

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS



Carrera de Especialización en Ciencia y Tecnología de la Leche y Productos Lácteos

“LECHERÍA E INDUSTRIA QUESERA EN LA REPÚBLICA DEL ECUADOR”

Autor: Ing. Juan Diego Cortez Latorre

TRABAJO FINAL INTEGRADOR PRESENTADO COMO PARTE DE LOS REQUISITOS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL, PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO ACADÉMICO DE ESPECIALISTA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LA LECHE Y PRODUCTOS LÁCTEOS.

Tutor: Mg. Mario Candiotti

Co-Tutor: Ing. Carlos Meinardi

Santa Fe, diciembre del 2018

A mi familia

AGRADECIMIENTOS

A Mario Candiotti y Carlos Meinardi, por permitirme realizar el presente trabajo bajo su dirección. Por la comprensión, paciencia y confianza brindada durante esta etapa profesional.

A mi madre, hermanos e hijo, por ser el motor de mi vida, así como también por todo el apoyo brindado durante esta a pesar de estar lejos.

A mi padre, quien fue un ejemplo de padre, maestro y amigo, y que, a pesar de su ausencia, sus enseñanzas se mantienen vigentes.

A María Auxiliadora Faicán, por su comprensión durante toda esta etapa de formación.

A los docentes de la Carrera de Especialización en Ciencia y Tecnología de la Leche, quienes, a partir de su experiencia y conocimiento, supieron transmitir de manera adecuada cada uno de los temas planteados.

A la UNL, por darme la oportunidad de formarme en esta noble institución y a su vez por permitirme ser parte de ella durante esta etapa.

A mis amigos y familiares de Ecuador, que permanentemente enviaron sus mensajes aliento para no decaer durante esta travesía.

A mis amigos y conocidos en Argentina, por su apoyo y comprensión durante esta larga etapa.

INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	4
INDICE	5
RESUMEN.....	10
1 INTRODUCCIÓN	13
2 OBJETIVOS.....	17
3 PRODUCCIÓN MUNDIAL DE LECHE.....	19
3.1 PRODUCCIÓN MUNDIAL DE LÁCTEOS	22
3.1.1 Comercio Internacional de productos lácteos.....	25
3.2 PRODUCCIÓN EN AMÉRICA LATINA.....	26
3.3 SITUACIÓN PRODUCTIVA EN EL ECUADOR.....	30
3.3.1 Ubicación geográfica y principales características demográficas	30
3.3.2 Organización vial en Ecuador	33
3.3.3 Producción animal en Ecuador	35
3.4 Historia de la lechería en Ecuador	36
3.4.1 Situación actual de la ganadería vacuna en el Ecuador	39
3.4.2 Elaboración de subproductos de la leche en ecuador.....	45
3.5 PRODUCCIÓN DE SUERO A NIVEL MUNDIAL Y NACIONAL.....	55
4 COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA LECHE	61

4.1	COMPOSICIÓN DE LA LECHE	62
4.2	PRINCIPALES COMPONENTES DE LA LECHE	64
4.2.1	Agua.....	64
4.2.2	Proteínas en la leche.....	64
4.2.3	Lípidos	82
4.2.4	Minerales.....	89
4.2.5	Lactosa	93
5	QUESO.....	105
5.1	PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LA QUESERÍA	106
5.2	PRINCIPALES ETAPAS QUE COMPRENDE LA TECNOLOGÍA QUESERA.....	108
5.2.1	Selección y acondicionamiento de la leche.	108
5.2.2	Estandarización de la composición de la leche.....	108
5.2.3	Adición de calcio	109
5.2.4	Acidificación por producción in situ de ácido láctico.	112
5.2.5	Tratamiento térmico de la leche.....	109
5.2.6	Conversión de leche a cuajada de queso: Coagulación	115
5.2.7	Remoción del suero, moldeado y prensado de la cuajada	129
5.2.8	Salado.....	133
5.2.9	Maduración del gel deshidratado.....	138
6	LACTOSUERO O SUERO DE LA LECHE	142

6.1	SUERO DE QUESO.....	142
6.1.1	Sueros de quesería.....	146
6.2	PROCESAMIENTO DEL SUERO	148
6.2.1	Pretratamiento del suero	148
6.2.2	Concentración y secado del suero.....	150
6.2.3	Procesos de valor agregado del suero	155
6.2.4	Tecnologías de membranas.....	156
6.2.5	Electrodialisis.....	160
6.2.6	Cromatografía de intercambio iónico	162
6.2.7	Cristalización	163
6.2.8	Avances tecnológicos.....	164
6.3	PRODUCTOS DE SUERO Y SUS TECNOLOGÍAS	166
6.3.1	Queso de Suero	168
6.3.2	Suero en polvo dulce.....	169
6.3.3	Suero en polvo reducido en lactosa	171
6.3.4	Suero en polvo desmineralizado	172
6.3.5	Proteína de suero concentrada (WPC) y Proteína de suero aislada (WPI)	174
6.3.6	Lactosa	186
6.3.7	Aplicaciones de los derivados de suero	195
6.4	CONSIDERACIONE PARA GENERAR VALOR AGREGADO AL SUERO	199

7	CONCLUSIONES.....	202
8	BIBLIOGRAFÍA.....	204

RESUMEN

RESUMEN

La producción mundial de leche en el año 2015 fue de aproximadamente 817,8 mil millones de litros anuales, de los cuales el 82,5% es proveniente de ganado bovino. La principal proporción corresponde a la región de Asia (29%) seguida por la Unión Europea (20%) y Norte y Centro América (18%). Según la FAO en el año 2014 América Latina y el Caribe produjeron 82.445 millones de litros de leche, donde los principales protagonistas fueron Brasil, Argentina y México. Dentro de los países Latinoamericanos, Argentina, México y Chile son los que mayor cantidad de leche industrializan (aproximadamente 90%), a diferencia de Ecuador, Colombia y Perú, donde sólo se industrializa cerca del 50% de leche producida. No obstante, La OCDE/FAO estima que entre el 2016 y el 2026, la producción de leche bovina se incrementará en un 18% en la región.

Con respecto a Ecuador, en el año 2017, la producción diaria de leche estuvo en el orden de los 5.319.000 litros, de los cuales el 65% fue procesado por la industria, siendo el 36,9% de este volumen destinado a la elaboración de quesos.

Si bien, según estudios realizados por el Ministerio de Industrias de Ecuador, del total de suero producido, el 33,9% es apto para su industrialización, hasta hace pocos meses, no se le daba un tratamiento tecnológico. Actualmente, a modo de estrategia, ciertos industriales han implementado la elaboración de bebidas lácteas a base de suero, cuya formulación incluye leche y yogurt. Sin embargo, este recurso, es desaprobado por algunos sectores que consideran que estos productos representan una competencia para la leche.

Por otro lado, cabe mencionar que, conjuntamente con estas alternativas de aprovechamiento del suero, en ciertos casos, también se practica su uso ilegal al ser empleado como adulterante.

Frente a esta problemática y al potencial crecimiento de la industria láctea y, en particular, de las queserías de Ecuador, el presente Trabajo Final Integrador intenta generar un documento que recopile los conocimientos teóricos respecto a las características de la leche (materia prima), las distintas etapas tecnológicas necesarias para su transformación en queso, y las modificaciones que sufren, en el proceso, sus principales componentes.

A su vez, también se incluye una descripción de las distintas tecnologías existentes para el aprovechamiento del suero, y los distintos subproductos que se pueden obtener de acuerdo a la capacidad productiva (ricotta, suero en polvo, proteína de suero en polvo, lactosa y sus derivados), describiendo su potencial uso en el campo de los alimentos, según su funcionalidad, o bien, cuando es posible, en la industria farmacéutica.

Esta documentación que, esencialmente, consiste en una recopilación ordenada y actualizada de la información obtenida a partir distintas fuentes bibliográficas, y de los conceptos vertidos por los docentes a lo largo del cursado de la Carrera de Especialización, constituye una valiosa guía y soporte técnico para la toma de decisiones de los diversos actores que involucran la cadena láctea de Ecuador.

INTRODUCCIÓN

1 INTRODUCCIÓN

Existen en el mundo más de 4500 especies de mamíferos capaces de secretar leche, cuya principal función es la alimentación de sus crías recién nacidas, ejerciendo un rol importante en la alimentación y en algunas funciones fisiológicas del neonato. En efecto, una de las principales funciones biológicas que cumple la leche materna es el aporte nutricional a base de proteínas y péptidos que incluyen las inmunoglobulinas, enzimas, inhibidores enzimáticos, factores de crecimiento, agentes antibacteriales, entre otros (O'Mahony y Fox, 2014; Fox y McSweeney, 1998). El papel que desempeñan, tanto la leche como los productos lácteos, en la alimentación de los países que tienen un nivel de vida elevado, es muy importante. La leche es considerada como uno de los alimentos más económicos, en función a la cantidad de proteína de alto valor biológico que proporciona, siendo así que su precio es menor que la carne o el pescado (FAO, 2017). Esta cualidad, la convierte en un recurso sumamente interesante para enfrentar uno de los principales flagelos a nivel mundial, tal como el hambre o la malnutrición asociada a un inadecuado consumo de calorías y/o una insuficiente ingesta de aminoácidos esenciales (Chatterje, Sarkar y Boland, 2014). Cabe recalcar que, debido a su composición, los productos lácteos son muy susceptibles a la contaminación por agentes físicos, químicos y biológicos, y si no han sido procesados higiénicamente, pueden convertirse en un riesgo para la salud de los consumidores (FAO, 2018).

