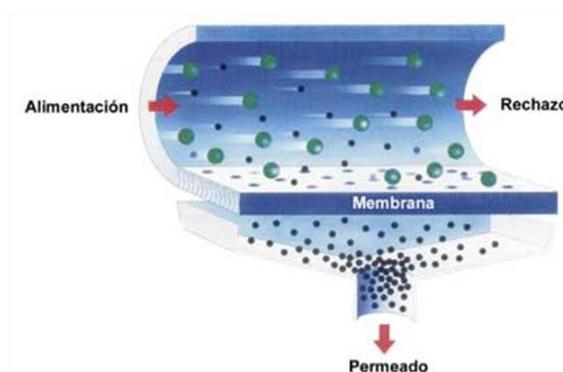
IV. 3- El uso de membranas en el tratamiento del suero.

En primer lugar, para comprender este proceso es importante definir los siguientes conceptos:

Permeado: es el filtrado, el líquido que pasa a través de la membrana (Esquema 5).

Retenido: el concentrado, el líquido retenido por la membrana. En el Esquema 5 se presenta como el rechazo.

Esquema 5. Filtración.



Procesos de separación.

Microfiltración (MF):

Es un proceso que utiliza bajas presiones para separar partículas coloidales y partículas suspendidas en un rango de 0,05 a 10 micrones (Esquema 6). Es utilizada principalmente para la clarificación y recuperación de biomasa en procesos biotecnológicos, por ejemplo.

En lácteos, básicamente se utiliza para la reducción del número de bacterias en la leche desnatada, lactosuero y salmueras, pero también para la reducción del contenido de grasa del lactosuero destinado a la fabricación de concentrados proteicos de lactosuero y para el fraccionamiento de proteínas (Esquema 7). El tamaño de poro de la membrana es de $10^{-1} - 10^1 \mu\text{m}$ (Gösta Bylund M. 2002).

Ultrafiltración (UF):

Es un proceso selectivo de fraccionamiento que utiliza presiones de hasta 10 bar. Concentra sólidos suspendidos y solutos de peso molecular mayor a 1000 Da. El permeado contiene solutos orgánicos de bajo peso molecular y sales (Esquema 6). La UF es ampliamente utilizada en el fraccionamiento de la leche y suero de quesería, y también tiene aplicaciones en el fraccionamiento de proteínas. Con la ultrafiltración se recuperan las proteínas del suero (Esquema 7). El tamaño de poro de la membrana es de $10^{-2} - 10^{-1} \mu\text{m}$ (Gösta Bylund M. 2002).

Nanofiltración (NF):

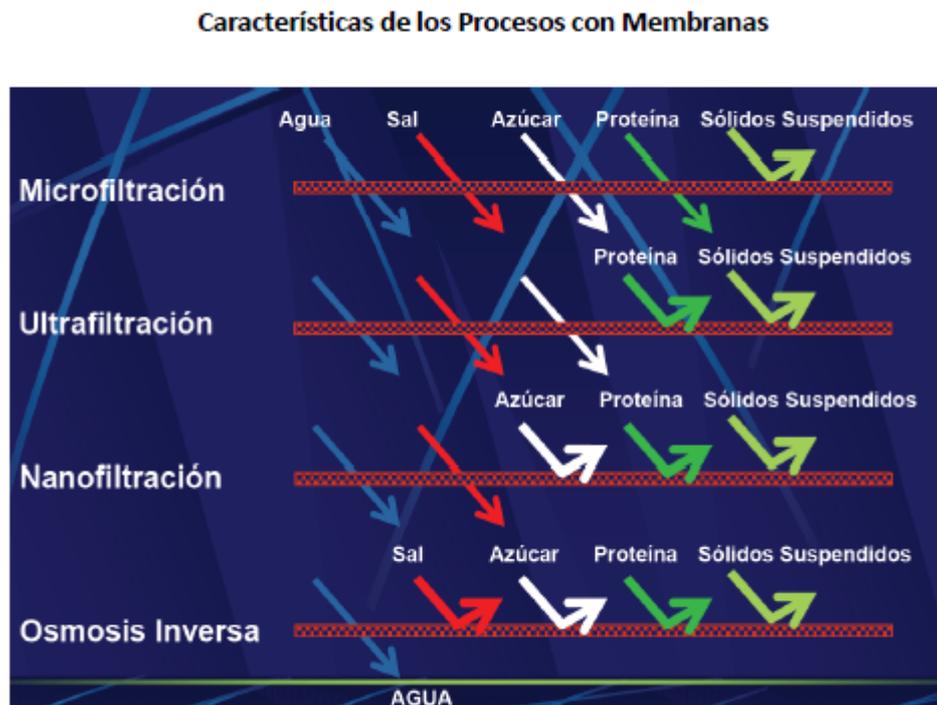
Es un proceso especial para los casos en que la ósmosis inversa y la ultrafiltración no resultan ser la opción indicada de separación. Se utiliza para la concentración de solutos orgánicos, sólidos en suspensión e iones polivalentes (Esquema 6). Se utiliza cuando se desea la desalinización parcial del lactosuero, el permeado de ultrafiltración o el retentado (Esquema 7). El tamaño de poro de la membrana es de $10^{-3} - 10^{-2} \mu\text{m}$. Trabaja a una presión de 20-40 bares (Gösta Bylund M. 2002).

Ósmosis Inversa (OI o RO)

Es una técnica de alta presión (30-60 bares) y buena eficiencia energética para la concentración de soluciones de sustancias de bajo peso molecular. El permeado que se obtiene contiene concentraciones muy bajas de los sólidos disueltos en la solución original (Esquema 6). Generalmente se utiliza para la desalinización del agua de mar y el tratamiento de efluentes industriales. El tamaño de poro de la membrana es de 10^{-4} – 10^{-3} μm (Gösta Bylund M. 2002).

La ósmosis inversa está basada en la búsqueda fundamental del equilibrio a ambos lados de la membrana. Aplicando en la columna del fluido una presión superior a la presión osmótica, se obtiene el efecto inverso. Los fluidos son presionados de vuelta a través de la membrana hacia el flujo que contenga una mayor concentración de sólidos disueltos. Al permeado del suero ultrafiltrado se le aplica ósmosis inversa para recuperar la lactosa (Esquema 7). Se utiliza para la deshidratación del lactosuero, el permeado de UF y el condensado.

Esquema 6. Resumen de los diferentes procesos de filtración por membranas.



Esquema 7. Relación entre tamaños de poro y tipo de filtración.

Tamaño de partículas, um	0.0001	0.001	0.01	0.1	1.0	10	100
Peso molecular, D	100	1000	10000	100000	500000		
Característica de la partícula.	Iones	Molecular	Macromolecular		Celular + Micropartículas		
Componentes del sistema de la leche	Iones Sales	Seroproteínas	Micelas de caseína	Glóbulos de grasa	Bacterias	Levaduras, mohos	
	Lactosa/derivados	Vitaminas	Agregados de seroproteínas, finos de queso				
Proceso de separación	OI	UF			Filtración tradicional		
	NF		MF				

Fuente: Birkemose C (2008).

Diafiltración

Es una ultrafiltración especial. El retenido de ultrafiltración es diluido con agua hasta obtener una concentración de sólidos igual a la del suero inicial (al de la entrada al equipo). Se encuentran entonces sólidos pero no lactosa. Se lava la lactosa con nuevas ultrafiltraciones y se la elimina con el permeado. Luego se realiza el secado (Gösta Bylund M. 2002).

Módulos de filtración.

Los módulos de filtración (Tabla 7) que se utilizan habitualmente pueden tener diferentes configuraciones:

Tabla 7. Diseño de módulos de filtración.

Diseño	Aplicación típica
Láminas enrolladas en espiral	OI, NF, UF
Placas y bastidor	UF, OI
Tubular, basado en polímeros	UF, OI
Tubular, basado en cerámica	MF, UF
Fibra hueca	UF

Láminas enrolladas en espiral:

La membrana espiral (Esquema 8) consiste en dos capas de membrana separadas por un material poroso que conduce el permeado permitiendo que fluya libremente. El conjunto de membranas está enrollado alrededor del tubo perforado colector del permeado para formar así la membrana enrollada en espiral (Gösta Bylund M. 2002; Birkemose C. 2008).

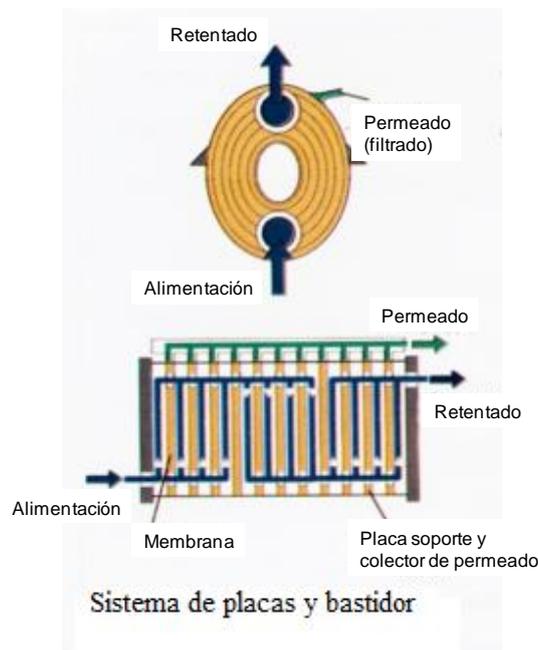
Esquema 8. Disposición de membrana espiral.



Placas y Bastidor:

Estos sistemas constan de membranas emparedadas entre placas soporte de las membranas que se disponen en paquetes (Esquema 9), de manera similar a los intercambiadores de calor de placas. Un módulo se divide normalmente en secciones donde el flujo entre pares de membranas es en paralelo. Las secciones se separan por medio de placas soporte de membranas especiales en las cuales uno de los orificios se cierra con un disco de cierre para invertir la dirección de flujo, consiguiendo un flujo en serie entre las sucesivas secciones (Gösta Bylund M. 2002).

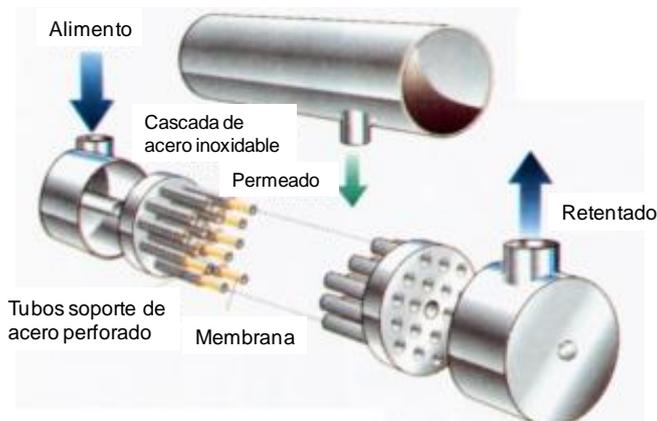
Esquema 9. Disposición en placas y bastidor.



Diseño tubular basado en polímeros:

El modelo tiene tubos perforados de acero inoxidable montados como un intercambiador de calor de carcasa y tubos (Esquema 10). Los tubos están conectados en serie. Las membranas recambiables se insertan en el interior de los tubos de acero inoxidable perforados que juegan el papel de tubos soporte de las membranas. El permeado se recoge en el exterior de los tubos dentro de la carcasa de acero inoxidable (Gösta Bylund M. 2002).

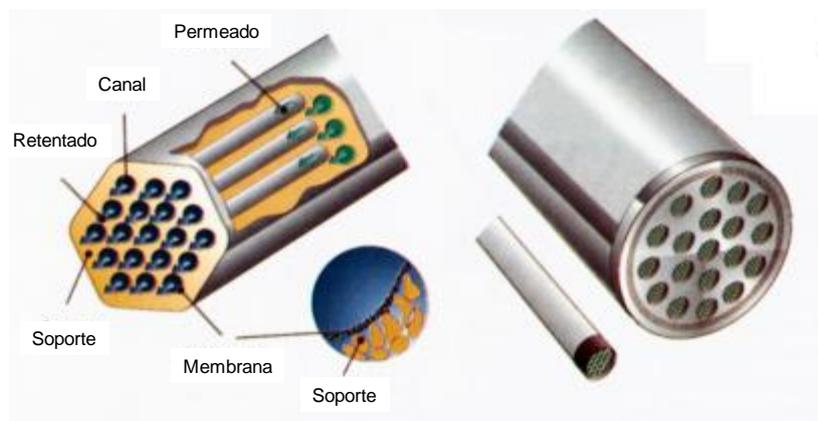
Esquema 10. *Diseño tubular basado en polímeros.*



Diseño tubular basado en cerámica:

El elemento filtrante es un filtro cerámico. Las paredes delgadas de los canales, que constituyen la membrana (Esquema 11), se fabrican con cerámica de grano fino. El material soporte es cerámica de grano grueso (Gösta Bylund M. 2002).

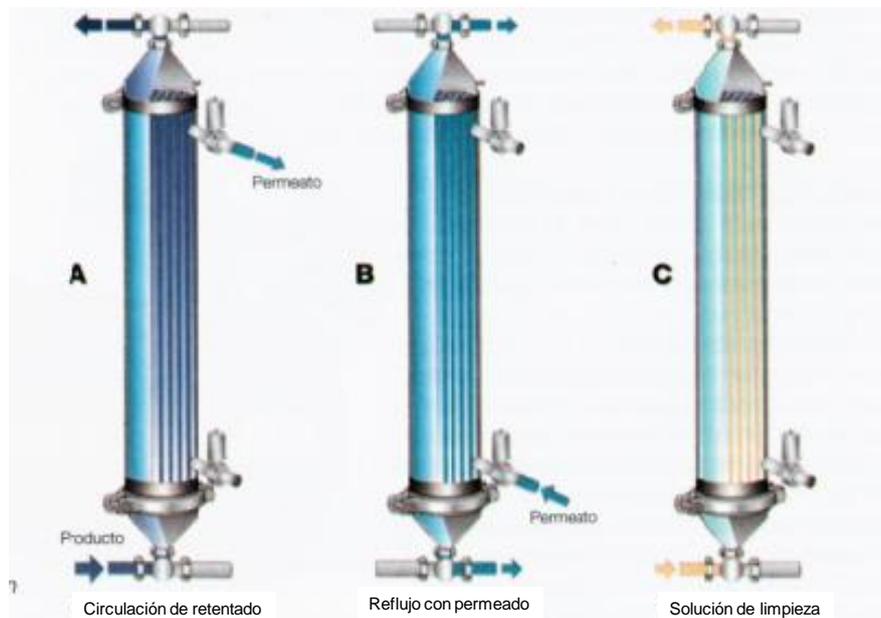
Esquema 11. *Diseño tubular basado en cerámica.*



Fibra Hueca:

Los módulos de fibra hueca son cartuchos que contienen haces de 45 a más de 3000 elementos de fibra hueca por cartucho. Las fibras se orientan en paralelo (Esquema 12). Todas están empotradas en una resina en sus extremos y encerradas en el tubo colector de permeado, que está construido de resina epoxi. La corriente alimento fluye a través de la cara interior de estas fibras, y el permeado se recoge en el exterior y se elimina en la parte superior del tubo (Gösta Bylund M. 2002).

Esquema 12. Disposición Fibra Hueca.