Entre los principales derivados lácteos que existen, el queso es uno de los de mayor interés, en general, por las características que este alimento posee. En términos generales, a nivel mundial se producen centenares de variedades de queso, muchos de los cuales son característicos de una región específica del mundo. Sin embargo, la mayoría de los quesos se producen en los países desarrollados. Estos pueden ser duros, semiduros, blandos, madurados o no madurados, etc. Las distintas características de los quesos derivan de las diferencias en la composición de la leche y los tipos de esta, los procedimientos de elaboración aplicados y los microorganismos utilizados. Pero indistintamente del tipo de queso, existe una demanda creciente en el consumo de queso, sobre todo en los países en vías de desarrollo (FAO, 2013)

Sin embargo, su elaboración genera un gran volumen de subproducto. Es el caso del suero, el cual ha sido utilizado desde hace 7 mil años, con propósitos medicinales, como tratamiento de infecciones, cicatrización de heridas, enfermedades estomacales (Hipócrates 460 AC), así como en la preparación de sopas y mantecas de suero. A pesar de ello llegó a ser considerado por los queseros como un desperdicio y a su vez, en una problemática para el medio ambiente. No obstante, en la segunda mitad del siglo XX se empezó transformar este producto de bajo valor en una valiosa materia prima. El lactosuero es una excelente fuente de nutrientes, pero una vez vertido es un producto fuertemente contaminante del medio ambiente. Esta fuerza contaminante es equivalente a la de las aguas negras producidas en un día por 500 personas (INTI, 2017).

En Sudamérica, el 50% de las queserías son pequeñas y medianas empresas (pymes), las cuales procesan menos de 10 mil litros de leche por día. En el caso de las pymes queseras, el suero generado es comúnmente utilizado para alimentación animal, o bien, desechado como efluente líquido, provocando un incremento de los niveles de contaminación ambiental en las zonas cercanas a las fábricas. De esta manera, se desaprovecha una importante fuente de proteínas y de macro y micronutrientes que pueden emplearse como alimento humano. Algunas queserías producen ricota como alternativa de uso del suero dulce, aprovechando solamente las propiedades nutricionales de las proteínas, no así sus propiedades funcionales debido a la desnaturalización por parte del proceso, lamentablemente el suero de ricotta sigue siendo un problema medioambiental, por lo cual hay que buscar soluciones al respecto. Tal es el caso de Ecuador, en donde, hasta hace pocos años, no se ha dado la importancia que este subproducto representa, siendo así que no existía información suficiente como para realizar una valoración del mismo, o a su vez, un desconocimiento sobre los subproductos derivados del suero y sus tecnologías, y mucho menos sus beneficios. Desde entonces, en los medios de comunicación se observan notas como: *“Suero en vez de leche se usaría para hacer lácteos”*, *“Permitir el uso de suero de leche es firmar acta de defunción para lecheros”*, *“Controlarán uso de suero de leche en productos lácteos”* ó también *“Polémica por el uso de suero de leche en industria láctea”* (Ecuavisa, 2018a; Ecuavisa, 2018b; Ecuador inmediato, 2018; El Universo, 2010).

Es por ello que es necesario dar una mirada a la situación del sector lácteo en lo que respecta a la producción leche, queso y suero, así como también conocer sobre los principios de la ciencia

y tecnología de la leche, de la producción de queso, y sobre todo de las alternativas que existen para generar valor agregado al suero, de acuerdo a las últimas tendencias.

OBJETIVOS

2 OBJETIVOS

- *Objetivo general*

Como Objetivo general, del presente Trabajo, se plantea realizar un análisis pormenorizado de la información existente acerca de los recursos disponibles, en Latinoamérica y, particularmente, en la República de Ecuador, en lo que respecta a la producción de leche bovina y la capacidad para su industrialización, enfatizando en la elaboración de quesos, y complementando dicha información con una evaluación de las distintas alternativas de procesamiento del suero de quesería a fin de optimizar su aprovechamiento integral.

- *Objetivos específicos*

- Conocer, con información actualizada, la producción de leche y queso y su potencial crecimiento en la República de Ecuador, y relacionarla con las tendencias mundiales.
- En base a las estadísticas disponibles, analizar y proyectar el crecimiento de la producción de leche bovina en la región y la posibilidad de su industrialización.
- Utilizando toda la información bibliográfica recopilada y sistematizada, conjuntamente con los conocimientos adquiridos a través de los cursos que conforman la Carrera de Especialización en Ciencia y Tecnología de la Leche y Productos Lácteos, complementados en base a las consultas realizadas a los profesores, redactar un informe pormenorizado y actualizado, aplicado en la República Argentina, en que se desarrollen los siguientes puntos:
 - ✓ Propiedades fisicoquímicas de la leche.
 - ✓ Etapas tecnológicas necesarias para la elaboración de quesos haciendo referencia a la incidencia de las mismas en la calidad del producto.
 - ✓ Distintas alternativas de industrialización del suero de quesería de utilizadas en Argentina, y en el mundo, con el fin de poderlas aplicar en Ecuador, cuando el volumen de este subproducto comience a ser representativo.

Es de esperar que esta documentación sea de mucho valor en países como Ecuador, donde la Industria Láctea se encuentra menos desarrollada que en la República Argentina.

- Finalizar mi formación de posgrado con la presentación y defensa del Trabajo Final Integrador.

INFORMACIÓN PRODUCTIVA

3 PRODUCCIÓN MUNDIAL DE LECHE

La domesticación de los animales para la ganadería ha jugado un rol importante en la alimentación humana y el desarrollo de las civilizaciones. La vaca es la especie que más se relaciona con el significado de leche de consumo. La leche ha sido considerada como la principal fuente de energía, proteína y grasa, con un aporte promedio diario per cápita de 134 Kcal de energía, 8 g de proteína y 7.3 g de grasa (FAO, 2013).

Según el Código Alimentario Argentino-CAA (2014) y la Foods and Drugs Administration (FDA), se define a la leche como “*el producto obtenido por el ordeño total e ininterrumpido, en condiciones de higiene, de la vaca lechera en buen estado de salud y alimentación, proveniente de tambos inscriptos y habilitados por la Autoridad Sanitaria Bromatológica Jurisdiccional y sin aditivos de ninguna especie*”. Cuando nos referimos a la leche de otra especie se debe esclarecer al animal del cual pertenece la misma.

La Federación Internacional de Lechería-FIL (2016) y el Observatorio de la cadena láctea Argentina (OCLA) (2017), informaron que en el 2015 la producción mundial de leche, de las especies de mayor explotación, fue de aproximadamente 817,8 mil millones de litros, siendo la de mayor importancia la leche vacuna, seguida de la leche de búfala y posteriormente de cabra, oveja, entre otras especies (Figura 3.1).

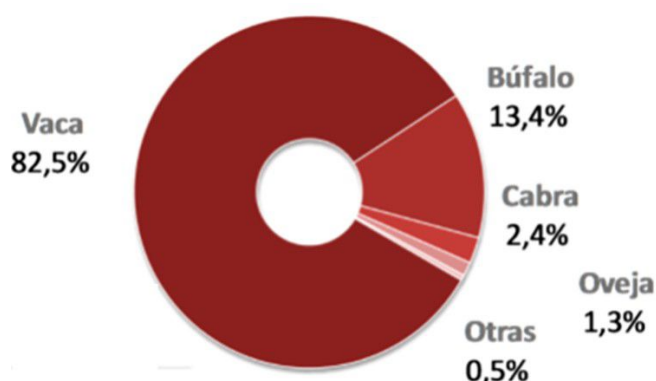


Figura 3.1: Producción mundial de leche por especies. (Fuente: FIL, 2016)

Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), de 2017, en

la siguiente década, la producción mundial de leche vacuna decrecerá ligeramente en valores que irán desde un 1,94 a 1,8% anual. Sin embargo, para el 2026, se estima un crecimiento del 22% del total de la producción comparada con el año base (2014-2016). Asimismo, se prevé que, para dicho año, los países desarrollados y aquellos en desarrollo, elevarán su producción entre un 10 y 34% respectivamente. En el caso de estos últimos, se considera que un aumento del 1,1% en los hatos lecheros, redundará en un incremento del 1,6% su productividad. No obstante, el mayor porcentaje de producción (73%) se atribuirá a los países desarrollados.

Actualmente la producción de leche de la Unión Europea (UE) representa el 20% de la producción total, seguida de la India con el 19%, Estados Unidos (USA) con el 12% y China y Pakistán, ambos con el 5%. Como se observa en la (Figura 3.2)

Para 2026, las proyecciones indican que el crecimiento en la explotación lechera de la India representará el 23% de la producción global, seguido de Pakistán, cuyo incremento anual promedio será de 3,4%, mientras que la UE y USA, se infieren rangos en el orden del 20 a 18% y 12 a 11%, respectivamente. Sin embargo, estos países mantendrán su participación en el comercio internacional.

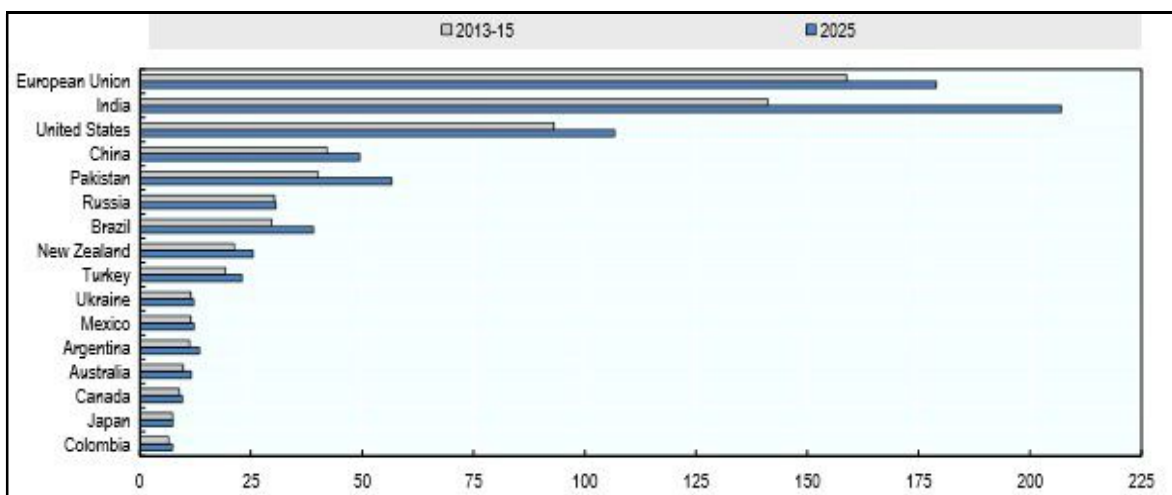


Figura 3.2: Producción mundial en miles de millones de litros de leche por país en el 2013-2015 y perspectivas al 2025 (OECD/FAO).

La leche de vaca ha tenido una producción creciente con el transcurso de los años, pese a que el sector cursó una crisis en los años noventa (Figura 3.3). Asimismo, la Federación

Panamericana de Lechería (FEPALE), 2014, reportó que en el año 2013 hubo un crecimiento relativamente bajo (0,6%) respecto al año precedente.

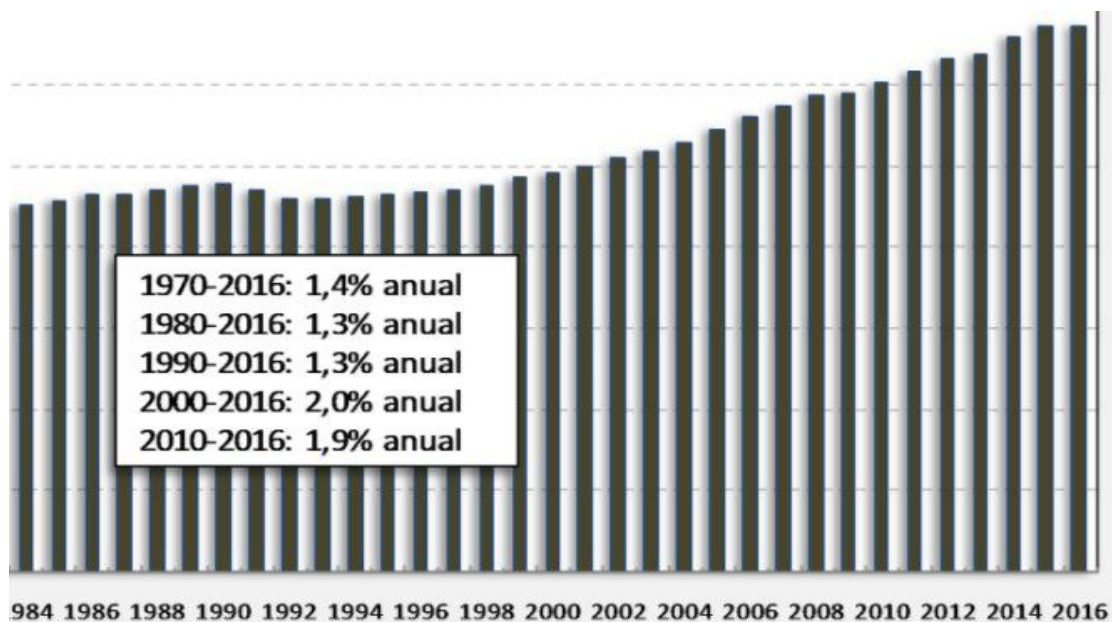


Figura 3.3: Evolución de la producción mundial de leche bovina.

De acuerdo a la Federación Internacional de Lechería (FIL) (2016), y el Observatorio de la Cadena Láctea (OCLA) (2017), en el año 2016, la región de mayor producción fue Asia con un 29%, seguido de la Unión Europea con 24%, y finalmente, Norte y Centro América con el 18% (Figura3.4). En el mismo año la producción fue 1.1% menor a la esperada, debido a que se hubo un estancamiento en la producción de Europa y África, y a su vez, una disminución en Oceanía y América del Sur.

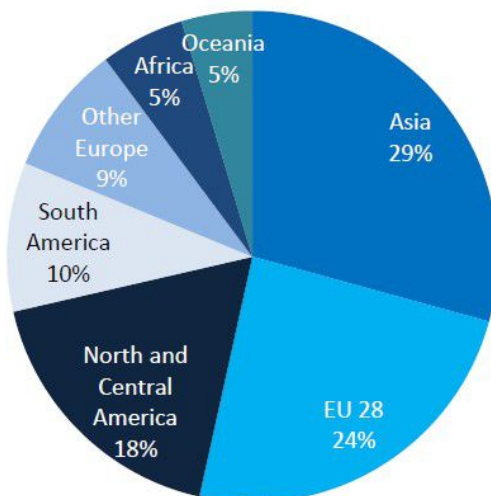


Figura 3.4: Producción mundial de leche por región (FIL, 2016).

3.1 PRODUCCIÓN MUNDIAL DE LÁCTEOS

En el año 2014 la producción mundial de queso de leche bovina fue de aproximadamente 19 millones de toneladas, mientras que la de suero concentrado fue de aproximadamente 576 mil toneladas y la de suero en polvo estuvo en el orden de 2,6 millones de toneladas (FAOSTAT, 2017).

En lo referente a la producción de lácteos en general, en el año 2015, se pudieron observar los siguientes incrementos respecto al año anterior: leche líquida, 0,9%; manteca 2,1%; queso 2,8%; leche entera en polvo 1,4% y productos fermentados 3,2% (FIL, 2016).

En la Tabla 3.1 se presentan las 20 compañías lácteas internacionales de mayor relevancia. Como puede verse, durante los años registrados, de acuerdo al nivel de facturación, las tres principales empresas fueron Lactalis, Nestlé y Fonterra.

Tabla 3.1: Principales compañías lácteas a nivel internacional 2013-2015 (IDF, 2016).

Ranking 2015	Comp añía	País	Facturación (Bn US\$)		
			2013	2014	2015
1	Lactalis	Francia	21,2	21,9	18,9
2	Nestlé	Suiza	18,77	18,3	15,2
3	Fonterra Dairy	Nueva Zelandia	15,1	18,7	14,3
4	Farmers of América	USA	12,8	17,9	13,8
5	Danone	Francia	15,7	14,8	12,3
6	Friesland Campina	Holanda	15,1	15,0	12,2
7	Arla Foods	Dinamarca	13,1	14,7	11,4
8	Yili	China	7,8	8,8	9,6
9	Saputo	Canadá	8,8	9,4	8,6
10	Dean Foods	USA	9,0	9,5	8,1
11	Mengniu	China	7,1	8,1	7,8
12	Meiji Dairies	Japón	6,4	6,2	5,9
13	Muller	Alemania			5,6
14	Sodiaal	Francia	6,1	7,2	5,5
15	DMK	Alemania	7,1	7,1	5,1
16	Morinaga MilkIndus try	Japón	6,0	5,4	5,0
17	Schreiber	USA	---	---	5,0
18	Savencia	Francia	5,9	6,1	4,9
19	Agropur Megmik	Canadá	3,7	4,2	4,6
20	Snow Brand	Japón	4,6	4,3	4,3

En los países desarrollados, la mayor parte de la producción de leche es transformada en manteca, queso, leche en polvo descremada (SMP) y leche en polvo entera (WMP). Estos países producen alrededor del 87% del total mundial de la leche en polvo descremada, el 70% del queso, el 43% de manteca y el 46% de leche en polvo entera entre el período 2014-2016.

En referente a los derivados lácteos, se pronostica que los países desarrollados incrementarán su producción en un 10%, de los cuales 37% se destinará a la producción de quesos, alrededor del 23% en SMP, 20% en manteca, el 10,5% en WMP y el 8,5% en productos lácteos frescos. Mientras que, en los países en vías de desarrollo, del 33% de incremento en la producción de leche estimado para 2026, el 85% se empleará para la elaboración de productos lácteos frescos, el 7% en manteca, el 4% en WMP, el 3% se destinará a quesos y el 0,6% en SMP (OCDE, 2017).

Para la siguiente década, se proyecta una tasa de crecimiento de los productos lácteos frescos mayor que la registrada en la última década. Esta proyección, está basada en el fuerte aumento en el consumo per cápita, observado en los países en desarrollo (sobre todo en la India), más que al acrecentamiento poblacional (Figura 3.5).

Para otros productos lácteos como el queso, la manteca, la leche en polvo, tanto descremada como entera, el crecimiento en el consumo es lento, comparado con los años anteriores. No obstante, como puede observarse, los lácteos, junto con los aceites vegetales y el azúcar, tendrán el mayor incremento (OCDE, 2017).

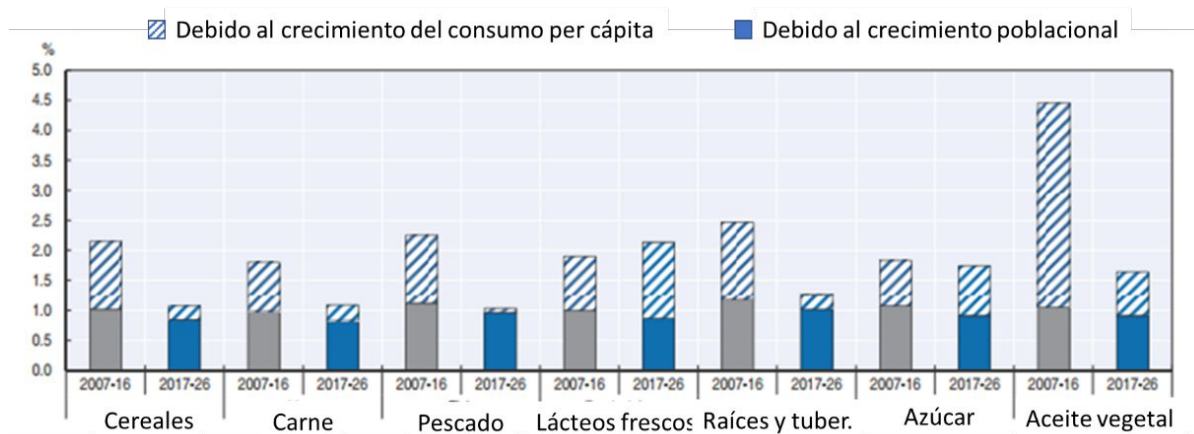


Figura 3.5: Crecimiento anual en el consumo por alimento en los periodos 2007-16 y 2017-26 (extractado de OCDE, 2017).