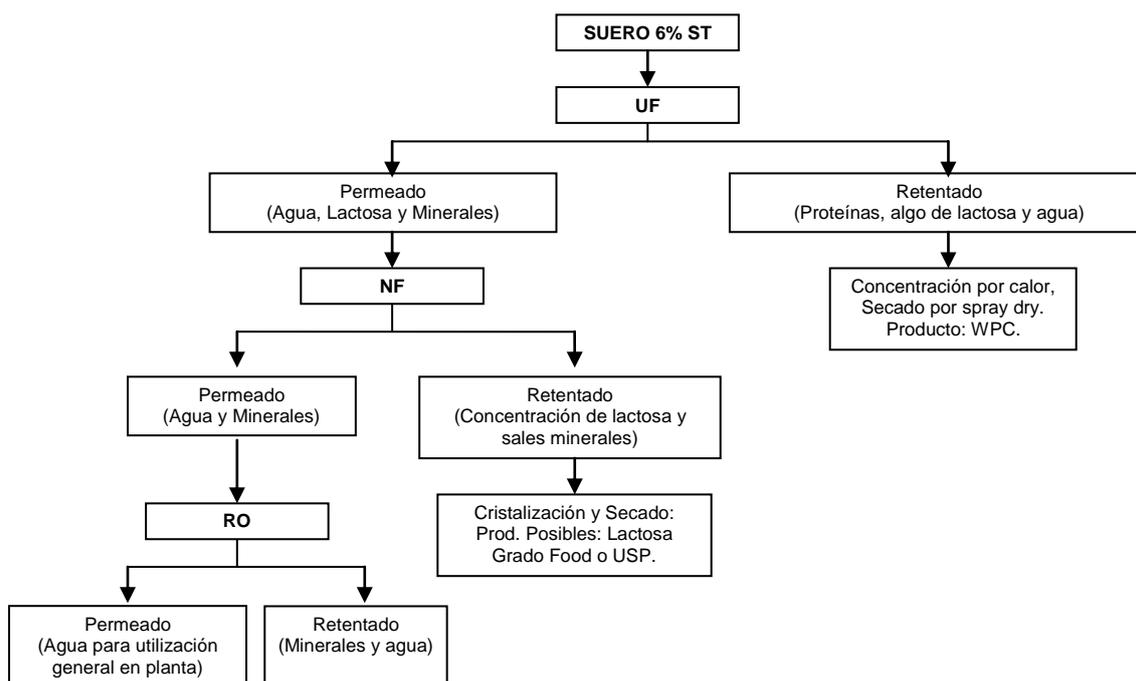


A- Cartucho UF durante la filtración, B- Reflujo con permeado, C- Limpieza.

Concentración por membrana de los componentes del suero.

En el Esquema 13 pueden apreciarse las aplicaciones de filtración por membranas al suero de quesería:

Esquema 13. Filtración por membranas de suero de quesería.



Es importante realizar un pre-tratamiento antes de la filtración ya que el ensuciamiento de las membranas puede perjudicar el proceso de purificación.

Las técnicas de purificación usadas para tratamientos adicionales son:

- Técnicas de desinfección.
- Filtración rápida.
- Filtración por carbón activado.

El primer paso del fraccionamiento del suero para la separación de las proteínas se lleva a cabo por ultrafiltración (esquema 13). El permeado contiene, además de agua y lactosa, minerales y nitrógeno no proteico. El retenido es un concentrado de proteínas y restos de grasa, además de incluir sales y algo de lactosa. El permeado del suero se ha estudiado como reemplazante del grano de maíz en dietas de vacas lecheras en pastoreo de alfalfa y se obtuvieron muy buenos resultados (Gallardo M et al 2003). Este suero desproteínizado se utiliza también en la industria alimenticia y como medio de cultivo (Berruga Fernández 1999).

IV. 4- Desmineralización:

El suero tiene relativamente alto contenido de sal, por lo que su aplicación como ingrediente en alimentos humanos es limitada. Para ello el suero se desmineraliza obteniéndose productos como suero parcialmente desmineralizado (25-30%) o suero muy desmineralizado (90-95%).

La desmineralización implica la eliminación de sales inorgánicas junto con cierta reducción del contenido de iones orgánicos tales como lactatos y citratos. Para la desmineralización parcial se utiliza la nanofiltración (NF) o diafiltración.

El retenido desmineralizado se lleva a electrodiálisis y filtrado por geles para eliminar más sales. A partir de este producto desmineralizado pueden obtenerse los productos anteriormente presentados, como por ejemplo suero en polvo desmineralizado sometiendo al tratamiento correspondiente (secado spray) (Gösta Bylund M. 2002).

En muchas ocasiones el suero es aprovechado de manera fraccionada. El fraccionamiento más elemental es la desmineralización (por electrodiálisis, ósmosis inversa y otros procedimientos) que elimina el sabor metálico del suero y permite mayor rango de aplicaciones.

El elevado grado de desalinización se basa en una de estas dos técnicas:

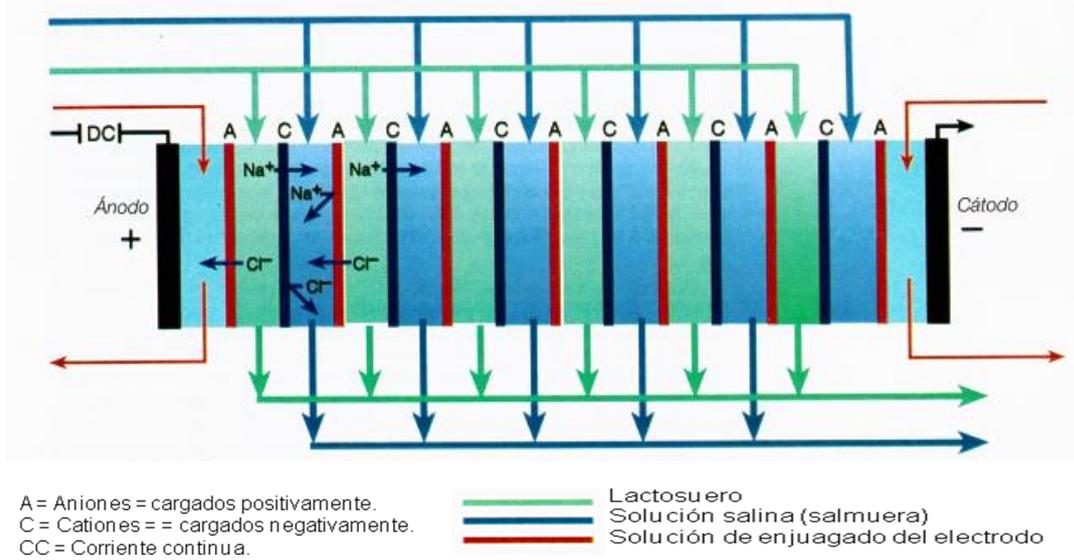
-Electrodiálisis.

-Intercambio iónico.

Desmineralización de alto grado:

Electrodiálisis: implica el transporte de iones a través de membranas semipermeables no selectivas bajo la fuerza impulsora de una corriente continua y un potencial aplicado (Esquema 18). Tiene funciones de intercambio aniónico y catiónico. La electrodiálisis es el mejor procedimiento para niveles de desmineralización inferiores al 70%, rango en el que es muy competitiva con el intercambio iónico (Gösta Bylund M. 2002).

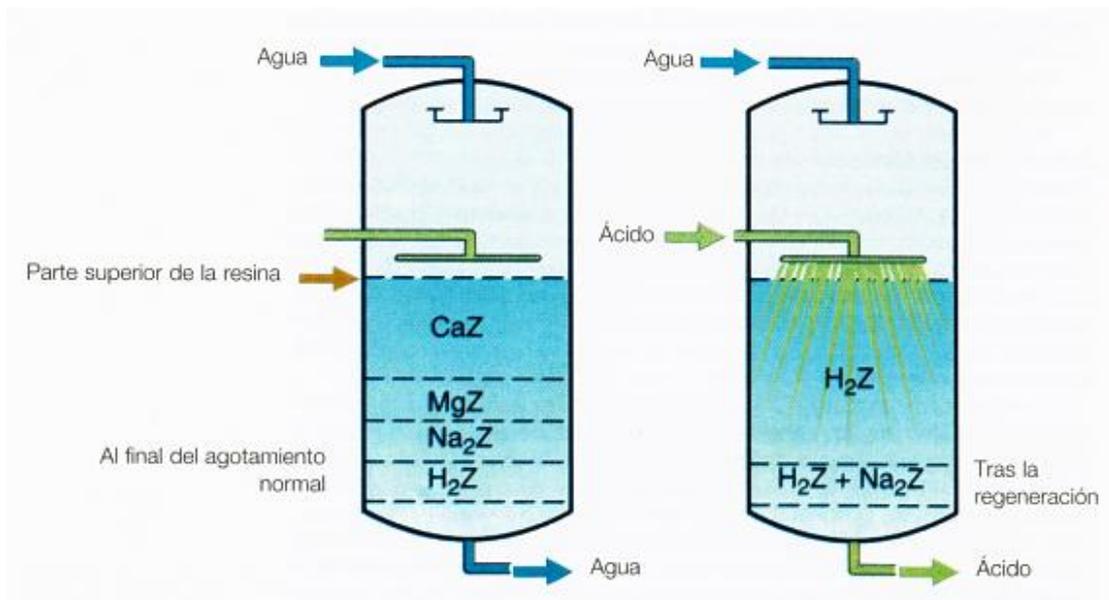
Esquema 18. Proceso de electrodiálisis.



Intercambio iónico: emplea bolitas de resina para absorber los minerales de la solución, intercambiándose por otras especies iónicas (Esquema 19). Las resinas tienen una capacidad finita para realizar este trabajo, de manera que cuando están completamente saturadas, los minerales absorbidos deben ser eliminados y las resinas regeneradas antes de su utilización.

En estas columnas tienen lugar las pérdidas de seroproteínas debido a la desnaturalización/absorción. Esto es causado por la gran variación del pH que tiene lugar en el suero durante el proceso de intercambio iónico (Gösta Bylund M. 2002).

Esquema 19. Proceso de Intercambio Iónico.



Desmineralización parcial por NF:

La instalación del equipo de NF en el procesado del suero se puede considerar en las siguientes situaciones:

- Como una alternativa de bajo costo para disminuir el contenido de sales del suero dulce normal en polvo.
- Como un paso preliminar para conseguir una desmineralización más completa el suero por electrodiálisis e intercambio iónico.
- Para eliminación de ácido láctico y clorhídrico en suero de caseína.
- Para reducir sales en suero ácido.

IV.5- Separación y obtención de los componentes del suero.

IV. 5. 1- Proteínas.

WPC: Concentrado de Proteínas del Suero.

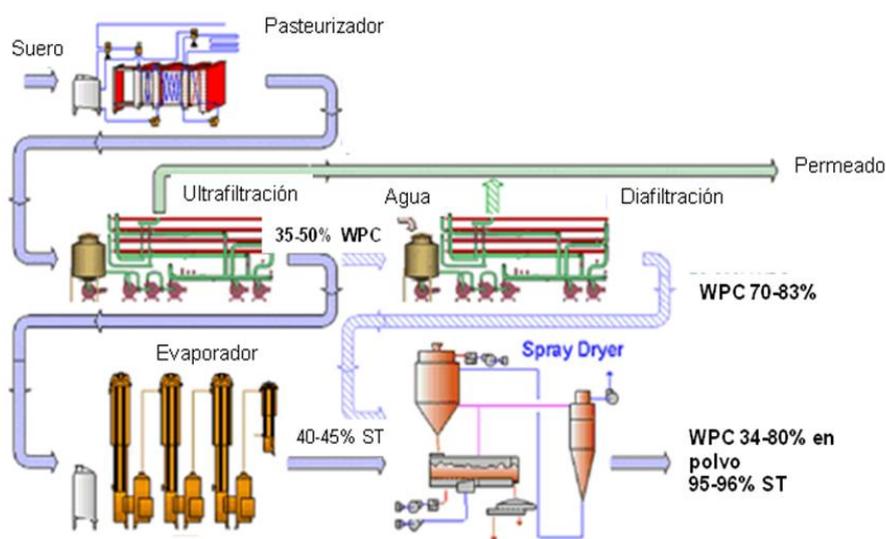
Los WPC contienen entre un 35 y 80% de proteínas (tabla 8).

Tabla 8 Composición de WPC de diferentes concentraciones.

% WPC	35	50	65	80
Humedad	4.6 %	4.3 %	4.2 %	4.0 %
Proteína cruda	36.2 %	52.1 %	63.0 %	81.0 %
Proteína verdadera	29.7 %	40.9 %	59.4 %	75.0 %
Lactosa	46.5 %	30.9 %	21.1 %	3.5 %
Grasa	2.1 %	3.7 %	5.6 %	7.2 %
Cenizas	7.8 %	6.4 %	3.9 %	3.1 %
Acido Láctico	2.8 %	2.6 %	2.2 %	1.2 %

Los métodos más utilizados para su obtención son la ultrafiltración (UF), diafiltración y secado. El suero pasteurizado es sometido a procesos de UF del cual se genera WPC 35-50, eliminándose permeado (Gösta Bylund M. 2002). Este mismo producto puede ser secado y así se obtienen estos productos en polvo o puede continuarse concentrando mediante diafiltración para obtener WPC 70-83 que luego también puede ser secado por evaporación y secado spray (Esquema 14).

Esquema 14. Proceso de obtención de WPC.



Para obtener WPC sin grasa en polvo, se realiza un tratamiento previo de desnatado antes de realizar la UF.

Usos del WPC.

Las proteínas de suero de leche se utilizan ampliamente en carne, aves y productos de pollo como agentes aglutinantes, de extensión y modificación de textura. Estas proteínas son muy buenas captadoras de líquido, por lo que se utilizan para eliminar defectos, por ejemplo, de desuerado en yogures, quesos frescos y untables (Huginin A. 2009). También mejora el espumado y la estabilidad de los helados, lo que favorece un adecuado aumento de volumen. En el caso del dulce de leche, las proteínas del suero mejoran su color y brillo impartiendo además suavidad superficial.

Una de las funciones de las proteínas del suero es sustituir grasas, ya que producen en el paladar una sensación similar a la que si se estuviera consumiendo un producto con mayor contenido graso y de esta forma se reduce el contenido calórico.

Se está investigando el uso de WPC como film o recubrimiento de alimentos (en reemplazo del PET) por actuar como barrera al oxígeno aumentando la vida media del alimento evitando el enranciamiento.

WPI: Aislados de Proteínas del Suero.

Está formado por las proteínas: α -lactoalbúmina, β -lactoglobulina e Inmunoglobulinas. Son concentrados con más del 90% de las proteínas, totalmente desmineralizadas, con muy poca lactosa y grasa. Este proceso requiere de mayor tiempo ya que es necesaria una filtración extra en la que toda la grasa y la lactosa es eliminada. El WPI se obtiene combinando ultrafiltración y cromatografía de intercambio iónico (Berruga Fernández 1999). Las especificaciones para los aislados de proteínas son los siguientes:

- Proteínas: 90 %.
- Grasa: 0.5 %.
- Lactosa: 0.5 %.

Usos del WPI:

Su calidad funcional y el hecho de estar prácticamente libres de lactosa, grasa y minerales, hace a los WPI muy versátiles e idóneos para muy diversas aplicaciones como ingredientes funcionales y nutritivos.

Un ejemplo de aplicación son los geles microparticulados empleados como imitadores de grasas (Simplese). Los WPI sirven también para elaborar películas comestibles y se está estudiando la posibilidad de hacer con estas proteínas microcápsulas para vehicular sustancias líquidas fácilmente oxidables (Krochta JM. 1998). Se utilizan en complementos nutricionales para convalecientes y deportistas y es una fuente de alto valor nutritivo.

Generalmente, los WPC y los WPI ofrecen perfiles de sabor a leche considerablemente mejores que aquellos proporcionados por la proteína de soja con sus toques de cremosidad y albúmina de huevo lo que contribuye a un sabor moderado.