Por otro lado, se prevé que, en la siguiente década, el consumo mundial de productos lácteos procesados experimentará una disminución del 1,7% al año, pese al incremento en la demanda de productos a base de manteca y grasa en los países desarrollados (OCDE, 2017). Por el contrario,

para los países en desarrollo, se espera un incremento de 0,7% de consumo de WMP, 1,2% de SMP, un 0,8% de queso, 1,3% de manteca y 1,8% de productos lácteos frescos.

Finalmente, cabe destacar que, a excepción del queso y de los productos lácteos frescos, los porcentajes de incremento son bajos, respecto a las tasas de crecimiento de la última década.

3.1.1 Comercio Internacional de productos lácteos.

En el año 2017, el comercio mundial de productos lácteos experimentó un crecimiento del 1%, lo que significó un monto de 71,8 millones de toneladas equivalentes a leche. Entre los principales países exportadores de productos lácteos se encuentran: la Unión Europea, Estados Unidos, Argentina y Canadá.

En lo atinente únicamente a leche, en relación al año 2014, se ha verificado un incremento en su comercialización a nivel mundial, debido principalmente al intercambio con distintas regiones de Europa, Oceanía, Asia y Norteamérica (a pesar de que en otras partes del se ha mantenido o disminuido levemente), como se muestra en la Figura 3.6 (FAO, 2017).

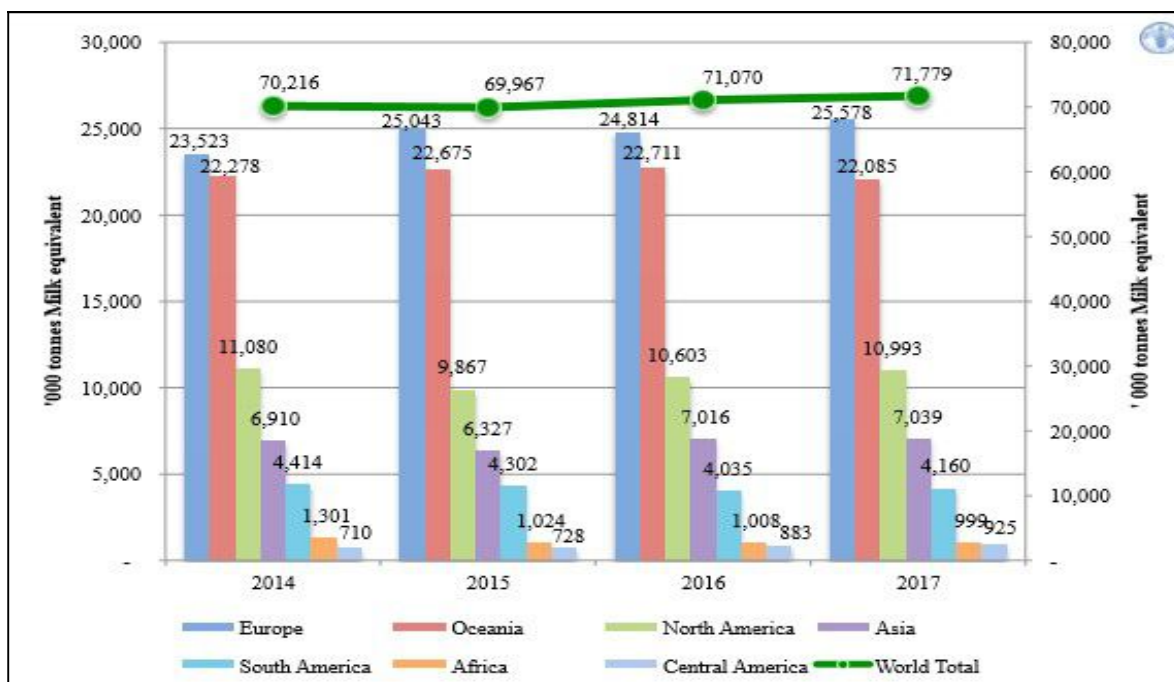


Figura 3.6: Comercio mundial de leche 2014-2017 (Equivalente a leche, '000 toneladas)

Alrededor del 82% de la exportación mundial de productos lácteos proviene de los países desarrollados, estimándose que, en 2026 ascenderá al 83%. Si bien, para la siguiente década se prevé que estos países experimentarán un incremento anual del 1,9% en su tasa de exportación, este es un valor bajo, en comparación con igual período pasado.

Los 4 principales exportadores entre los años 2014-2016 fueron Nueva Zelanda con el 32%, seguido de la Unión Europea con el 24%, Estados Unidos con el 12% y Australia con el 6%. A excepción de la Unión Europea, que cuyas exportaciones se incrementarán en un 28% en el año 2026, para los otros tres países se dará un ligero decrecimiento.

Las predicciones indican que, para 2026, se calcula que, a nivel mundial, estos cuatro países en conjunto, producirán alrededor del 63% del queso, el 73% de la leche en polvo entera, el 77% de la manteca y el 87% de la leche en polvo descremada. Asimismo, cabe destacar que la Argentina también está considerada como uno de los principales exportadores de leche en polvo entera, con un aporte del 7% (OCDE, 2017; OCLA, 2017).

3.2 PRODUCCIÓN EN AMÉRICA LATINA

En América latina, la producción de leche proveniente del ganado bovino es de aproximadamente el 99,4% del total producido, el resto proviene de otras especies (FEPALE, 2014; FAOSTA, 2017). Como se observa en la Figura 3.7, entre el 2004-2014 la producción mundial, en promedio, creció en un 36,9%, mientras que la producción en Latinoamérica lo hizo en un 77,5% aunque con marcadas diferencias entre las distintas regiones dado que para Sudamérica el aumento fue del 91,2%, para México y América Central 64,1% y el Caribe creció sólo 11.9%.

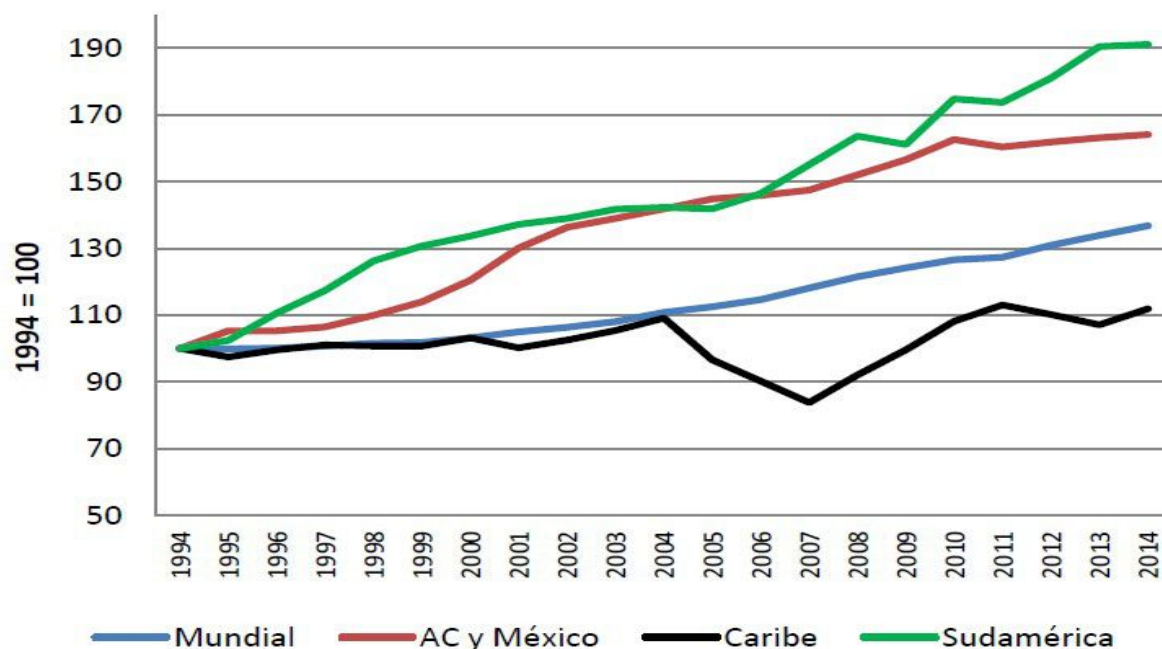


Figura 3.7: Evolución de la producción mundial de leche bovina y comparación con América Central y México, el Caribe y Sudamérica, 1994-2014 (FEPALE, 2014).

América Latina y el Caribe están conformadas por 19 países, los cuales, en el año 2014, aportaron una producción de leche de 82.445 millones de litros. El principal productor de la región (en volumen) es Brasil, seguido de Argentina y México (Tabla 3.2) (FEPALE, 2014). La producción de leche en los países de América Latina y el Caribe aumentará en un 18% en comparación con los años base. Sin embargo, su participación en la producción mundial se mantendrá en el 10%. Argentina, un importante productor, sufrió condiciones climáticas adversas en 2016, lo que provocó una disminución del -14% en la producción de leche (los datos de enero de 2017 (OECD, 2017)

Tabla 3.2: Producción de leche en 19 países de América Latina y el Caribe, entre los años 2010 y 2014 (en millones de litros) (FEPALE, 2014).