Debido a su buena funcionalidad y sus excelentes características nutricionales, los ingredientes derivados del suero lácteo juegan un rol crítico cuando se formula una barra nutritiva. Los concentrados de proteína del suero lácteo altos en proteínas (80%) y los aislados de proteínas del suero lácteo (WPI: 90%) son elementos clave en la formulación de estas barras (Page J et al 2002).

WPT: Proteínas del suero texturizantes.

Para algunas aplicaciones son particularmente adecuadas las proteínas de suero texturizantes, WPT (Whey Protein Texturizer). La técnica más común utilizada para texturizar proteínas del suero es la extrusión termoplástica. Esta técnica provee energía

térmica y mecánica para mezclar, cocinar, hervir y formar los biomateriales con características funcionales variadas. El proceso de extrusión ha sido aplicado a ingredientes lácteos para mejorar las propiedades funcionales, reemplazando las técnicas tradicionales con un proceso continuo, y desarrollando productos alimenticios con nuevas características de textura. La texturización del concentrado de proteínas del suero WPC, de los aislados de proteínas del suero (WPI) y de la leche en polvo descremada a través de una extrusora de doble husillo genera productos capaces de sustituir gasas, extensores de la carne, comidas fortificadas con proteínas y snacks de alto valor proteico (Manoi K et al 2008).

Usos del WPT:

Poseen excelentes cualidades emulsificantes utilizables en salsas, productos cárnicos prensados, lácteos, etc. (Berruga Fernández 1999; Manoi K et al 2008).

Recuperación de las proteínas aisladas

Se utilizan procesos de separación por membranas (fraccionamiento) y procesos cromatográficos, además de las técnicas de precipitación y formación de complejos. El proceso más extensamente utilizado en la separación de las proteínas del lactosuero es la desnaturalización por calor. Actualmente se tiende al fraccionamiento de especies proteicas con propiedades específicas, de tipo funcional, nutricional o farmacológico (Grasselli M. et al 1997).

Recientemente están recibiendo mucha atención las propiedades y posibilidades de aprovechamiento del GMP que en ocasiones puede llegar a representar hasta el 15% de las proteínas del suero. Para aislar y obtener el glicomacropéptido a partir del suero de quesería se utiliza cromatografía de Intercambio Iónico y tecnología de filtración tangencial.

Usos de proteínas aisladas:

α -Lactoalbúmina: se utiliza como ingrediente en fórmulas infantiles y fórmulas enterales. Se hace referencia a la α -lactoalbúmina como el componente “humanizante” de las fórmulas infantiles (Horton B.S. 1995; Grasselli M et al 1997).

β -Lactoglobulina: se utiliza para suplementar dietas de reanimación para convalecientes, ya que muchos de los péptidos que se obtienen pueden ser absorbidos directamente por el intestino. Finalmente, además de poseer buenas propiedades

espumantes, la β -Lactoglobulina puede ser utilizada para la fortificación de bebidas soft y jugos de fruta gracias a su gran solubilidad y estabilidad. Se usa en carnes reestructuradas y alimentos para deportistas. También es utilizada en leches con bajos contenidos de fenilalanina, las cuales se utilizan en la alimentación de recién nacidos que padecen fenilcetonuria (Horton B.S. 1995; Grasselli M et al 1997).

Las inmunoglobulinas y BSA se emplean en dietas para enfermos de Parkinson y en inmunoterapia (SIDA, cáncer) (Horton B.S. 1995).

Glicomacropéptido: posee excelente capacidad emulsificante y buena solubilidad en intervalos amplios de pH y temperatura. Estimula la síntesis y liberación de la hormona colecistoquinina en el duodeno. Se aplica en dietas para fenilcetonúricos y en cosmética. Tiene acción bacteriostática directamente proporcional a su grado de glicosilación.

IV. 5.1.1- Recuperación de las proteínas desnaturalizadas del suero.

Ricota.

La ricota se produce a partir de la coagulación de proteínas en un medio ácido y con aplicación de calor a leche entera con suero o a suero directamente. La coagulación de las proteínas desnaturalizadas del suero ocurre al someter el suero a calentamiento generando la precipitación de las mismas. Se produce una coagulación térmica a 80-90°C, aunque ya se comienzan a ver efectos entre los 60 y 70 °C. La adición de una solución ácida a la aplicación de calor logra que la proteína presente en el suero coagule y forme conglomerados que incluyen gran parte de minerales, lípidos y carbohidratos. Estos conglomerados pueden ser colectados, salados, molidos y refrigerados para producir queso Ricota. Este proceso genera como subproducto el suero de ricota que contiene menor cantidad de sólidos totales que el lactosuero (Grasselli M et al 1997; Cunningham, A. I. 2000; Monsalve J et al 2005).

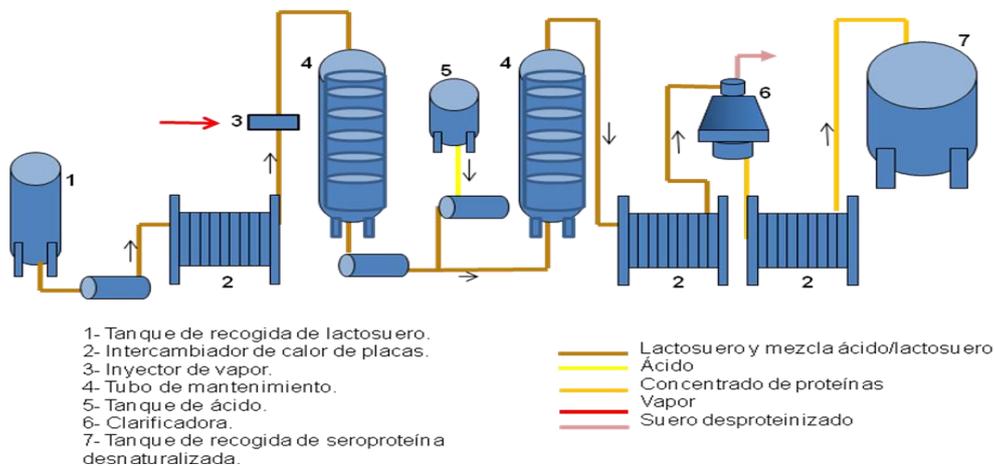
Proceso Centri Whey.

Las proteínas del suero no pueden ser precipitadas por el cuajo o por ácidos. Sin embargo es posible precipitar dichas proteínas con ácidos si primero se desnaturalizan por calor. El proceso se divide en dos etapas:

- Precipitación (desnaturalización) de proteínas por combinación de tratamiento térmico y ajuste de pH.
- Concentración de las proteínas por separación centrífuga.

El proceso consiste en primer lugar en el precalentamiento del suero a 70-75 °C. Luego se eleva a 90-95 °C y es sometido al tratamiento con ácidos como láctico o cítrico. De esta manera se obtienen las proteínas desnaturalizadas y precipitadas que son separadas por centrifugación, previo enfriamiento del producto. Luego, este concentrado de proteínas vuelve a enfriarse y se almacena en un tanque (esquema 20). Este proceso es conocido como Centri-whey.

Esquema 20. Proceso Centri Whey.



Usos de las proteínas obtenidas por Centri-Whey:

Las proteínas desnaturalizadas son más hidrofílicas, y retienen mayor cantidad de agua, por lo que se las utiliza para aumentar el rendimiento caseario. Las proteínas desnaturalizadas del suero pueden mezclarse con leche destinada a la elaboración de quesos antes de la aplicación del cuajo. Es un proceso semejante a la fabricación de ricota (40% sólidos) donde el coágulo se escurre y prensa.

IV. 5.1.2- Aislamientos por Cromatografía.

Aislamiento cromatográfico de lactoperoxidasa (LP) y lactoferrina (LF).

Tanto la LP como la LF tienen puntos isoeléctricos en la zona alcalina de pH: 9-9,5; lo que significa que están cargadas positivamente a pH normal del suero dulce, mientras que el resto de las proteínas del suero, como la β -lactoglobulina, la α -lactoalbúmina y la albúmina sérica bovina están cargadas negativamente en el mismo rango de pH. Por esta razón para el aislamiento de LP y LF se hace pasar el suero por resinas de intercambio de cationes diseñadas para absorción selectiva. Para que este proceso sea

industrialmente viable, el suero debe estar libre de partículas para mantener un caudal elevado durante la fase de carga. La microfiltración de flujo cruzado es una técnica adecuada para obtener el suero libre de partículas.

La experiencia de aplicación de cromatografía de afinidad en otros países indica que el proceso es demasiado costoso y no hay un mercado tan interesante como para desarrollar esta tecnología aquí en Argentina.

Usos de estas proteínas:

La lactoferrina es ampliamente usada en fórmulas infantiles en varios países asiáticos debido a su aparente capacidad de aumentar y mejorar la absorción de hierro sin causar el estreñimiento. Su principal aplicación sería la fortificación de leches y fórmulas para lactantes. Un péptido de 18 aa de la lactoferrina, la lactoferricina, posee la propiedad de dañar la membrana celular, por esta razón es utilizado como agente antimicrobiano. Por otro lado, la lactoferrina tiene propiedades antioxidantes y también actúa como prebiótico estimulando el crecimiento celular de enterocitos, células inmunes y bifidobacterias del colon (Horton B.S. 1995; Grasselli M. et al 1997; Bruce G. 2000). También puede emplearse en preparaciones antianémicas y como agente antimicrobiano al igual que la lactoperoxidasa.

La lactoperoxidasa es un antimicrobiano natural que se utiliza como conservante de leche y yogurt, sustituto de antibióticos en leches para prevenir infecciones neonatales; en cosmética y productos bucales (Horton B.S. 1995).

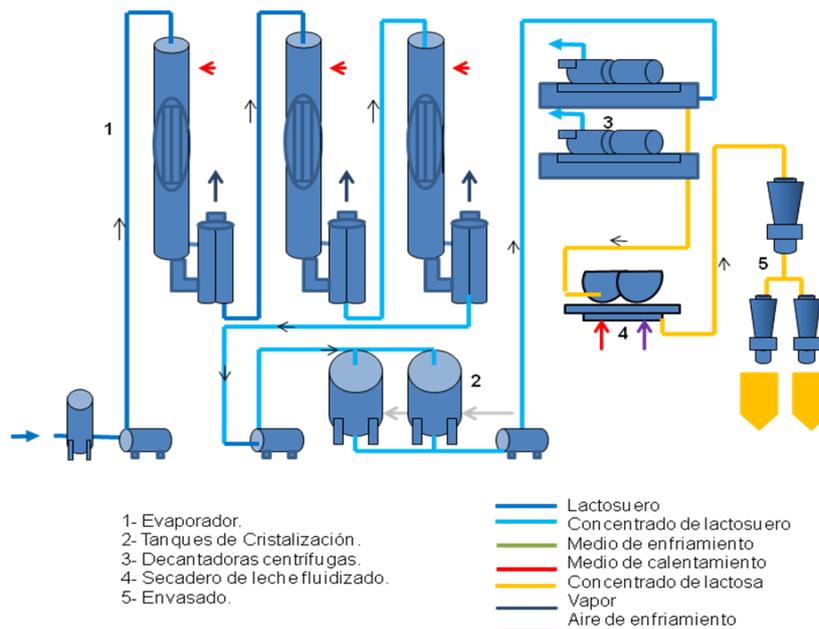
IV. 5. 2- Lactosa.

Para la recuperación de esta sustancia se pueden utilizar dos alternativas (Gösta Bylund M. 2002):

- Cristalización de la lactosa en suero concentrado sin desproteinizar.
- Cristalización de la lactosa en suero desproteinizado por ultrafiltración o por algún otro método, antes de la concentración.

El Esquema 15 presenta el proceso de obtención de lactosa a partir de lactosuero.

Esquema 15. Proceso de obtención de lactosa.



Cristalización de la lactosa en suero sin desproteínizar (esquema 15):

El proceso de obtención de lactosa es a partir de suero de queso que ya ha sido higienizado, desnatado, pasteurizado y enfriado. En primer lugar, se concentra el suero por evaporación hasta el 60-62 %, pasando entonces a los depósitos de cristalización donde se añaden semillas de cristales que actuarán como núcleos de cristalización. La cristalización tiene lugar de forma lenta, de acuerdo con un programa prefijado de tiempos y temperaturas (Gösta Bylund M. 2002; Jaime Valencia, M C. 2008).

Después de la cristalización, la melaza de cristales pasa a decantadores centrífugos para su separación, que son secados hasta alcanzar la forma de polvo, y después se muelen, normalmente en un molino de martillos, se tamizan y la lactosa se envasa.

Cristalización a partir de suero desproteínizado:

El suero pre-tratado es sometido a una etapa de ultrafiltración en equipos de membranas en espiral separando el concentrado de proteínas de suero del permeado de suero, que será la materia prima para obtener lactosa.

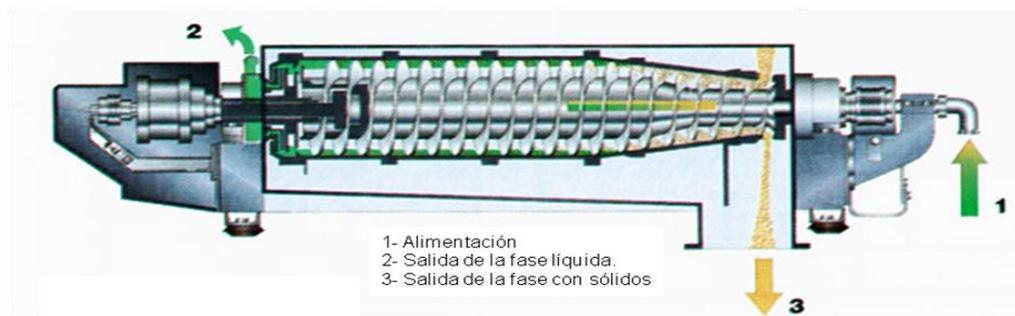
El permeado de ultrafiltración es sometido a un proceso de refinación y concentración por medio del evaporador falling film múltiple efecto para facilitar la posterior etapa de cristalización. En el paso siguiente, el permeado concentrado es sometido a un proceso de enfriado programado con el objetivo de lograr la formación de cristales de lactosa de

tamaño homogéneo. La masa de cristales en suspensión es sometida a separación centrífuga para luego ser descargada en un secadero de lecho fluidizado. Una vez que se ha obtenido el cristal de lactosa refinada, es sometido a una etapa de molienda para obtener un polvo fino con tamaño de partículas mucho más homogéneo. Finalmente, se realiza el envasado. También se puede secar por Spray Dryer, donde se obtiene un producto más homogéneo y de mayor calidad (Gösta Bylund M. 2002).

Separación de la lactosa:

Se emplean decantadoras centrífugas horizontales (Esquema 16). Durante la separación, las impurezas de la lactosa se eliminan por lavado (Gösta Bylund M. 2002).

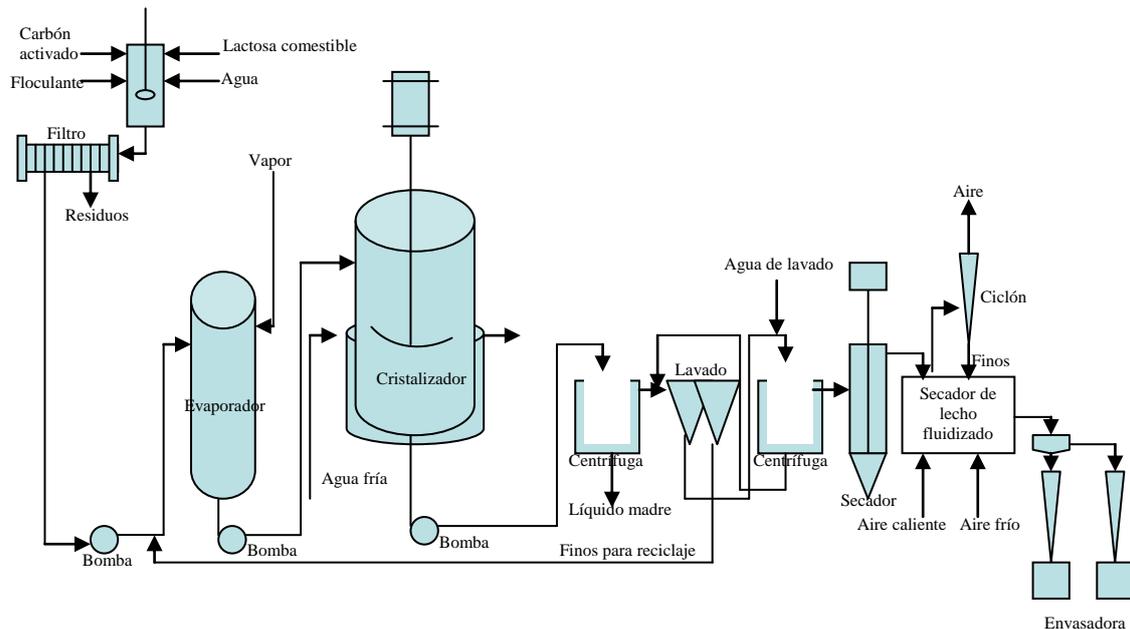
Esquema 16. Decantadora centrífuga horizontal.



Refino de la lactosa:

En las aplicaciones de lactosa en la industria farmacológica se requiere que la misma presente un alto grado de pureza, para ello se procede a refinarla. Durante el proceso de refino (Esquema 17), la lactosa se redisuelve en agua caliente hasta una concentración del 50%. Al mismo tiempo se añade carbón activo y un agente filtrante. Después de la filtración, la solución de lactosa pasa al depósito de cristalización, donde se realiza nuevamente este proceso. La lactosa purificada es entonces separada, secada, molida y envasada (Gösta Bylund M. 2002).

Esquema 17. Proceso de obtención de lactosa de grado farmacológico.



Usos de la Lactosa:

Son numerosas las propiedades funcionales que presenta la lactosa. Entre ellas se pueden enumerar dispersante, solubilizante, espumante, aereante, viscosante, estabilizante de proteínas, emulsificante, antiaglomerante, absorbente, compresibilidad, reductor del dulzor, mejorador de textura y palatabilidad, resaltador de sabor, pardeamiento, compresibilidad, cristalizante, agente para cobertura (Tabla 9).

Se utiliza comúnmente como ingrediente en alimentos infantiles, para aportar niveles similares a los presentes en leche humana (7%). Se incluye también, en la formulación de muchos alimentos (sopas y salsas instantáneas, pastas, panadería y confitería, productos lácteos como leche condensada y helados, bebidas instantáneas, aderezos, salchichas y otros derivados cárnicos, frutas en conserva, mermeladas, chocolates). Las principales propiedades por las que se utiliza este disacárido en alimentos son el bajo poder edulcorante, la aptitud para la fijación de aromas, la adsorción de pigmentos y volátiles, el poder emulsificante y agregante, la mejora de la textura, la participación en reacciones de Maillard (favoreciendo la coloración tostada típica de los productos de panadería) y la potenciación de la absorción intestinal del calcio. El grado de pureza de la lactosa alimenticia es 99%. En fórmulas infantiles ayuda a restablecer la microflora

intestinal por proporcionar un medio adecuado para los lactobacilos (Berruga Fernández 1999).

También se emplea frecuentemente como excipiente en la fabricación de medicamentos como píldoras o pastillas y como sustrato en los cultivos para la producción de antibióticos. La lactosa que es utilizada como excipiente en productos farmacéuticos (pastillas principalmente por su suave sabor y alta plasticidad) debe contener el 99,9% de pureza.

Se utiliza además, para la producción de espumas rígidas de poliuretano, empleadas como materiales de construcción y para embalaje (Krochta JM. 2002).

Otros usos de la lactosa están relacionados con pastas dentales, medio de cultivo, plateado de espejos, extintores de incendio, etc.

Tabla 9. Resumen de las propiedades funcionales de la lactosa y su aplicación.

Propiedades funcionales	Aplicaciones
Reducción del dulzor.	Confitería y pastelería.
Aumento de viscosidad.	Jarabes farmacéuticos.
Mejoramiento de la textura o palatabilidad.	Helados, bebidas de fantasía.
Propiedades de solubilidad y absorción.	Vehículo para sabores, aromas y colorantes alimenticios.
Agente antiaglomerante y/o dispersante.	Antiaglomerante en alimentos en polvo. Agente dispersante en alimentos instantáneos como café, té y sopas en polvo. Vehículo para tabletas/pastillas.
Control del pardeamiento	Artículos de panadería como galletitas, bizcochos, pan. Agentes de pardeamiento en microondas. Caramelos. Papas fritas.
Resaltador del sabor	Salsas, bebidas de frutas, lácteas, chocolatadas y rellenos de tartas
Balance nutricional	Sustituto para leche materna, uso en formulaciones de alimentos para niños. Helados y edulcorantes para diabéticos.

Fermentación selectiva	Productos farmacéuticos, medio de cultivo para exámenes bacteriológicos.
Control de cristalización	Turrone. Leche condensada azucarada, helados.
Uso industrial	Pasta de dientes, extintores de incendio.

V- Productos derivados de los componentes del suero.

V. 1- Hidrolizado de proteínas del suero.

WPP: Proteínas del suero Hidrolizadas.

Los hidrolizados son tratamientos de las proteínas del suero con enzimas específicas que hidrolizan las mismas en pequeños péptidos y aa. El grado de hidrólisis varía entre 5 y 25 %. Un mayor porcentaje de hidrólisis puede realizarse pero podrían generarse péptidos de sabores más amargos (Schlothauer, RC et al 2005).

Existen en el mercado preparados de seroproteínas hidrolizadas (WPP: Whey Protein-hydrolyzed Peptides). Son proteínas del suero hidrolizadas parcialmente y predigeridas. Se hidroliza a temperaturas entre 20 y 65 °C dependiendo de la enzima que se emplee, a un pH de entre 6 y 8 cuando es una proteasa neutra y entre 3 y 5 cuando es ácida. Para proteasas alcalinas se utiliza pH 5-10. La proteólisis finaliza cuando esta no es mayor al 10% y se alcanza con la desactivación de la enzima a 95 °C. El grado ideal de hidrólisis es del 10-25 %.

Usos:

Los WPC hidrolizados se utilizan en fórmulas infantiles y dietas especiales para acelerar la digestión y reducir posibles alergias. Las proteínas hidrolizadas pueden utilizarse clínicamente en alimentación por tubo entérico. Algunos bebés son alérgicos a las proteínas de la leche como la β -lactoglobulina, por ello, para solucionar este problema se recurre al hidrolizado, hidrolizando las proteínas alergénicas del suero en péptidos más pequeños.

Al degradar las proteínas del suero se logra un conjunto de aa, del que puede separarse la fenilalanina, que es el componente más peligroso para las personas fenilcetonúricas.

Por hidrólisis de la α -lactoalbúmina se obtiene un péptido que es precursor de la serotonina que regula la vigilia y el sueño. También se obtiene un péptido formado por la unión secuencial de los aa tirosina, glicina, leucina y fenilalanina, el cual es una exorfina –o morfina exógena- ya que posee acción opiácea, que puede ser usada para el tratamiento de trastornos psicossomáticos (Archibald 2007).

V. 2- Glicosilación de proteínas del suero.

Una modificación de la funcionalidad de las proteínas es mediante la glicosilación de las mismas. Esta reacción se produce mediante un tratamiento térmico a humedad controlada. El método consiste en mezclar una solución de proteínas de suero lácteo con otra de carbohidratos (como por ejemplo goma xántica) en distintas proporciones, luego esta mezcla se seca y se provoca la reacción en una estufa a 60 °C por varios días.

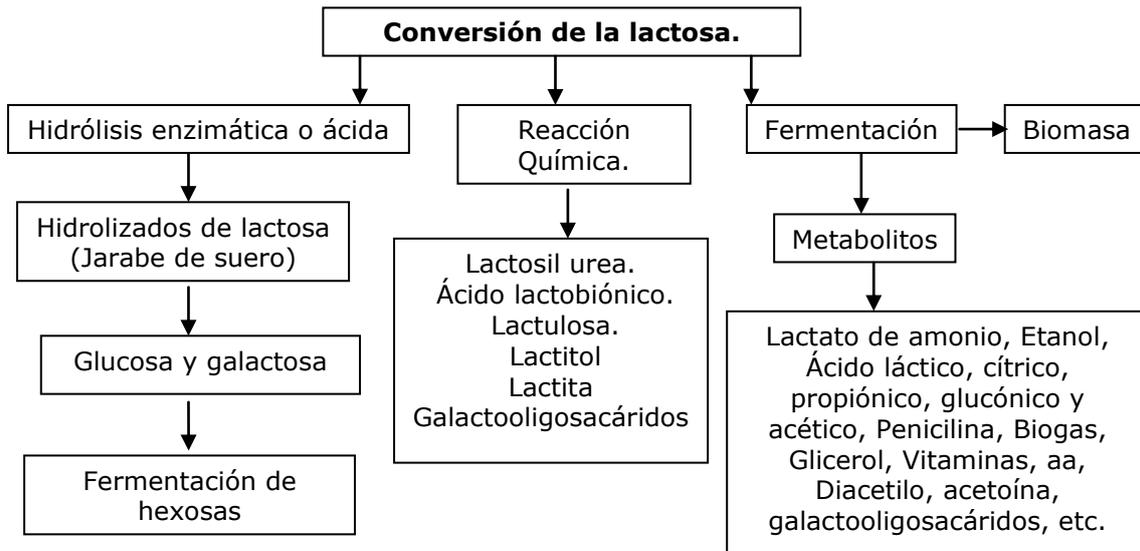
Los procedimientos de obtención de proteínas glicosiladas con disacáridos y con dextranos de distintos pesos moleculares, es vía reacción de Maillard. Así, por ejemplo, se han obtenido caseinmacropéptidos lactosilados en los que se logra mejorar su capacidad emulsionante mientras que la solubilidad y la estabilidad térmica no se ven afectadas negativamente. También, se han optimizado las condiciones de glicosilación (temperatura, pH, humedad, relación peso proteína/carbohidrato) de proteínas de suero tales como la β -lactoglobulina, la α -lactoalbúmina y la BSA con dextranos y galactomananos de diferente peso molecular (43.000, 20.000 y 10.000 Da). La unión del polisacárido mejora la solubilidad a pHs ácidos de las tres proteínas y aumenta la estabilidad térmica de las proteínas más inestables térmicamente (β -lactoglobulina y BSA). Los resultados obtenidos demuestran que la glicosilación de proteínas de suero vía reacción de Maillard bajo condiciones controladas puede ampliar su rango de aplicación, obteniéndose funcionalidad mejorada respecto a las proteínas de partida, lo cual revalorizaría el suero lácteo. Además, el procedimiento de obtención vía reacción de Maillard bajo condiciones controladas garantiza la utilización segura de estos ingredientes alimentarios, ya que no se precisan reactivos químicos que requerirían su posterior eliminación.

V. 3- Conversión de la lactosa.

Los tratamientos de la lactosa (Esquema 21) pueden ser:

- ✚ Hidrólisis (ácida o enzimática).
- ✚ Reacciones químicas.
- ✚ Fermentación (como sustrato de mo).

Esquema 21. Tratamientos de conversión de lactosa.



Hidrólisis de la lactosa.

La lactosa se puede hidrolizar por métodos químicos (hidrólisis ácida) o enzimáticos (empleo de β -galactosidasa). La hidrólisis ácida de la lactosa es difícil que ocurra ya que es un azúcar que presenta cierta estabilidad frente a los agentes químicos. Se precisa la acción de ácidos en caliente para desdoblarla:



El desdoblamiento por métodos enzimáticos se realiza mediante el uso de β -galactosidasa (EC 3.2.1.23). Es una enzima que hidroliza la lactosa en sus monómeros glucosa y galactosa, al escindir el enlace β 1-4 del azúcar. La hidrólisis de la lactosa da lugar a productos considerablemente más dulces. Para realizar la hidrólisis enzimática (Esquema 22) no es necesario un tratamiento previo de desmineralización. Después de la hidrólisis el suero se evapora. De esta forma se obtiene un jarabe con un contenido en sólidos del 70-75%. El 85% de la lactosa en ese jarabe se encuentra hidrolizada, por lo que puede ser utilizado como edulcorante. Este jarabe no cristaliza si se lleva a cabo al menos un 75% de hidrólisis, y se concentra hasta un 64% de sólidos. Ya desde un 50% de hidrólisis el jarabe es tan dulce como uno de sacarosa (Jaime Valencia, M C. 2008). El jarabe dulce (glucosa + galactosa) se produce industrialmente y se utiliza como materia prima en diversos alimentos. Estos jarabes no tienen problemas de cristalización.

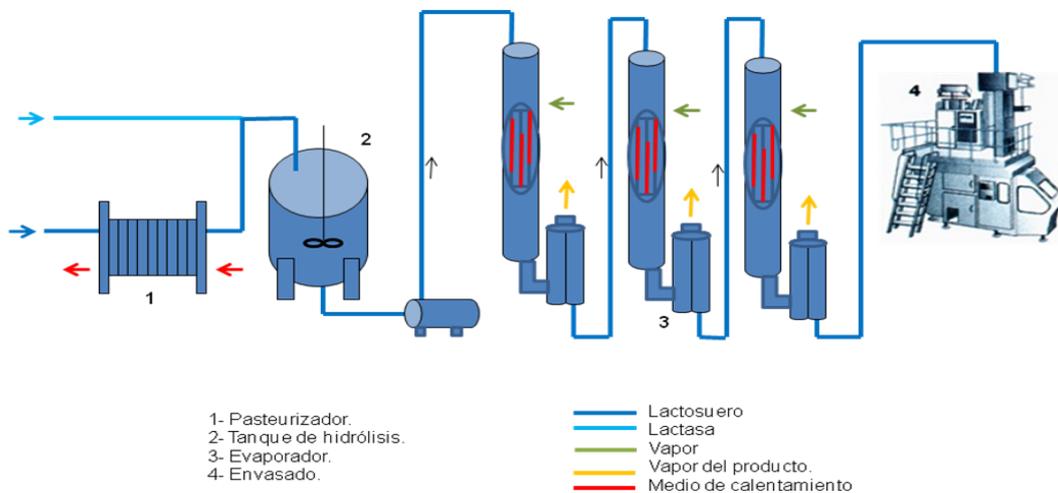
Otras aplicaciones de la hidrólisis son:

-Evitar problemas de cristales en el dulce de leche, generando mayor solubilidad con un 30-40% de hidrólisis. De esta forma aumenta considerablemente la vida útil de este producto.

-Obtener leches y yogures deslactosados para personas que presentan intolerancia a la lactosa, pues les ocasiona trastornos digestivos a causa de que no sintetizan β -galactosidasa.

En el siguiente esquema se muestra el proceso industrial de hidrólisis (Gösta Bylund M. 2002):

Esquema 22. Proceso de hidrólisis de lactosa.



Usos de los productos de la Hidrólisis:

- Jarabe hidrolizado: sustitutos parciales de sólidos de leche y azúcar en helados, confitería, aderezos, productos de panadería, yogur, productos lácteos endulzados, etc. El poder edulcorante depende del grado de hidrólisis de la lactosa. En general varía entre 65–90% del poder edulcorante de la sacarosa.
- Galactosa: se utiliza para reemplazar sorbitol. Reemplazo de sacarosa o jarabe de maíz.

Reacciones químicas.