PAÍS	2010	2013	2014
Brasil	30,864	34,408	35,450
Argentina	10,502	11,796	11,680
México	10,838	11,118	11,296
Colombia	7,500	6,457	6,500
Chile	2,540	2,687	2,730
Venezuela	2,294	2,640	2,700
Uruguay	1,821	2,120	2,100
Ecuador	1,854	1,862	1,935
Perú	1,703	1,832	1,850
Costa Rica	952	1,066	1,100
Nicaragua	753	768	774
Honduras	739	695	700
R. Dominicana	521	669	680
Cuba	633	592	610
Bolivia	432	594	600
Paraguay	396	518	521
Guatemala	469	499	510
El Salvador	458	485	500
Panamá	198	206	209
TOTAL	75,468	81,012	82,445

Por otro lado, cabe mencionar que, en relación al total de la producción a nivel nacional, Argentina, México y Chile son los países con mayor proporción de leche industrializada (aproximadamente 90%), a diferencia de Ecuador, Colombia y Perú, donde sólo se industrializa alrededor del 50% de leche producida (Figura 3.8) (FEPALE, 2014).

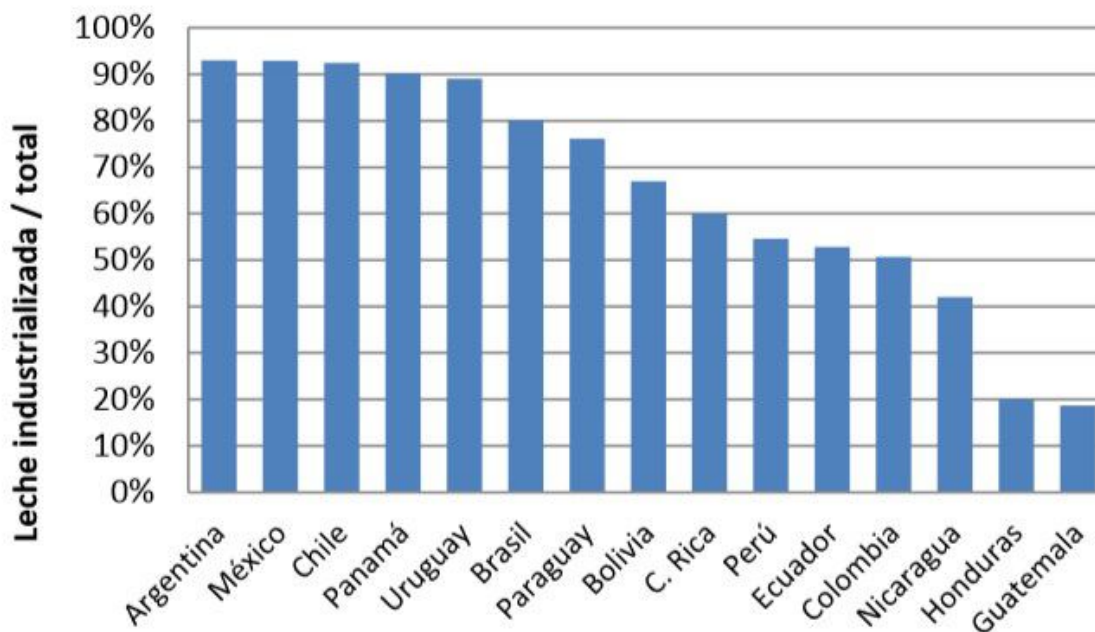


Figura 3.8: Proporción de la producción de leche procesada por la industria en 15 países de la región (FEPALE, 2014)

El precio medio prevaleciente en América Latina en el primer trimestre de 2015 fue 0,42 US\$/litro, con un máximo de 0,58 US\$/litro en Panamá y un mínimo de 0,29 US\$/litro en Brasil, aunque la mayoría de los países se encuentran dentro de un rango de 0,33 a 0,47 US\$/litro.

En lo que concierne puntalmente a Sudamérica, se observa que Ecuador es el país que más paga por litro de leche (Figura 3.9) (FEPALE, 2014)

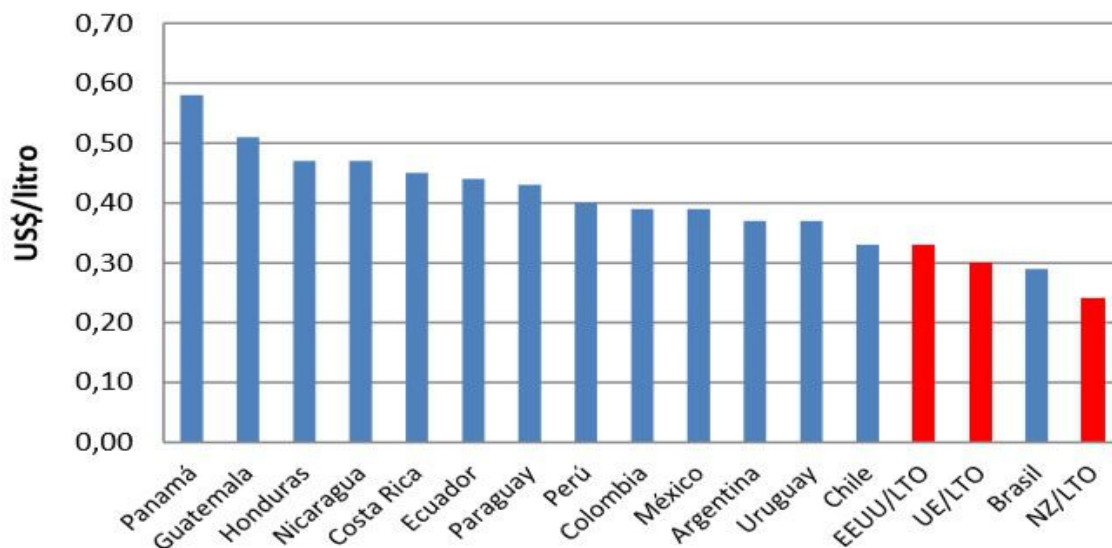


Figura 3.9: Precios de la leche al productor en el primer trimestre de 2015, en 14 países de la región y comparación con Europa, Estados Unidos y Nueva Zelanda.

3.3 SITUACIÓN PRODUCTIVA EN EL ECUADOR

3.3.1 Ubicación geográfica y principales características demográficas

Ecuador está ubicado al noroeste de América del Sur, sobre la línea ecuatorial terrestre por lo cual su territorio se encuentra en ambos hemisferios. Limita con Colombia al Norte, el Océano Pacífico al Oeste, y Perú al Este y al Sur. Posee con una superficie de 257.217,07Km² con una población de aproximadamente 17.000.000 habitantes, cuyo idioma oficial es el español. De esta suerte, en América del Sur, Ecuador es el noveno país en extensión, y el séptimo en población. Debido a sus condiciones geográficas, Ecuador es considerado el principal país megadiverso, por cuanto alberga el mayor número de especies por superficie (INEC, 2018; Atlas Rural del Ecuador, 2017). En lo referente a la distribución territorial de la población, las ciudades con mayor número de habitantes son Guayaquil, Quito, Cuenca y Santo Domingo (Figura 3.10).

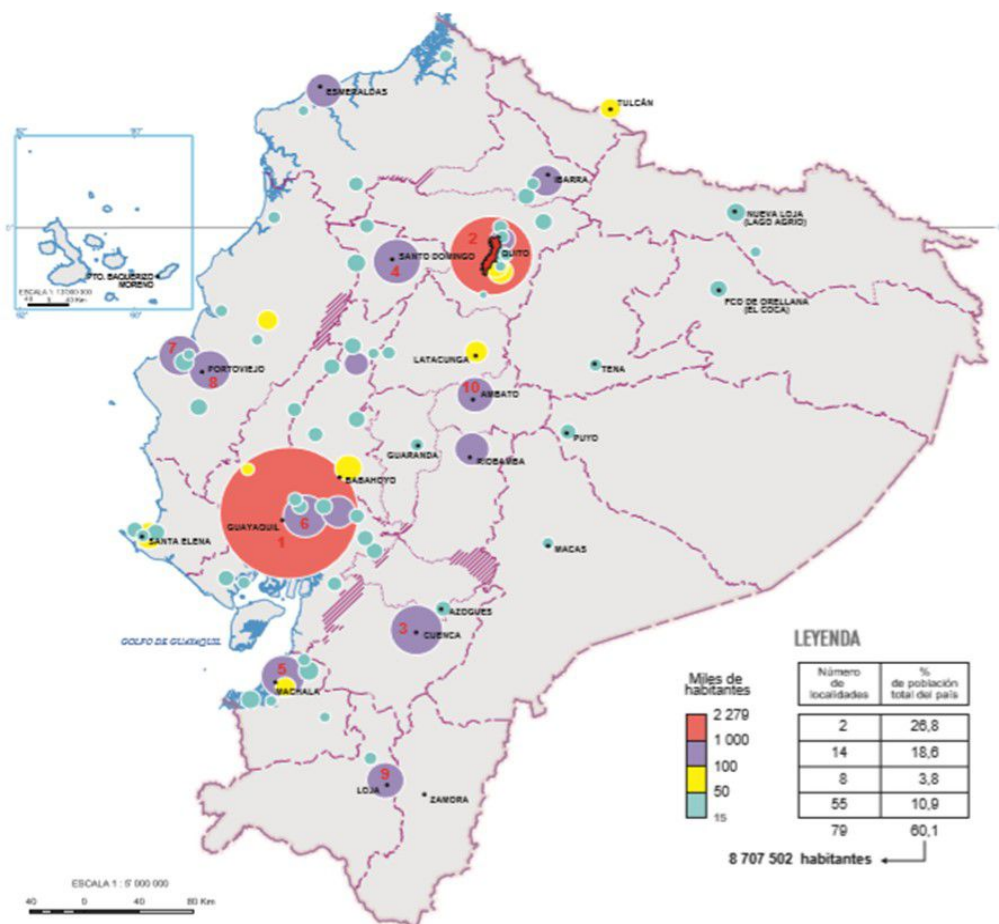


Figura 3.10: Mapa de la población aglomerada, localidades de más de 15.000 habitantes (Fuente INEC, 2010)

Ecuador es un país donde predomina la agricultura familiar, en territorios rurales con un fuerte dinamismo productivo que propicia una valiosa relación campo-ciudad, sobre todo en la región sierra y costa, como se observa en la Figura 3.11.

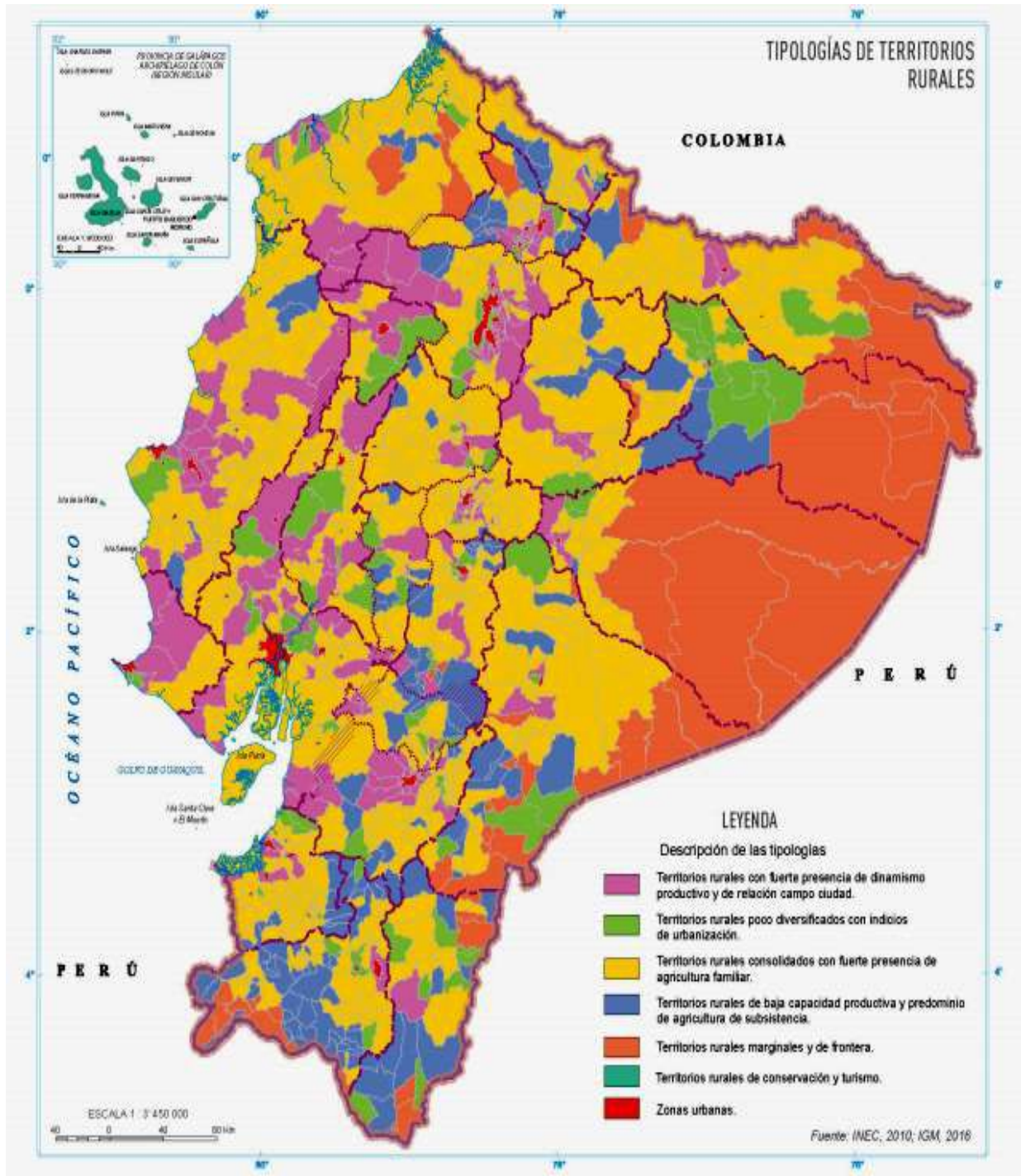


Figura 3.11: Mapa de tipologías de desarrollos rurales en el Ecuador. Fuente: INEC, 2010, IGM, 2016

3.3.2 Organización vial en Ecuador

Según el Foro Económico Mundial 2015-2016, Ecuador es el país latinoamericano con la mejor infraestructura vial, ubicándose en el sexto puesto del ranking de calidad vial de América latina, a la vez que ocupa el vigésimo quinto lugar, a nivel mundial, considerando las vías aéreas, terrestres, ferroviarias y marítimas (IGM, 2017).

La arteria vial del Ecuador o red primaria (carreteras principales) tiene alrededor de 9.791km. La Red Vial Nacional, que incluye las redes secundaria y terciaria, tiene una longitud de 39.921km: 54,60% corresponde a asfalto o capas rígidas y el restante 45,40% son capas de rodadura lastrada o no rígida (Figura 3.12).

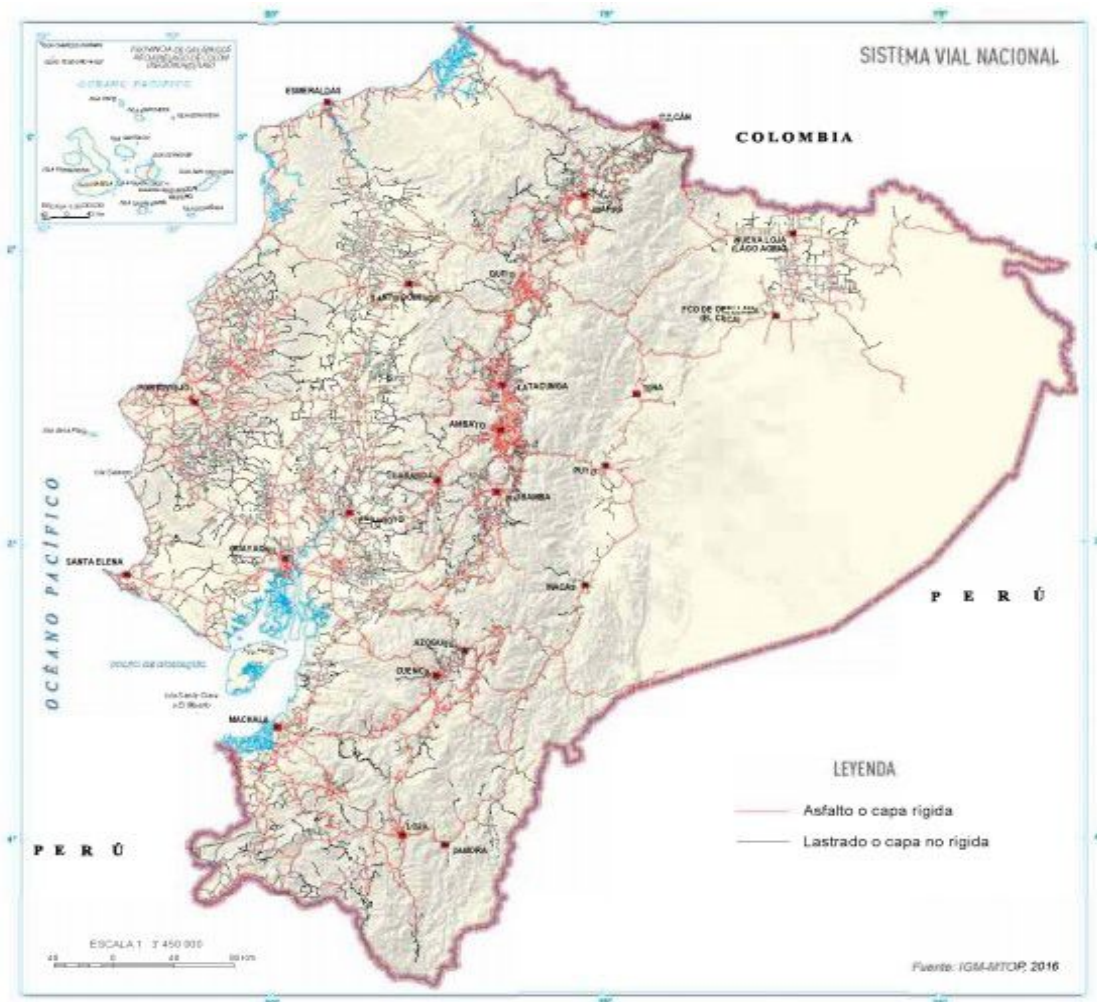


Figura 3.12: Sistema Nacional Vial de Ecuador (IGM, 2016)

Del total de localidades (incluyendo cabeceras parroquiales y otras localidades rurales), el 68% se encuentra a menos de 5km de una vía asfaltada, lo que representa el 85% del total de población rural del país (Figura 3.13), lo cual manifiesta una muy buena conectividad por vías pavimentadas considerando el contexto de América Latina.



Figura 3.13: Densidad vial según vías de primer orden a nivel parroquial en la zona rural

Indudablemente, una óptima organización vial, representa un recurso sumamente favorable para el productor, por cuanto la conectividad con otras regiones y lugares resulta más accesible, sobre todo cuando se trata de transporte de los productos del campo a la ciudad o a otras localidades.

3.3.3 Producción animal en Ecuador

De acuerdo a la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria-ESPAC (2017), realizada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), la especie ganadera de mayor explotación a nivel nacional en Ecuador, es la bovina, con una incidencia del 68,97%, seguida la porcina, con el 18,36 y de la ovina, con sólo el 6,42%, mientras que para el resto de especies los porcentajes son mucho menores (Figura 3.14).