Mediante procesos químicos pueden obtenerse numerosos derivados de la lactosa. A continuación se enumeran algunos de estos productos.

- *Lactulosa* (4-o-j3-D-galactopiranosil-D-fructosa). Para su obtención, la lactosa se isomeriza usando aluminato, borato o ácido bórico en solución acuosa usando

aminas terciarias, a pH 11 y a una temperatura de 70 °C por 4 horas. Es un isómero de la lactosa en el que la glucosa se convierte en fructosa. Se forma en condiciones alcalinas y, en pequeñas cantidades, aparece en la leche sometida a tratamientos térmicos intensos (Berruga Fernández 1999).

Usos de la lactulosa: De valor terapéutico por su acción laxante, se utiliza para tratar el estreñimiento. Conocido como fibra soluble. Disacárido semi-sintético que no sufre degradación enzimática en el tracto digestivo. Considerado como ingrediente prebiótico, ya que no se digiere en el intestino y facilita el crecimiento de las bifidobacterias. Tiene un poder edulcorante 50% superior al de la sacarosa, se utiliza como edulcorante para diabéticos y sustituto de azúcar en productos de panadería. También se utiliza para elaboración de alimentos de humedad intermedia como sustituto parcial de la sacarosa y el jarabe de alta fructosa o la glucosa, pero el principal uso es como factor bifidogénico en yogurt y leches fermentadas (Huginin A. 2009). También se emplea en el tratamiento de la hepatoencefalía por inhibir en el intestino el crecimiento de microorganismos productores de amonio. En resumen, las propiedades de la lactulosa son: estimular la proliferación de bifidobacterias, efecto laxante, permite la captación de oxígeno, reducción de amonio en sangre, suprimir la producción de amonio en el intestino, reducir el amonio en sangre. Por ello, teniendo en cuenta estas propiedades posee las siguientes aplicaciones: fórmulas infantiles, laxantes, bebidas para deportistas, droga contra encefalopatía hepática, etc (Horton B.S. 1995; Jaime Valencia, M C. 2008).

- *Lactita* (4- α -D-galactopiranosil-D-glucitol). Se obtiene por reducción de la lactosa (Berruga Fernández 1999).

Usos de Lactita: al igual que la lactulosa no se digiere en el intestino, por lo que tiene un efecto similar sobre la flora intestinal. Es además, un edulcorante no cariogénico y de bajo contenido calórico (2 Kcal/g) cuyo uso en alimentos está autorizado en la UE.

- *Esteres de lactitol.* El lactitol se produce por hidrogenación química de la lactosa. Se obtiene por reducción en presencia de H₂. (Berruga Fernández 1999).

Usos de Lactitol: Se emplean industrialmente como surfactantes, detergentes industriales, emulsionantes en alimentos, como edulcorante (sobre todo en chicles). Actúa como edulcorante no nutritivo, posee nulo poder cariogénico, es usado como preventivo en la formación de caries como aditivo en alimentos para dietas. No es digerible para humanos, por lo tanto tiene poder laxante. La principal aplicación del lactitol es que sea esterificado con ácido palmítico para la producción de emulsificantes

y detergentes. Permite la proliferación de bifidobacterias. Se utiliza en fórmulas infantiles y edulcorantes no calóricos (Horton B.S. 1995; Jaime Valencia, M C. 2008).

- *Ácido lactobiónico*. (4- α -D-galactopiranosil-D-ácido glucónico). Se obtiene por oxidación de la lactosa. (Berruga Fernández 1999).

Usos del Ácido lactobiónico: se emplea en las soluciones de mantenimiento de órganos que van a ser transplantados. También utilizado como acidulante alimentario. Contribuye a prevenir la osteoporosis, ya que permite la fijación de Calcio. Se lo utiliza como acomplejante de metales (Horton B.S. 1995).

- *Lactosil-urea*. Tras la adición de urea y de ácido sulfúrico de uso en procesos alimenticios el suero concentrado se mantiene a 70 °C durante 20 horas en un tanque encamisado provisto de un agitador. Bajo estas condiciones la urea reacciona con la lactosa para formar lactosil urea. (Berruga Fernández 1999).

Usos de Lactosil-urea: como alimentos balanceados. Se usa para alimentación de rumiantes ya que da a la urea un sabor más agradable y hace posible el aprovechamiento del nitrógeno no proteico.

- *Galactooligosacáridos (GalOS)*. Se forman a partir de la lactosa por reacciones de transgalactosidación (Berruga Fernández 1999).

Usos de Galactooligosacáridos (GalOS): Estos compuestos, al igual que la lactulosa, se están utilizando cada vez más como ingredientes en la formulación de alimentos funcionales. Son bifidogénicos, no cariogénicos, de bajo poder calórico y aptos para diabéticos. Se utiliza para realizar preparaciones prebióticas beneficiosas para la salud (Horton B.S. 1995; Jaime Valencia, M C. 2008).

Procesos de Fermentación.

El suero constituye un excelente medio de cultivo para un amplio número de microorganismos. Se han desarrollado diversos procesos biotecnológicos, de bioconversión o fermentación del suero, orientados a la obtención de diversos tipos de materiales: a) productos que se obtienen en grandes volúmenes, pero con un valor comercial relativamente bajo, como es el caso del metano, el etanol (Ling, KC. et al 2008), la biomasa proteica, o los efluentes tras la depuración; b) productos con un valor comercial mayor y que también se producen en grandes cantidades (ingredientes o aditivos para alimentación animal o humana, levaduras de panadería, aa, polisacáridos, etc.); y c) los que se obtienen en volúmenes muy pequeños, pero con un valor comercial muy elevado, tales como antibióticos y otros productos farmacéuticos, enzimas,

vitaminas, etc. Los procesos de bioconversión del suero se basan sobre todo en el uso de levaduras (Berruga Fernández 1999). Sin embargo, también se pueden obtener diversos compuestos (alcoholes, ácidos orgánicos, aa, vitaminas, aromas, hormonas, aceites, polisacáridos) del cultivo de bacterias, lácticas por ejemplo (Vigliengo E et al 2009), o mohos (Berruga Fernández 1999).

Ejemplos de estos productos obtenidos por fermentación son:

- *Biogas*: producción de metano como fuente de energía. La lactosa es transformada, primeramente por bacterias anaeróbicas acidógenas, en acetato, propionato, iso y n-butirato, caproato, lactato, formiato y etanol; seguidamente se forma el metano a partir de estos ácidos (Carrion et al 2006; Ling, KC et al 2008).

- *Etanol*: se fermenta la lactosa con levaduras del género *Kluyveromyces* para obtener etanol. Usos: Se puede utilizar como biocombustible (fermentación de lactosa). Uso alimenticio, alcoholes industriales, destilerías y como reactivo químico (Ling, KC et al 2008).

Otra opción es producir durante el mismo proceso etanol y pectinasas, con el objeto de valorizar más el proceso productivo. En este proceso se utiliza *Kluyveromyces marxianus*, temperatura: 30 a 38 °C, pH= 4.5–5. El nitrógeno es limitante del crecimiento (no utiliza la mayor parte de las proteínas del suero) por lo que se requiere su suplemento (sales de nitrógeno). También se suplementa con vitaminas y fosfatos.

Otra limitación importante es el oxígeno. Si se utiliza *S. cerevisiae*, que no asimila lactosa, primero debe hidrolizarse el suero (con lactasa inmovilizada) (Proceso Corning–Kroger).

Para que la producción de etanol sea rentable, debe trabajarse con suero concentrado hasta un nivel de lactosa de 100 a 120 g/L o recurriendo a reactores de alta densidad celular con recirculación de células o inmovilizadas. La capacidad mínima diaria de producción debe ser de al menos 60.000 litros de etanol (de acuerdo a un reporte de Nueva Zelanda del 2005 teniendo en cuenta el precio del etanol y considerando que el permeado del cual se parte tiene costo 0) (Carrion S et al 2006; Ling, KC et al 2008).

Además, para calcular costos deben considerarse:

- Escala de planta apropiada que minimice el costo de capital.
- Tecnología y procesos apropiados que minimicen el costo operativo.
- La mejor alternativa del uso/disposición del efluente.

- El precio del etanol.
- Posibles incentivos de producción por parte del gobierno.

Dadas estas consideraciones resulta muy poco rentable obtener etanol a partir del permeado de suero en nuestro país.

- *Proteína unicelular*: son harinas proteicas derivadas de una serie de microorganismos unicelulares como levaduras, bacterias, hongos y algas. Se utiliza en la industria alimenticia.

- *Ácidos orgánicos*: acético, propiónico, láctico, cítrico, glucónico, fórmico, fumárico, sórbico, málico. Empleando un cultivo mixto de una bacteria láctica (*Lactococcus lactis*) y una bacteria anaeróbica (*Clostridium formicoacticum*) se reportó la producción de 20 g/L de ácido acético en 20 hs de cultivo. Se aplican en alimentos, como conservantes y acidificantes y como materia prima para diferentes industrias.

- *Lactato amónico*: el proceso de obtención implica la fermentación de la lactosa del suero a ácido láctico y el mantenimiento del pH con amoníaco, dando lugar a la formación de lactato amónico.

- *2,3-butanodiol*: sustancia que se utiliza en la industria y como fuente de energía alternativa.

- *Glucono- δ -lactona*: este producto es muy interesante porque presenta un perfil de acidificación (a ácido glucónico) parecido al de productos de fermentación como el yogur. Agregado en pequeñas proporciones a quesos frescos aporta un sabor muy agradable y ayuda a mejorar la vida de anaquel.

- *Diacetilo y acetoína* por fermentación de lactosa a partir de *Lactobacillus casei* modificado genéticamente. Con la misma se pueden obtenerse aditivos alimentarios a partir del lactosuero, como diacetilo y acetoína que se utilizan en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica. La bacteria se modifica mediante técnicas de manipulación genética para que, a partir de la lactosa presente en el suero, sea capaz de producir diacetilo y acetoína. Para ello se introduce en la bacteria un gen precedente de la bacteria *Lactococcus lactis* (el gen de la enzima acetohidroxiácido sintasa) y, al

mismo tiempo, han anulado por mutación dos genes propios de *L. casei* (los de las enzimas lactato deshidrogenasa y piruvato deshidrogenasa), de este modo *L. casei* produce menos ácido láctico y dedica parte del metabolismo de la lactosa a la producción de los compuestos deseados. La cepa así construida es capaz de producir un gramo y medio de diacetilo y acetoina por litro.

- *Aminoácidos*: glutamina, lisina, treonina.

- *Penicilina*: la lactosa aumenta la eficiencia de la producción de penicilina ya que es utilizada por los hongos productores de penicilina a menor velocidad que el resto de los hidratos de carbono resultando en un mejor control del pH, buenos crecimientos de microorganismos y mayores rendimientos del antibiótico. Usos: antibiótico.

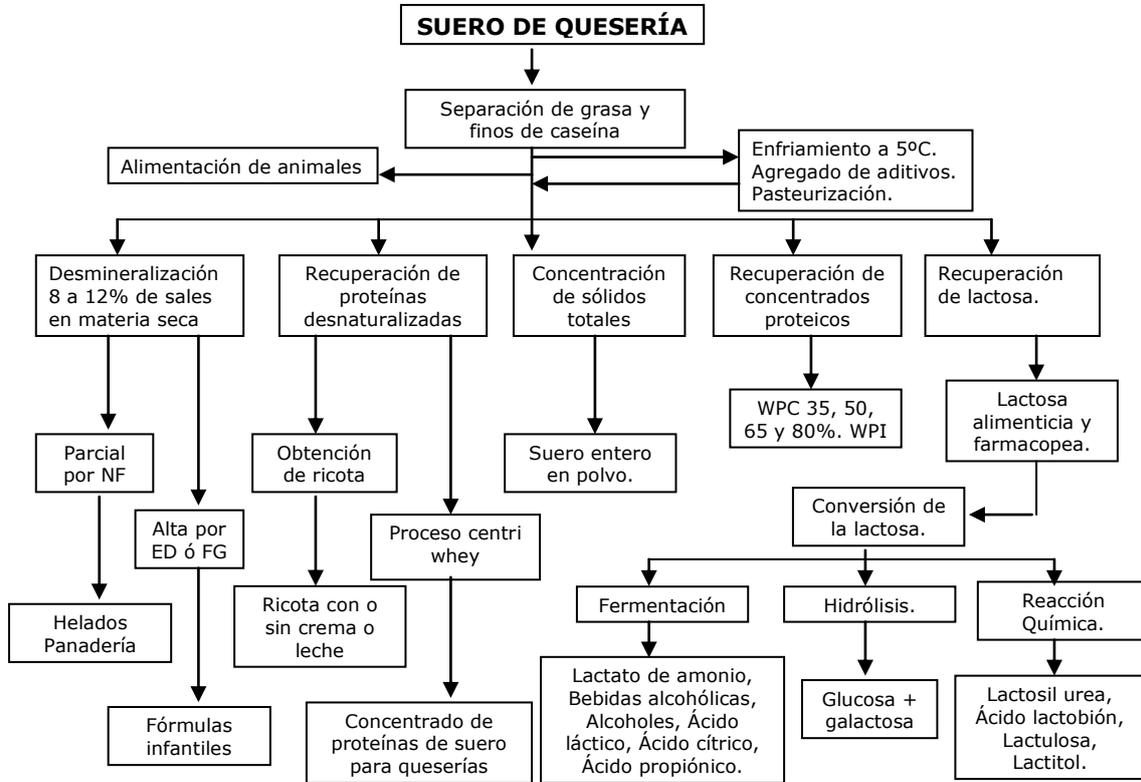
- *Probióticos*: para obtener cultivos probióticos concentrados a un bajo costo de producción es necesario emplear medios de cultivo baratos (que pueden ser a base de suero) y un método eficiente de fermentación.

- *Vitaminas*: B12 y B2.

- *Bacteriocinas*: son proteínas o complejos de proteínas con acción bacteriostática o bactericida. Minimizar los costos de producción de las mismas implica optimizar todas las variables implicadas en el proceso de producción, como puede ser el uso de suero como medio de cultivo.

En el Esquema 23 se resumen los procesos descriptos para tratamiento del suero.

Esquema 23. Resumen de procesos de suero de quesería.



VI. Estado de la producción y aprovechamiento del suero en la Argentina y en la provincia de Santa Fe.

VI. 1- Producción, características y destinos de la leche a nivel nacional.

El complejo lácteo en Argentina se caracteriza por presentar una estructura primaria conformada por unos 11.000 tambos (SENASA,2008) localizados en diversas cuencas lácteas; una industria procesadora estratificada, con la presencia de un reducido número de empresas grandes y varios centenares de pequeñas y medianas firmas, muchas de ellas artesanales y que operan en el circuito informal de producción. El sector lácteo se ubica en tercer lugar dentro de las industrias de Alimentos y Bebidas.

El eslabón industrial de la cadena láctea está conformado por aproximadamente 912 empresas (sin considerar los tambos fábrica), que cuentan a su vez con 1.282 plantas de genéricos (Cartier EN et al, 2007). Como puede observarse en la tabla 10, las plantas elaboradoras de quesos son las que mayor presencia tienen dentro del sector (67,3%) (Castellanos A et al 2009).

Tabla 10: Desagregación de las plantas de genéricos a nivel nacional.