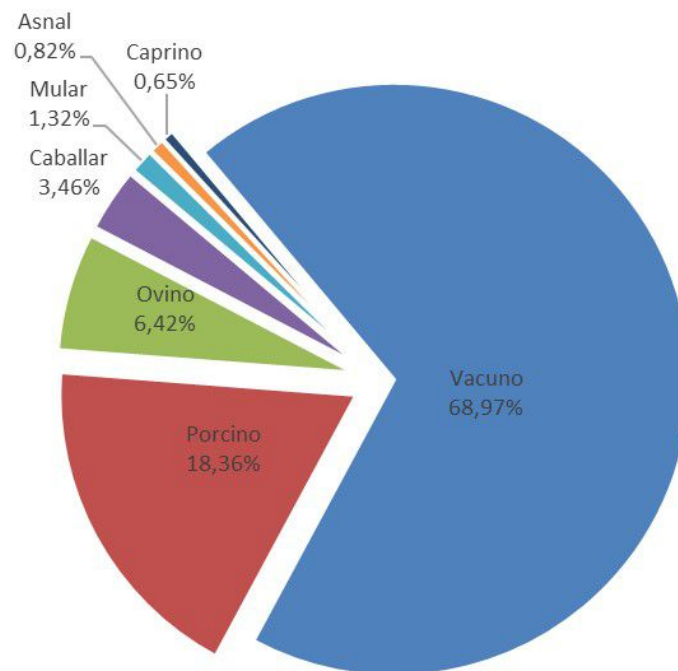


Figura 3.14: Especies ganaderas existentes en Ecuador (Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua-ESPAC. 2017).

La distribución de la producción animal a nivel nacional es de acuerdo del tipo de especie, observándose que en general, la región amazónica es la de menor producción (Figura 3.15) (PROECUADOR, 2016)

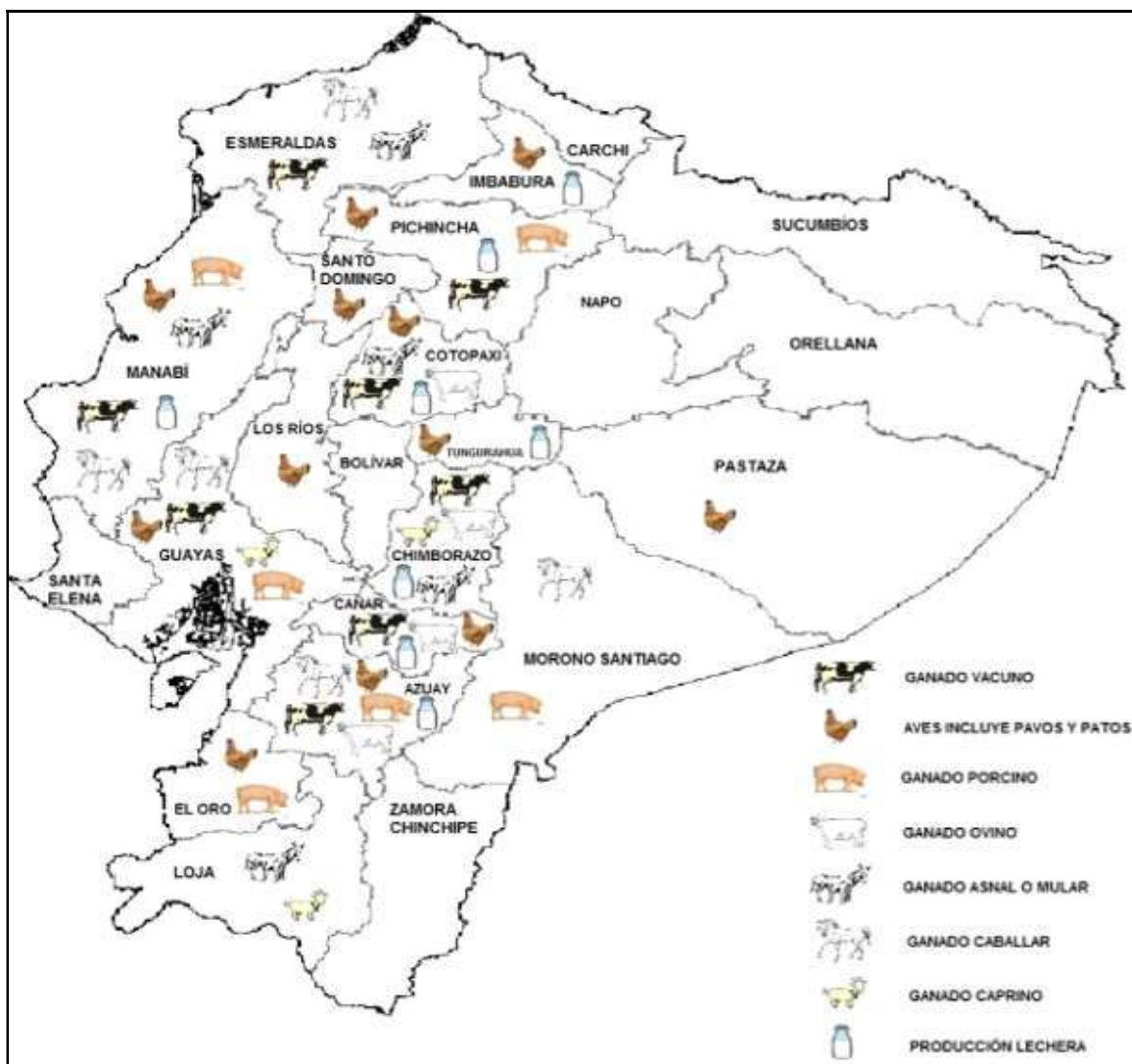


Figura 3.15: Distribución de la producción animal a nivel nacional (PROECUADOR, 2016).

3.4 HISTORIA DE LA LECHERÍA EN ECUADOR

La ganadería lechera en Ecuador se estableció a partir del año de 1537, cuando Sebastián de Benalcazar introdujo ganado desde Nicaragua.

Con el transcurso del tiempo, se estableció un vocablo característico entre los diferentes productores para identificar a sus animales, el cual se puede apreciar en la Tabla 3.3 (CILECUADOR, 2014).

Tabla 3.3: Vocablo característico que usan algunos productores para identificar a su ganado

DESCRIPCIÓN	VOCABLO UTILIZADO
Blanco con negro	Pintada
Blanco con rojo	Manzana
Colorada obscura	Ají seco
Con manchas blancas	Nevadas
Grisés	Cenizas
Color tierra	Barrosa, clara u obscura
Zardas	Negro, café y blanco

A inicios del siglo XX, se empiezan a formar las ganaderías en todo lo largo del Ecuador, las que, en función al aumento poblacional, fueron creciendo, en concomitancia con una mayor demanda de leche vacuna y de sus derivados.

En 1896 llegó a la sierra ecuatoriana el primer grupo de ganado especializado para la producción de leche, de raza “Frizón”. Asimismo, existe evidencia que los primeros 4 toros de raza Holstein, fueron importados desde EEUU, aunque dos de ellos fallecieron en el trayecto.

Posteriormente, de a poco empezaron a ingresar animales de diferentes razas, los que inicialmente tuvieron inconvenientes de adaptación, sobre todo por las elevadas alturas y a la intensidad de luz, lo cual fue corrigiéndose a través de cruza con especies criollas (CILECUADOR, 2014).

A partir de 1950 se inicia la gran producción lechera, merced al apoyo de profesionales como veterinarios o ingenieros agrónomos y agropecuarios. En efecto, mientras los veterinarios establecieron las prácticas de manejo de los animales como descornado, alimentación,

inseminación, palpado, entre otras, los ingenieros implantaron el procedimiento de la selección de reproductores, y la venta de pies de cría de los mismos.

Las reformas agrarias de 1964 y 1973, se enfocaron principalmente en la modernización de las haciendas, lo que se vio reflejado en la tecnología, insumos, mejoramiento genético ganadero, especialización de la mano de obra, gestión empresarial, principalmente para la producción de leche, fue la tendencia general (Aubron et al., 2013). A su vez, en 1977, el Estado estableció una política de regulación de los precios de la canasta básica, en base a los costos de producción determinados por el Ministerio de Agricultura.

A partir de entonces, hasta la actualidad, el precio de la leche ha sido regulado por el Estado, manteniéndose constante hasta el año 1995, cuando se abrió su importación, a causa de la presión de los industriales de una mayor demanda de los programas del Estado, lo cual influyó para que la tasa acordada con los productores, se redujera significativamente en los años 1997 y 1998.

Por otro lado, a partir del año 2000, debido a la depreciación de la unidad monetaria, el “sucre”, el gobierno de entonces, apuntando a una mayor estabilidad, decidió dolarizar la economía, lo que condujo a un breve fenómeno inflacionario, que redundó en una significativa caída de los precios relativos. No obstante, del año siguiente, esta situación fue corrigiendo a través de lo que se denominó proceso de “recalibración” de los precios relativos (Naranjo M, 2002, citado por Aubron *et al.*, 2013).

A inicios del 2008, el Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca (MAGAP), estableció que el precio del litro de leche al productor debía ser el 55% del de venta al público, alícuota que, dos años más tarde, fue llevada al 52,4% del precio al consumidor, del producto líder en el mercado lácteo interno, en este caso, la leche fluida UHT en “sachet”.

No obstante, a pesar de que el gobierno establece leyes para intentar favorecer a los pequeños productores, no existen mecanismos de control en toda la cadena productiva, por cuanto, si bien las industrias, por su formalidad, están sujetas a control, los intermediarios y acopiadores del campo casi no lo están. Debido a ello, desde el año 2008, a través de un Programa Inclusivo, los pequeños productores se agremian y, a través de centros de acopio,

venden su producción a la empresa El Ordeño, la cual fabrica leche en polvo para exportación o para programas gubernamentales de alimentación y nutrición.

Actualmente, la leche es considerada como el único producto tradicional que en los pequeños productores ha generado un ingreso prácticamente seguro, lo cual es atribuido a su tendencia de crecimiento (resultante de la expansión de la frontera agrícola), a la innovación y mejoramiento tecnológico, a la estabilización de precios con la dolarización, al incremento de la productividad leche/vaca/día, y a una política de precios de sustentación.