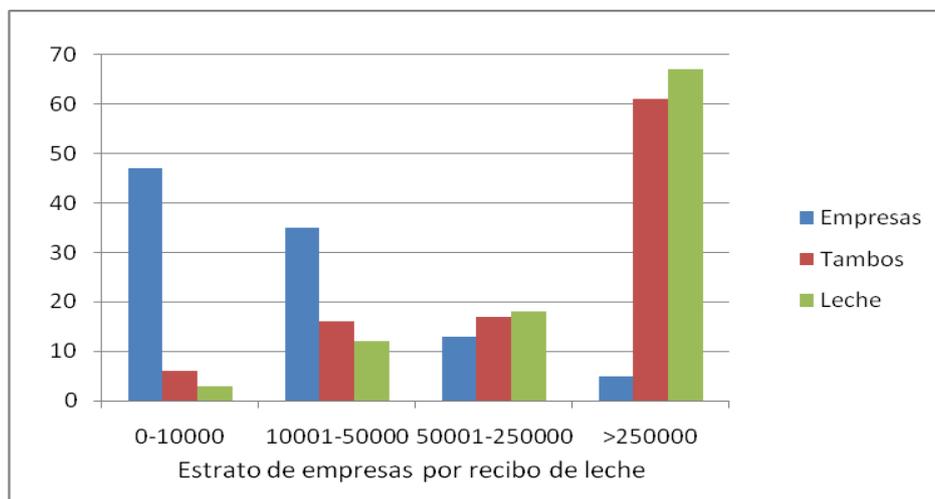
Planta de genérico	%
Plantas Elaboradoras de Quesos (sin tambos/fábrica)	67,3
Plantas Elaboradoras de Leche Fluida Corta y Media Vida	4,9
Plantas Elaboradoras de Leche Fluida Larga Vida	0,5
Plantas Elaboradoras de Leche en Polvo	2,3
Plantas Elaboradoras de Dulce de Leche	11,7
Plantas Elaboradoras de Yogures y Postres	3,0
Plantas Envasadoras de Crema de Leche	7,0
Plantas Elaboradoras de Manteca	2,4
Plantas Elaboradoras de Suero en Polvo	0,7
Total	100,0

Fuente: (Castellanos A. 2009).

Por otro lado, según registros de la Oficina Nacional de Control de Comercial Agropecuario para el 2008, existen cuatro rangos o estratos según la operatividad diaria (Gráfico 2). El primer estrato de hasta 10.000 litros diarios de recepción de leche

representa el 47% de las empresas, toman la leche del 6% de los tambos y procesan solo el 3% de la leche. El segundo estrato de entre 10.001 y 50.000 litros, representa el 35% de las empresas, participa con el 12% de la leche procesada a nivel nacional y recolecta leche del 16% de los tambos. La particularidad de estos dos estratos es que en su gran mayoría las empresas que allí se encuentran, producen quesos, sobre todo de pasta blanda, que son productos de una alta rotación. Seguidamente, el tercer estrato de entre 50.001 y 250.000 litros de leche diarios, participa con el 18% de la leche procesada. Los tambos que les proveen a las plantas de este estrato representan el 17% y se concentra el 13% de las empresas. En este estrato ya se pueden encontrar empresas multiproducto, que no solamente elaboran quesos, sino que también producen otros tipos de lácteos como leche fluida y productos frescos. Finalmente, el último y cuarto estrato, de más de 250.000 litros diarios de procesamiento, representa en el país apenas el 5% de las plantas lácteas pero procesan el 67% de la leche cruda. Este grado de concentración por parte de pocas empresas, en cuanto al procesamiento industrial, se ve también reflejado en la provisión de la materia prima ya que toman la leche del 61% de los tambos del país (Lacelli G. et al 2006; Castellanos A. et al 2009).

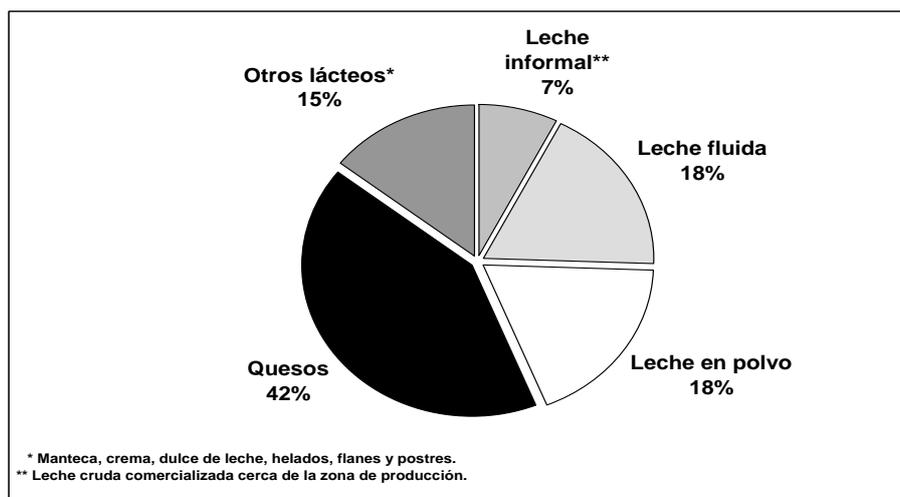
Grafico N° 2: *Distribución nacional de las empresas lácteas por estrato según recepción diaria promedio*



Fuente: Castellanos A. 2009 (datos de ONCCA 2008).

El destino de la leche cruda en Argentina, está orientado en gran medida a la elaboración de productos lácteos sólidos. En el Gráfico 3 se muestra la distribución en porcentajes de los distintos productos elaborados.

Gráfico N° 3: Destino de la leche cruda primaria nacional a productos lácteos.



Fuente: Castellanos A. 2009

La industria quesera produce de suero aproximadamente el 90% del volumen de leche bovina procesada. Considerando que en la Argentina se producen 10.000 millones de litros de leche por año, y que aproximadamente un 40-50 % de esa leche se transforma en queso, se producen en el país aproximadamente 11 millones de litros de suero por día (Castellanos A et al 2009).

VI. 2- Producción, características y destinos de la leche en la provincia de Santa Fe.

Según fuentes del INTA Rafaela y datos del Ministerio de la Producción de Santa Fe y la Agencia Santafesina de Seguridad Alimentaria (ASSAL), en el año 2009 hubo 9.26 millones de litros diarios de recepción de leche promedio en un total de 151 empresas registradas (Tabla 11) en funcionamiento que representan unas 167 plantas receptoras de leche. En este caso los estratos se establecieron teniendo en cuenta los siguientes volúmenes:

Estrato 1: menos de 5000 L.

Estrato 2: de 5001 L a 30000 L.

Estrato 3: de 30001 L a 250000 L.

Estrato 4: más de 250000 L.

Tabla N° 11: Distribución de las empresas de Santa Fe, por estrato según nivel de recepción diaria de leche.

	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Total
Cantidad de empresas y participación en el estrato	77	47	20	7	151
	51%	31%	13%	5%	100%
Litros diarios promedio recibidos y participación en el estrato	173.461	748.285	2.658.705	5.684.798	9.265.249
	2%	8%	29%	61%	100%

FUENTE: Castellanos A. 2009.

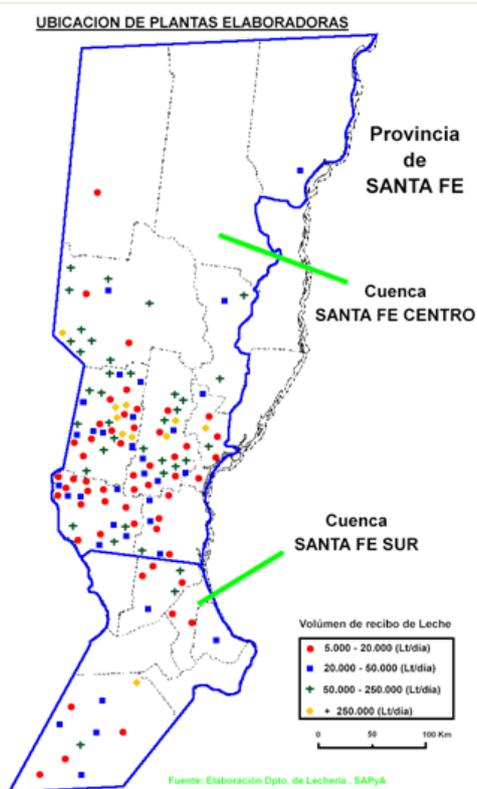
Estas plantas están distribuidas principalmente en el centro provincial (Esquemas 24 y 25), siendo los Departamentos Castellanos, Las Colonias y San Martín los más importantes ya que se encuentran instaladas el 53% de las industrias.

En cuanto al nivel de procesamiento diario, el departamento Castellanos concentra el 57% del total de la leche procesada en la provincia, seguido por Las colonias con el 21%. En estos dos departamentos se encuentran las seis principales empresas que en su conjunto procesan el 69% de la leche.

Esquema 24. Distribución de empresas lácteas en la provincia de Santa Fe.



Esquema 25. Distribución de las plantas lácteas de la provincia de Santa Fe.



Fuente: Castellanos A. 2009.

Como datos generales se puede enumerar que, de las PYMES lácteas en Santa Fe:

- El 90% son empresas familiares de capital y mano de obra local.
- El 60% están ubicadas en zona rural sobre camino de tierra o ripio.
- El 10% tienen tambos propios para proveerse de la materia prima.

En la tabla 12 se presentan los destinos de la leche de la provincia de Santa Fe en el año 2004.

Tabla 12. Destino de la Materia Prima utilizada para la elaboración de Productos Lácteos Año 2004.

RUBRO	LITROS DIARIOS APROXIMADOS	PORCENTAJE
Queso	4429606	44.58
Leche en polvo	4009302	40.35
Leche fluida/Larga Vida	938981	9.45

Dulce de Leche	303057	3.05
Otros	255363	2.57

Fuente: Ministerio de Producción de la provincia de Santa Fe

VI. 3- Panorama general del aprovechamiento de suero en Argentina.

De las tecnologías disponibles en la actualidad para tratamiento de suero, en nuestro país pueden obtenerse productos como suero en polvo, suero en polvo desmineralizado, permeado en polvo, lactosa de grado alimenticio y WPC. Estas alternativas son viables para empresas que puedan procesar grandes volúmenes de lactosuero y que poseen una importante capacidad de inversión.

En cuanto a la situación del mercado del suero en Argentina, se menciona que se producen entre 75.000 a 80.000 toneladas por año de suero en polvo y subproductos, en su mayor parte deshidratados mediante secado spray, de los cuales se exporta alrededor del 50% de ese volumen.

Con las nuevas inversiones que ha realizado el sector lácteo en los últimos años, Argentina ha aumentado su capacidad instalada para procesar lactosuero, y hoy alcanza una participación en el mercado internacional del orden del 4%.

Argentina es un país que ha avanzado en la búsqueda de nuevas alternativas de aprovechamiento del suero, sin embargo hay conciencia de la necesidad de seguir explorando. La conversión del suero de queso en producto de valor agregado y de exportación significa además del impacto económico positivo, la preservación al medio ambiente, ya que se industrializa un residuo de la elaboración de quesos y un aporte al desarrollo regional y nacional. La gran mayoría de las PyMES no tienen aún totalmente resuelto el destino del lactosuero, situación que provoca impactos ambientales negativos.

VI. 4- Análisis crítico de la producción y destinos del suero en la provincia de Santa Fe.

VI.4.1- Clasificación de las empresas de acuerdo al volumen de leche y de suero.

En un relevamiento realizado entre INTA Rafaela e INTI Lácteos Rafaela (Terán JC et al 2008, Paez et al 2011) entre el año 2009 y 2010, de las 151 empresas lácteas presentes en la provincia de Santa Fe, se han encuestado en total 63: 56 pertenecientes a la cuenca Central de la provincia y 7 de la cuenca Sur. Para realizar dicho trabajo se ha

tenido en cuenta la estratificación de empresas de acuerdo al volumen procesado: menos de 5000 L, de 5001 a 30000 L, de 30001 a 250000 L y más de 250000 L.

Teniendo en cuenta la cantidad de empresas por estrato se han relevado (Tabla 13):

- 22 empresas de las 77 pertenecientes al estrato 1.
- 24 empresas de las 47 correspondientes al estrato 2.
- 11 empresas de las 20 del estrato 3.
- 6 empresas de las 7 pertenecientes al estrato 4.

Tabla 13. Representatividad de la información recabada

	Empresas relevadas		Litros diarios	
	Estrato 1	22	28%	63.000
Estrato 2	24	51%	325.380	43%
Estrato 3	11	55%	858.200	32%
Estrato 4	6	88%	5.237.000	92%
Total	63	42%	6.483.580	70%

Fuente: Paez R et al 2011.

En el relevamiento realizado se puede apreciar la siguiente situación en cuanto a volumen de suero diario generado (Tabla 14):

Tabla 14. Volumen de suero por estrato

	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Total
Empresas	20	27	10	6	63
Suero (lts./día)	42.810	251.172	507.550	2.912.000	3.713.532

Fuente: Paez R et al 2011.

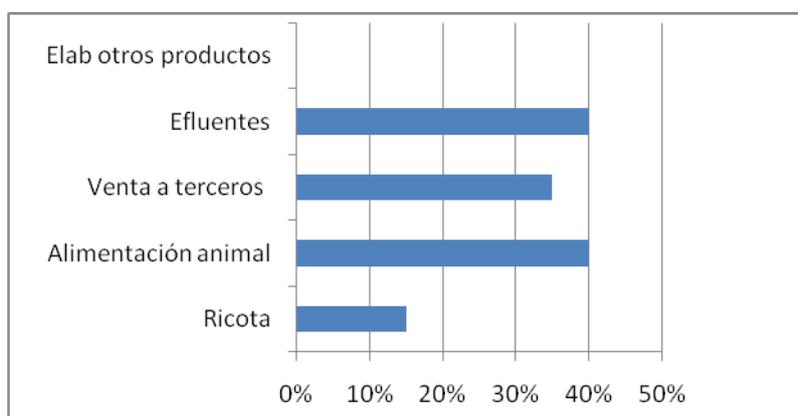
VI.4.2- Destinos principales del suero y tecnologías disponibles de acuerdo a la clasificación de la empresa.

En base al estudio realizado por INTA Rafaela e INTI Lácteos Rafaela (Paez R et al 2011) se presenta que los destinos del suero en la provincia de Santa Fe en general son muy diversos: Elaboración de otros productos lácteos en la misma empresa (ricota), alimentación de ganado (alimentación animal), venta a empresas procesadoras que reciben suero como materia prima o para alimentación (venta a terceros), vuelco al ambiente y/o sistema de tratamientos (efluentes), producción de derivados de suero con alto valor agregado (elaboración de productos).

Considerando la disponibilidad de tecnologías para el tratamiento de suero, se han relevado equipos de pretratamiento (desnatadora, pasteurizador y equipos de frío) como así también tratamientos posteriores como concentradoras (equipos de membrana) y secadoras (spray). La no disponibilidad de tecnología para el tratamiento de suero también ha sido considerada como una variable de análisis (sin equipamiento).

Resultado de empresas pertenecientes al estrato 1: hasta 5.000 L.

Gráfico 4: destinos del suero en estrato 1.

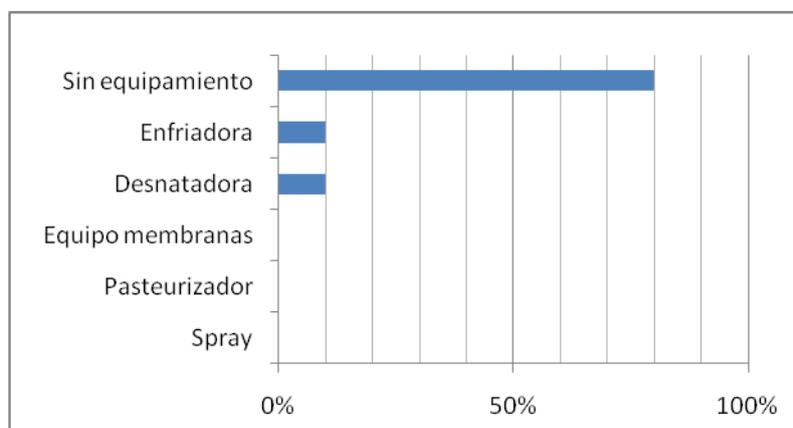


De acuerdo a lo observado en el gráfico 4, los principales destinos del lactosuero para las empresas que procesan menos de 5000 L diarios de leche son: alimentación animal (porcinos) y volcado junto a los efluentes. Muchas empresas pequeñas arrojan el lactosuero junto al efluente industrial por lo que no recibe ningún tratamiento dada la alta carga orgánica. Las ventas a terceros también representan una alternativa de peso para estas empresas, estas ventas son destinadas también en su mayoría a la alimentación animal. Son empresas que básicamente se ubican en zonas rurales – suburbanas.

Algunas de estas empresas elaboran ricota a partir del lactosuero, aunque se presenta un nuevo problema: el suero de ricota, en el que permanece la lactosa y por ello posee el 80% del suero inicial.

No se observa un agregado de valor al suero por industrialización de otros productos.

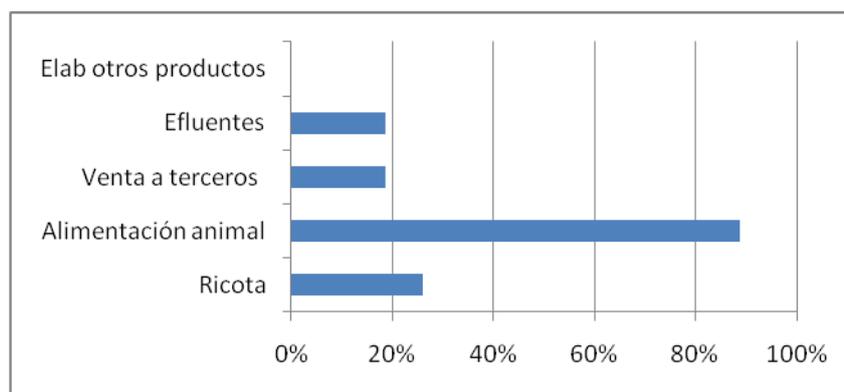
Gráfico 5: *Tecnologías disponibles para tratamiento de suero en empresas del estrato 1.*



En cuanto a la tecnología disponible (gráfico 5), la mayoría de las empresas de este rango carece de equipamiento (no tienen capacidad para enfriar y almacenar, condición indispensable para poder venderlo a empresas procesadoras). Los resultados de este gráfico se relacionan con los principales destinos de este estrato: alimentación cerdos y liberación con los efluentes. No se registran equipos de post – tratamiento en ninguna de las empresas.

Resultados de empresa pertenecientes al estrato 2: entre 5.000 y 30.000 L.

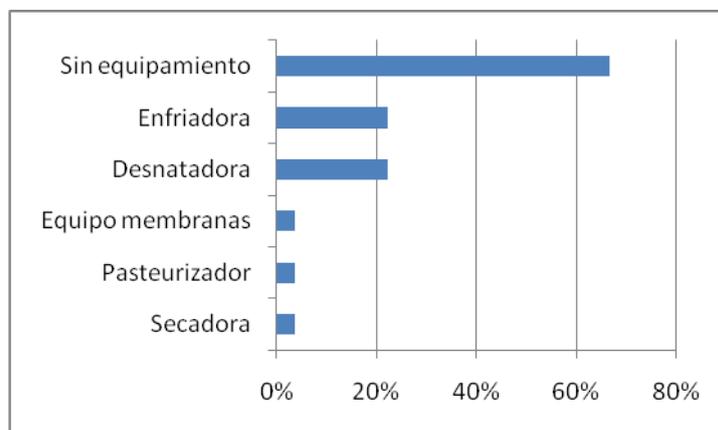
Gráfico 6. *Destinos del suero en estrato 2.*



Se presentan como principales destinos (Gráfico 6): alimentación animal (porcinos) y en segundo lugar, elaboración de ricota. En relación a este producto, se registran problemas de calidad microbiológica en muchos casos y problemas relacionados a la corta vida

útil. El vuelco junto a los efluentes sigue siendo una alternativa en este estrato. Al igual que en empresas del estrato 1 no se elaboran productos con mayor valor agregado.

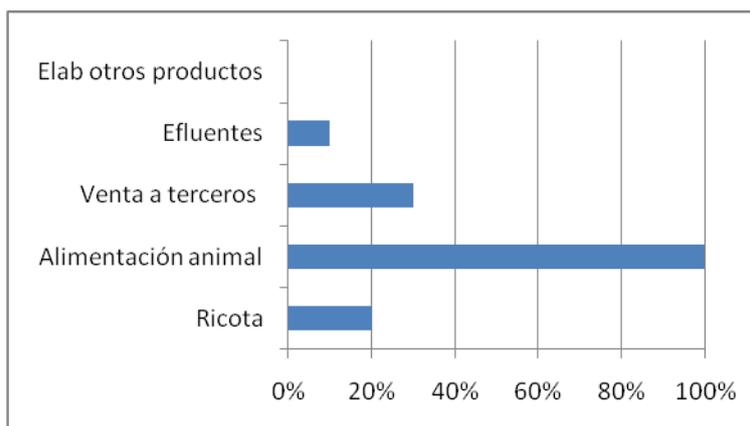
Gráfico 7. Tecnologías disponibles para tratamiento de suero en empresas del estrato 2.



En cuanto a la tecnología disponible (Gráfico 7), si bien la mayoría no cuenta con equipamiento para tratamiento de lactosuero, aparecen empresas con capacidad para pre-tratar el suero (desnatar, pasteurizar y enfriar).

Resultados de empresas pertenecientes al estrato 3: entre 30.000 y 250.000 L.

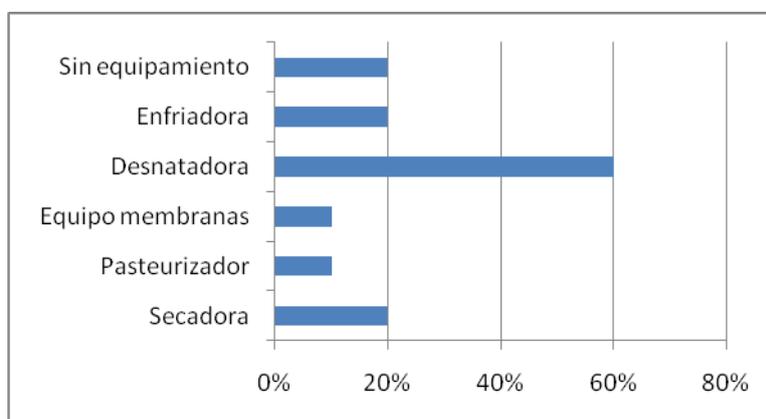
Gráfico 8. Destinos del suero en estrato 3.



Se observa como destino principal (gráfico 8) a la alimentación animal. Como alternativas también tienen peso la elaboración de ricota en mejores condiciones y la venta a terceros (los que tienen mayor proximidad con las plantas receptoras). No se

evidencia agregado de valor al suero para la elaboración de nuevos productos, situación similar a las empresas de los estratos anteriores.

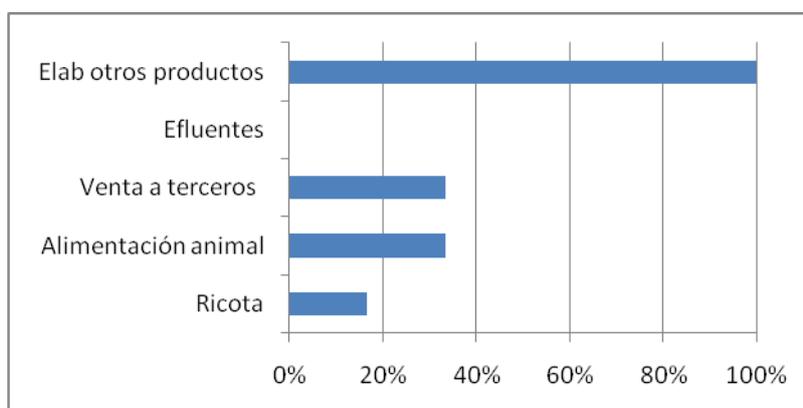
Gráfico 9. Tecnologías disponibles para ratamiento de suero en empresas del estrato 3.



En cuanto a la tecnología disponible (Gráfico 9) se observa que muchas de estas empresas tienen la posibilidad de realizar el desnatado del suero (60%). En este estrato de empresas comienza a aparecer la alternativa de secado propio y concentración por membrana. Se reduce notablemente la cantidad de casos de empresas que no cuentan con equipamiento

Resultados de empresas pertenecientes al estrato 4: más de 250.000L.

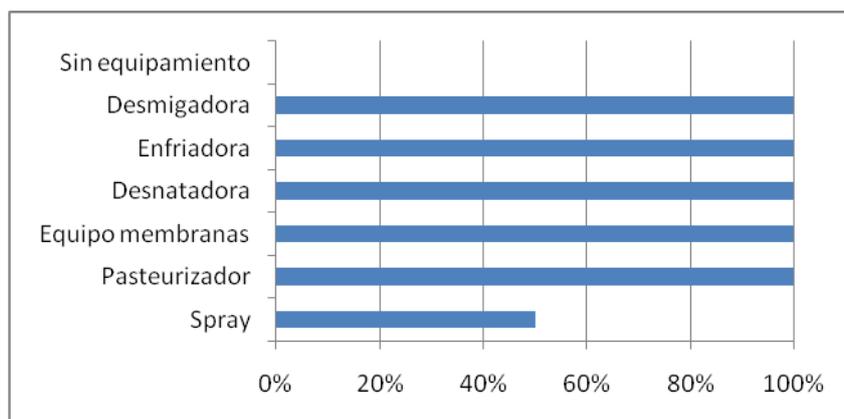
Gráfico 10. Destinos del suero en estrato 4.



En el gráfico 10 se representan los destinos de grandes empresas lácteas. No se declara liberación de suero como efluente (hay alguna valorización del mismo). Puede

apreciarse que el suero se valoriza con el consiguiente aporte de valor agregado. Se observa que en mayor medida el suero es destinado a su procesamiento (elaboración de otros productos) mientras que en menor medida se destina a la elaboración de ricota, venta a terceros o alimentación animal.

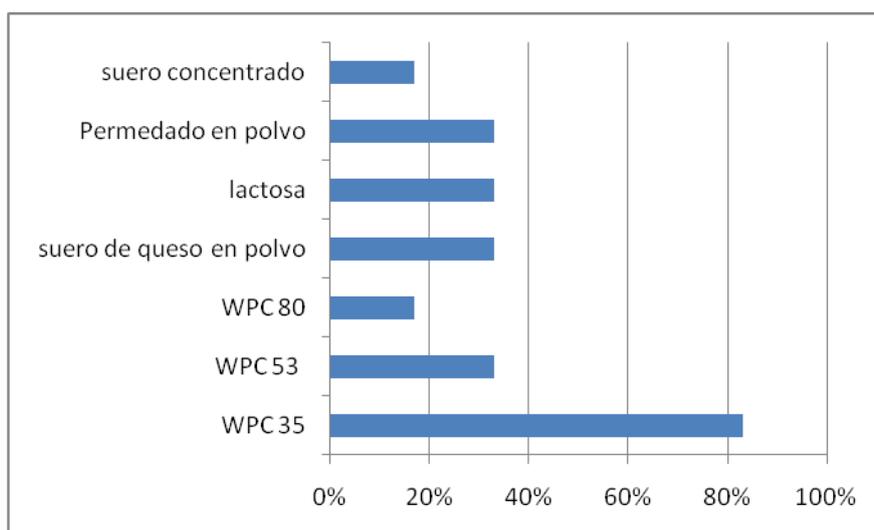
Gráfico 11. Tecnologías disponibles para ratamiento de suero en empresas del estrato 4.



En cuanto a las tecnologías disponibles (gráfico 11) se observa todas las empresas cuentan con equipos para pretratamiento de suero. Además cuentan con equipos de membrana en todos los casos. La mitad de las mismas posee equipos de secado de suero.

Los productos principales se detallan en el gráfico 12.

Gráfico 12. Productos obtenidos a partir de lactosuero.



Se destaca que la mayoría de las empresas produce Concentrado Proteico de Suero (WPC) en concentraciones del 35% y 53%. En uno de los casos se declara la elaboración de WPC 85%. También se aprecia que estas empresas elaboran en menor porcentaje productos tales como suero en polvo, suero concentrado, permeado en polvo y lactosa.

VII- Análisis de los destinos del suero en función del volumen producido.

Alternativas para pequeñas empresas (estratos 1 y 2 - hasta 30000 L).

Entre los destinos convencionales del suero para las empresas pequeñas y medianas, algunos requieren escasa tecnología y volúmenes modestos (uso del lactosuero como fertilizante o como complemento alimenticio para cerdos), mientras que otros requieren aplicación de tecnologías para su pretratamiento y de esta forma lograr vender a terceros para procesamiento. Para obtener nuevos productos se necesitan tecnologías sofisticadas y de gran costo además de contar con grandes volúmenes de suero para su funcionamiento, lo que no permite que sea posible en estos estratos en la actualidad.

Para elegir la forma de aprovechamiento más adecuada hay que tener en cuenta el tamaño de la industria y las posibilidades de inversión de la misma.

Así, por ejemplo, para una quesería que produzca menos de 5000 L de suero/día, en general, sólo resulta rentable su utilización directa para alimentación animal o como fertilizante natural o directamente la venta a terceros pero garantizando la calidad del mismo. Si bien es una salida real el vuelco con el efluente, esta no es una opción recomendable dado que ningún tratamiento biológico (lagunas) resiste este tipo de efluentes. Estos casos presentan problemas de contaminación orgánica de eutrofización/saturación de sistemas de tratamiento de efluentes (se duplica la carga orgánica del efluente).

En cuanto a la utilización del suero en alimentación animal, este es el destino principal de las PyMES de la provincia de Santa Fe. En relación a ello se concluye que la alimentación de ganado porcino constituye una salida cómoda y económica para el quesero y rentable para el ganadero.

También pueden destinarse estos volúmenes de suero a producción de ricota para el aumento de rendimiento en quesos.

Como alternativa también se presenta la opción de venta a empresas procesadoras de suero, siempre que sea rentable, ya que muchas veces el transporte del subproducto puede ser más costoso que el precio de venta del mismo. Además la empresa debe contar con líneas de pretratamiento para garantizar calidad a los posibles compradores. En el relevamiento realizado en la provincia de Santa Fe quedó en evidencia que la mayoría de las empresas pertenecientes a estos estratos carecen de tecnologías para el

pretratamiento, por lo que el destino de ventas a terceros para procesamiento es poco probable. Sí pueden venderlo a terceros para alimentación animal.

Resulta útil desarrollar métodos simples y económicos que permitan estabilizar el suero para que pueda ser utilizado en la misma empresa elaboradora, trasladarlo a otra empresa o utilizarlo para alimentación animal manteniendo un estándar microbiológico adecuado.

Para estas empresas puede resultar atractivo un proyecto de instalación de una planta centralizada para el tratamiento tecnológico conjunto del suero, para el aprovechamiento de sus constituyentes. Para ello debe tenerse en cuenta el grado de dispersión de las queserías y el compromiso de las PyMES en cuanto a calidad del suero a entregar.

Es una realidad considerar que las PYMES privilegian las inversiones que tienen mayor retorno económico: incremento de la capacidad procesamiento o logro de mayor eficiencia en línea de producción. Las inversiones en temas ambientales (gestión de los efluentes) o dirigidas hacia el tratamiento y/o uso del lactosuero, tienen mucho menos retorno inmediato. Además, no se valorizan los impactos ambientales en estos cálculos. Por todo este motivo surge la necesidad de buscar alternativas atractivas para este tipo de empresas. Resulta comprensible la existencia de medidas más contemplativas de parte de los organismos oficiales de control.

En resumen, deben tenerse en cuenta algunos inconvenientes que se les presentan a las PyMES a la hora del tratamiento:

- ▶ Transacciones económicas.
- ▶ Falta de equipamiento para pretratamiento.
- ▶ Grandes distancias para traslado a plantas procesadoras.
- ▶ Bajas posibilidades de valorizar el suero “in situ”.
- ▶ Soluciones “inestables” asociadas a fluctuaciones de mercado.

Para empresas del estrato 3 y 4 (más de 30000 L):

Para producir grandes cantidades de productos derivados del suero es fundamental contar con grandes volúmenes de suero líquido disponible.

Para queserías con producciones de entre 30.000 y 200.000 L de suero/día puede ser rentable instalar un sistema de filtración por membranas para recuperar las proteínas o lactosa y/o la venta como suero concentrado.

Para tener en cuenta la alternativa de venta a terceros para procesamiento, las empresas deben contar con equipos de pretratamiento, situación que puede presentarse en estos estratos. Cuando el suero se entrega a empresas transformadoras para aprovechamiento de los componentes nutritivos debe tenerse en cuenta:

- La distancia a las empresas de tratamiento de suero, dado que el transporte incide directamente en el costo de la transacción.
- La calidad de la materia prima, las empresas queseras deben contar con pretratamiento del suero, para lograr comercializar el mismo con buena calidad y mejor valor.
- La posibilidad de contar con concentradores a los fines de economizar el transporte y evitar transportar “agua”.

El vuelco del suero a los efluentes prácticamente no se refleja en este tipo de empresas. Para empresas que procesan más de 250000 L de leche, de acuerdo al volumen de suero del que se disponga conviene económicamente hacer lo siguiente (Kerkhof, H 2007) (tabla 15).

Tabla 15. Destinos del suero de quesería según el volumen producido para plantas mayores a 200000 L de suero diarios.

Volumen de Suero	Destino aconsejado
< 200.000 L/día	Preconcentrar a 20% sólidos totales (Osmosis inversa / Nanofiltración) y vender a un procesador de suero.
< 400.000 L/día	Evaporar a 30% sólidos totales y vender a un procesador de suero.
< 700.000 L/día	Evaporación y secado.
< 1.000.000 L/día	Osmosis inversa / Nanofiltración, Evaporación y secado.
< 2.000.000 L/día	Fraccionamiento del suero.

Los equipos para transformar el lactosuero en polvo son lo suficientemente costosos como para que sólo pueda ser rentable su utilización para quienes procesan grandes volúmenes de suero por día.

Las empresas nacionales que han incorporado tecnología para el procesamiento del suero y derivados son las empresas de mayor escala nacional o multinacionales especializadas en este tipo de cadena (Plantas procesadoras de suero). El mercado mundial de equipamientos (incluyendo los equipos de I+D) privilegian lógicamente a estas empresas.

La aplicación de procedimientos para la obtención de concentrados proteicos (WPC-Whey Protein Concentrate), lactosa cristalizada, fermentaciones, jarabes de lactosa hidrolizada, etc., suele estar limitada a queserías que producen más de 200.000 L suero/día.

VIII- Discusión y conclusiones finales.

Se observa una estrecha relación entre cada estrato al cual pertenecen las empresas y sus posibilidades de inversión para adquirir nuevas tecnologías, que se refleja en los destinos declarados y las capacidades de agregar valor al suero.

La problemática vinculada a la disponibilidad de tecnología, que es característica en empresas de los tres primeros estratos, se relaciona con los destinos del suero que son de nulo valor agregado, los cuales pueden considerarse las opciones “más prácticas” para la empresa pero las menos sustentables para el sistema.

Muchas de estas empresas, principalmente las del estrato 1, arrojan el lactosuero junto al efluente industrial, haciéndose incompatible su tratamiento por la alta carga orgánica. Como consecuencia principal se generan problemas medioambientales tales como contaminación de los cursos de agua y el suelo.

Dado que estas empresas se ubican en zonas rurales y/o suburbanas, la alimentación animal también representa uno de los principales destinos de las empresas pertenecientes a estos estratos. En relación a ello se concluye que alimentación de ganado porcino constituye una salida cómoda y económica para el quesero y rentable para el ganadero.

La elaboración de ricota se presenta en menor grado y solo en aquellas empresas que encuentran buen mercado para este producto. Este producto presenta problemas de calidad microbiológica y corta vida útil. Además aparece un residuo que es el suero de ricota, el cual es altamente contaminante por su aporte en carga orgánica.

En cuanto a venta a terceros, el principal destino está orientado en las empresas del estrato 1 y 2 a la alimentación de ganado, siendo muy bajo el margen destinado a ventas para procesamiento para la elaboración de otros productos derivados de suero, dada su baja calidad como materia prima. Las empresas que reciben suero de estas pequeñas industrias expresan tener inconvenientes en cuanto a la calidad de la materia prima, relacionada a la falta de pretratamiento y acondicionamiento del suero. La opción de venta a empresas procesadoras de suero está condicionada a la disponibilidad de tecnología y se presenta en la mayoría de las empresas del estrato 3.

La elaboración de otros productos con mayor valor agregado es característica en las empresas del estrato 4, para lo cual se requiere de tecnologías más sofisticadas y por ende costosas.

La tecnología disponible y los tipos de procesos existentes en estas empresas se basan en la separación de los componentes del suero (proteínas, lactosa, etc) y diferentes grados de concentración del mismo (WPC, suero concentrado y en polvo). En ninguno de los casos se presenta la transformación de estos componentes. Algunos encuestados manifestaron haber evaluado otras alternativas para la utilización del suero como por ejemplo la obtención de lactoferrina, y el secado de lactosa.

Los productos elaborados tienen como principal destino otras empresas procesadoras ubicadas fuera de la provincia, el mercado externo y minoritariamente el mercado interno (panificadoras, industrias cárnicas, entre otras). La mayoría de los productos destinados a exportación son de tipo *commodities* por lo que su precio está sujeto a las fluctuaciones del mercado mundial. Este factor es importante a tener en cuenta al momento de realizar inversiones en las empresas.

Finalizando el análisis, se pueden considerar que cualquier alternativa a la hora de agregarle valor al suero dependerá de una serie de factores tales como tamaño de las empresas, volumen de suero, logística, capacidad de inversión, mercados, etc.

En cuanto a oportunidades para solucionar este problema se pueden plantear:

- Innovaciones tecnológicas que generen numerosas oportunidades de incorporación de valor al lactosuero y derivados, ofreciendo un interesante abanico de productos comerciales de alto valor biológico, con creciente demanda nacional e internacional.
- Acciones a nivel nacional y regional tendientes a lograr un nivel de organización y coordinación en el sector de las PyMES que les abra numerosas oportunidades (comerciales internas y externas, incrementar la escala a través de la asociación, etc). Avanzar en el diseño e implementación de redes operativas de PyMES que en la actualidad no están industrializando el suero, con el objetivo de procesar ese mayor volumen acumulado de suero.
- Mayor interacción entre instituciones de I+D, empresas, productores entregadores, políticos, ONG, etc con conocimientos del rol de la lechería como actividad con un fuerte impacto sobre el desarrollo socioeconómico de los territorios.
- Buenas perspectivas para el negocio de la leche y de sus derivados, tanto a nivel nacional como internacional. Avanzar hacia adelante en la cadena de valor, desarrollando productos de mayor valor agregado y nuevas aplicaciones.

IX- Referencias bibliográficas.

- Alais, C. (1985) “Ciencia de la leche” Barcelona, ES: Editorial Reverté, S.A.
- Archibald A. (2007). “Fuentes de proteínas de alto valor biológico: La Proteína concentrada del Suero de Leche una Super Estrella en la Nutrición”. Revista electrónica Lacteos para Todos. FEPALE. Edición 4. Noviembre 2007.
- Baró L, Jimenez J, Martinez-Perez A, Bouza JJ (2001) “Péptidos y proteínas de la leche con propiedades funcionales”. *Ars Pharmaceutica*, 42: 3-4; 135-145.
- Berruga Fernández, M.I. (1999). “Desarrollo de procedimientos para el tratamiento de efluentes de quesería”. Tesis Doctoral. Univ. Complutense de Madrid. Fac. de Veterinaria. Madrid.
- Birkemose C. Alfa Laval, Kolding (2008). Seminario “*Membrane Filtration in the Dairy Industry*”. Rafaela-Santa Fe.
- Bisang, R.; Gutman, G. y Cesa, V. (2003): “La Trama de Lácteos en la Argentina”. Proyecto BID/CEPAL/ Ministerio de Economía.
- Bruce G. (2000) “*Controlling the Pro-oxidant and Antioxidant Actions of Lactoferrin in Foods*”. California Dairy Research Foundation- www.cdfrf.org
- Carrion, S., Medina, D., Pineros Castro, N.Y. (2006) "Producción de etanol a partir de suero de leche". Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de alimentos. Colombia.
- Cartier, E.N, Issaly, L.C, Giorgis, R (2007). “Creación y distribución de Valor en la Cadena Láctea. Eslabón Industrial e Integración. Provincias de Buenos Aires, Córdoba, Entre Rios, La Pampa y Santa Fe”. Consejo Federal de Inversiones (CFI). Contrato de obra: Expediente N° 6579 01 01. Informe Final. www.carbap.org/lecheria/CADENA%20DE%20VALOR%20Esl.primario.pdf
- Castellanos, A., Issaly, L. C., Iturrioz, G., Mateos, M., Terán, J. C., (2009). “Análisis de la cadena de la leche en Argentina”. Área Estratégica de Economía y Sociología INTA. ISSN 1852-4605.
- Cunningham, A. I. (2000). Libro: “Optimización del Rendimiento y Aseguramiento de Inocuidad en la Industria de Quesería”. Capítulo 4: Opciones para darle valor agregado al Lactosuero de Quesería.
- Estrada González, AA, Nuño Orozco, GM, Mariscal Hernández, L (2004) “Desarrollo de un método para la elaboración de una bebida a partir de suero de

leche saborizada artificialmente”. Centro Universitario de los Altos de la Universidad de Guadalajara. México.

- Fox PF, McSweeney PLH (1998). “*Dairy chemistry and biochemistry*”. Springer. Tercer Edición.
- Fox PF, McSweeney PLH (2003). “*Advanced Dairy Chemistry. Vol 1 Proteins*”. Part A. Third Edition. Springer.
- Fox PF, McSweeney PLH (2009). “*Advanced Dairy Chemistry. Vol 3 Lactose, Water, Salts and Minor Constituents*”. Springer. Tercer Edición.
- Gallardo M, Gaggiotti M, Abdala A, Leva P, Maciel M, Charlón V, Cuatrin A, Quaino O (2003). “Utilización de permeado de suero como suplemento alternativo al grano de maíz en vacas lecheras bajo condiciones de pastoreo”. Sitio Argentino de Producción Animal. www.inta.gov.ar
- Gösta Bylund M. (2002) “Manual de Industrias Lácteas Tetra Pack”. Editor Madrid Vicente A. 1º Edición. Editorial Mundi-Prensa. Madrid.
- Grasselli M, Navarro del Cañizo AA, Fernandez Lahore HM, Miranda MV, Camperi SA, Cascone O. (1997) “¿Qué hacer con el suero de queso?” Ciencia Hoy. Vol 8 N° 43.
- Horton B.S. (1995). “*Commercial utilization of minor milk components in the health and food industries*”. J Dairy Sci 78:2584-2589.
http://www.infoleche.com/argentina/arte/manual_ind_lacteas_CD/index.htm
<http://www.utadeo.edu.co/dependencias/publicaciones/alimentica3.php>
- Hugunin A. (2009). “Productos de suero de leche en yogurt y productos lácteos fermentados”. Portal lechero. www.portalechero.com
- Jaime Valencia, M del C. (2008). “El Suero de Quesería y sus Posibles Aplicaciones”. Revista Mundo Lácteo y Cárnico. Marzo/Abril 2008 (4-6).
- Jiménez-Flores R. (1998) “*Scaling-Up and Feasibility Study of a Novel Adsorption Process to Separate and Purify Proteins from Whey*”. www.cdrf.org
- Kerkhof, H.M. (2007). “Seminario Internacional: Utilización de Suero de Quesería y Manteca. Alternativas de aprovechamiento en la industria láctea y como fortificación de otros alimentos”. Rafaela. Santa Fe.
- Krochta JM. (1998) “*Application of Edible Films from Milk Protein and Milkfat to Food Systems*”. California Dairy Research Foundation- www.cdrf.org

- Krochta JM. (2002) “*Whey Protein Coating for Improving Packaging Material Performance*”. California Dairy Research Foundation- www.cdfrf.org
- Lacelli G., Mancuso W., Schilder E., Arbizu A. Terán JC., Comeron E., Taverna M., Castillo M. y Maceira J. (2006) “Creación y distribución de valor en la cadena láctea – Eslabón primario” Concejo Federal de Inversiones. <http://inta.gov.ar/rafaela/info/documentos/prl/doc/proyecto-lechero-2009-2011.pdf>
- Ling, K. C. Liebrand, C. B. (2008). “*Whey to Ethanol: A Biofuel Role for Dairy Cooperatives?*” Agricultural Economist. USDA Rural Development. Research Report 214.
- Manoi K, Rizvi SSH (2008). “*Rheological characterizations of texturized whey protein concentrate-based powders produced by reactive supercritical fluid extrusion*”. Food Research International 41, 786-796.
- Monsalve J, Gonzalez D. (2005). “Elaboración de un queso tipo ricota a partir de suero lácteo y leche fluida”. Revista Científica FCV-LUZ, Vol XV, N° 6, 543-550.
- Páez R, Pirola MB, Schmidt EL, Terán JC (2011). “Características generales sobre el uso del suero de queso en la provincia de Santa Fe”. III Congreso Regional de economía agraria. XVI Congreso de economistas agrarios de Chile. XLII Reunión anual de la asociación argentina de economía agraria.
- Page J, Meyer D, Haines B. (2002) “*Reference Manual for U.S. Whey and Lactose Products*”. US Dairy Export Council.
- Ronda Laín, E. (2000). Conferencia “El Suero Lácteo de Quesería: el Ayer y el Presente”. <http://www.racve.es/actividades/detalle/id/38>
- Schaller, A. (2009) “Sueros de Lechería. Cadenas alimentarias. Dirección de Industria Alimentaria y Agroindustrias”. Ministerio de Producción. www.alimentosargentinos.gov.ar
- Schlothauer, RC; Schollum, L.M; Singh, A.M; Reid, J.R (2005) Patente: “*Bioactive whey protein hydrolysate*”. U.S Patente 6919314.
- Smithers (2008). “*Whey and whey proteins – From gutter to gold*”. International Dairy Journal 18 695-70.
- Terán JC, Garrapa M. (2008) “Caracterización y descripción de las PyMES Lácteas en la Región central de Santa Fe. Informe técnico”. INTA Rafaela.

ACDICAR.

http://www.inta.gov.ar/rafaela/info/documentos/economia/pymes_lacteas_santafe.pdf

- Torres Llenez, M J; Vallejo Cordoba, B; González Cordova, A F. (2005) “Péptidos bioactivos derivados de las proteínas de la leche”. Arch. latinoam. nutr; 55(2):111-117.
- U.S. Dairy Export Council (2010). “*U.S. Exports of whey and whey concentrate*”. Washington, D.C.
- Vigliengo E, Reinheimer J. (2009). “*Use of whey and buttermilk based media to obtain biomass of thermophilic LAB*”. International Journal of Dairy Technology Vol 62, N° 3. 431-437.