Según el III Censo Agropecuario (2000), alrededor de un tercio de la producción total de leche proviene de unidades productivas menores a 10 ha, que ocupan sólo el 8% de suelos destinados a pastos, lo que permite reconocer a los pequeños productores de leche como actores importantes para garantizar el autoabastecimiento de leche.

El aumento en la demanda de productos lácteos, derivado del crecimiento urbano, ha suscitado que, desde los productores artesanales hasta las grandes industrias, opten por ampliar sus capacidades y modernicen sus procesos productivos. Asimismo, se ha evidenciado que los medianos y grandes productores de leche, son quienes más han usufructuado de las políticas e inversiones públicas, mientras que las pequeñas economías campesinas, han tenido que fortalecerse por sus propias formas de organización y autogestión (CIL-ECUADOR, 2014).

Por último, cabe destacar que el 28 de mayo del 2015, La Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE) entregó a las autoridades ganaderas de Ecuador el certificado de país libre de fiebre aftosa con vacunación (PROECUADOR, 2016).

3.4.1 Situación actual de la ganadería vacuna en el Ecuador

Según la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria-ESPAC (2017), a nivel nacional existe un mayor número de hembras que machos, y a su vez, la mayor explotación de este

ganado se encuentra concentrado en la región sierra, seguido de la costa, y posteriormente la región oriental (Figura 3.16)

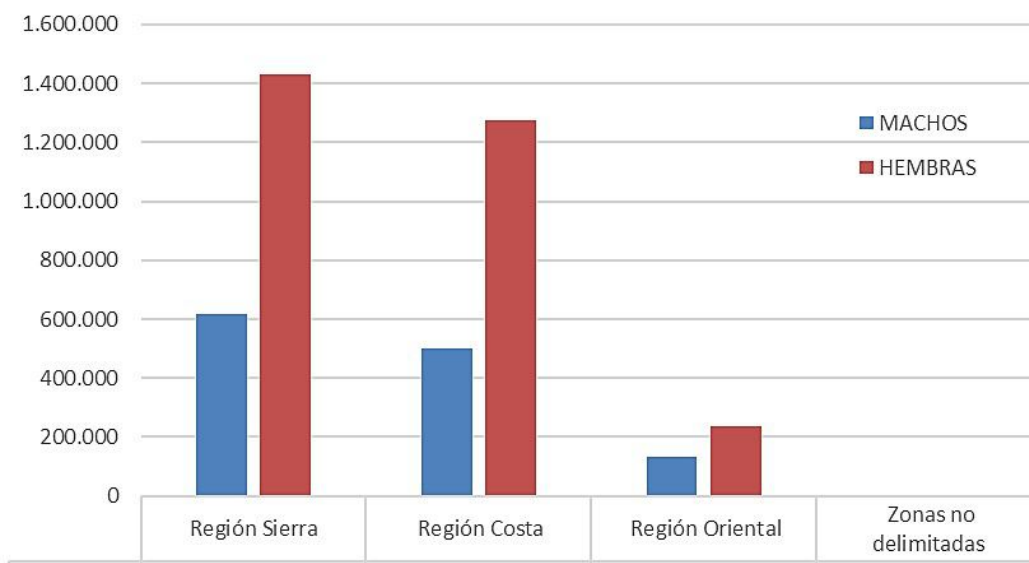


Figura 3.16: Ganado Vacuno: cantidad por región y sexo (ESPAC, 2017)

Asimismo, se ha reportado que la mayor proporción de vacunos existentes corresponde a cruza de razas, aunque cuando se analiza la pureza de los animales, se ha verificado un predominio de ganado Brahman, seguido de Holstein, Brown Swiss y Jersey (Figura 3.17).

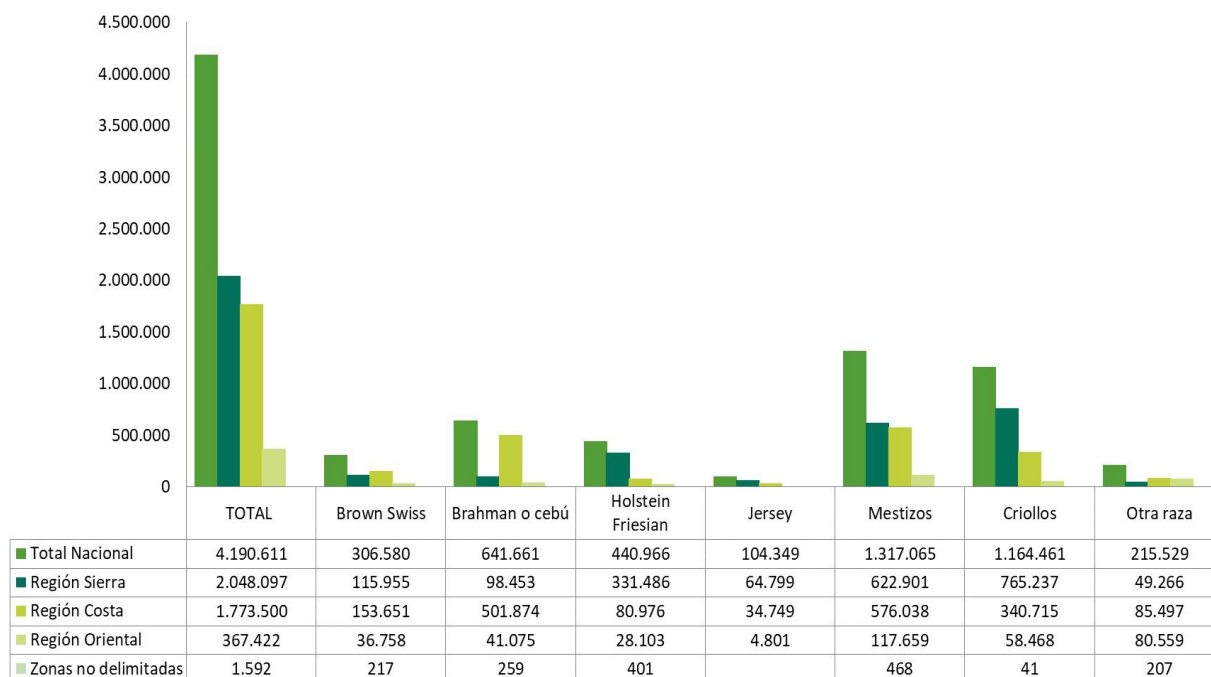


Figura 3.17: Razas de ganado vacuno existentes en Ecuador.

3.4.1.1 Estado actual de la lechería en el Ecuador

La importancia de la producción láctea en Ecuador, radica en que aporta el 7,59% del PIB nacional (Mas leche, 2018). En el 2017, la ESPAC reportó que existe un total de vacas ordeñadas de 856.165, de las cuales, el mayor número de éstas, ubicado en la región Sierra, seguido de la región Costa y Oriente. De igual modo, la mencionada encuesta reportó que la producción total diaria fue de alrededor de 5'319.288 litros, los cuales están distribuidos de acuerdo a la cantidad de cabezas existentes por región (Figura 3.18)

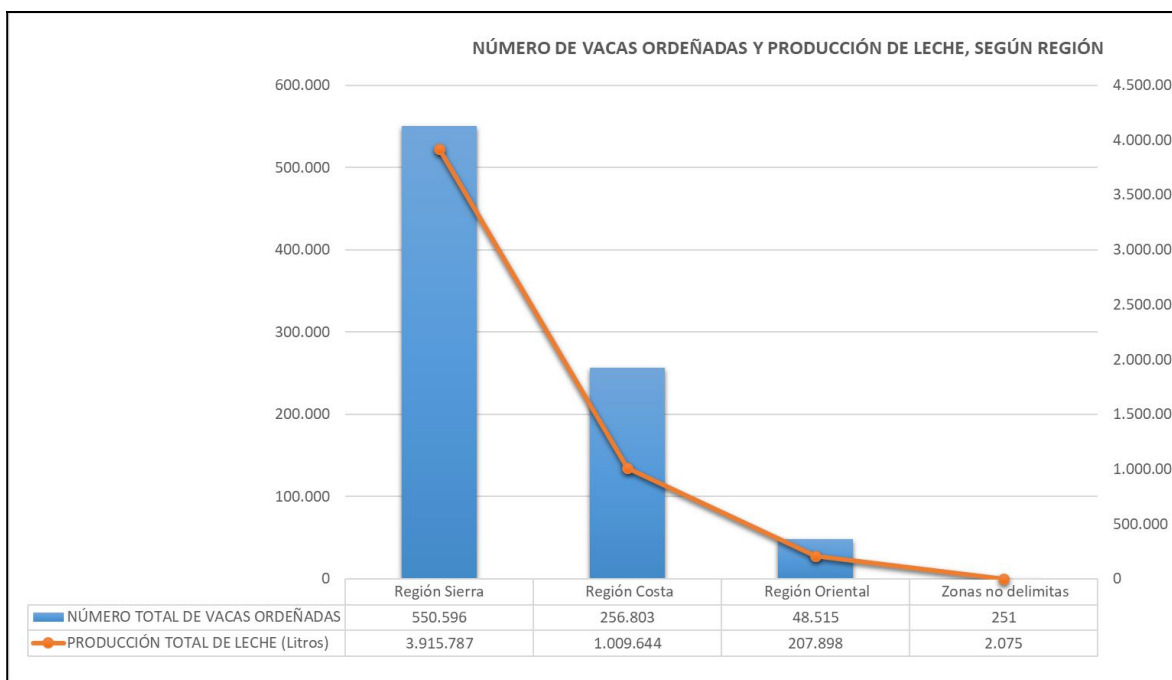


Figura 3.18: Producción en litros por día por región.

La producción total de leche es de 5.135.405 L por día, y mayor proporción del total de leche producida diariamente, es comercializada a la industria en como materia prima a la industria (3'714.124 L), seguido, en orden de importancia, del procesamiento *in situ* (963.321 L), el consumo interno (374.124 L), la alimentación en balde de las crías (72.313 L) y, finalmente, el uso con otros fines (11.559 L) (figura3.19).

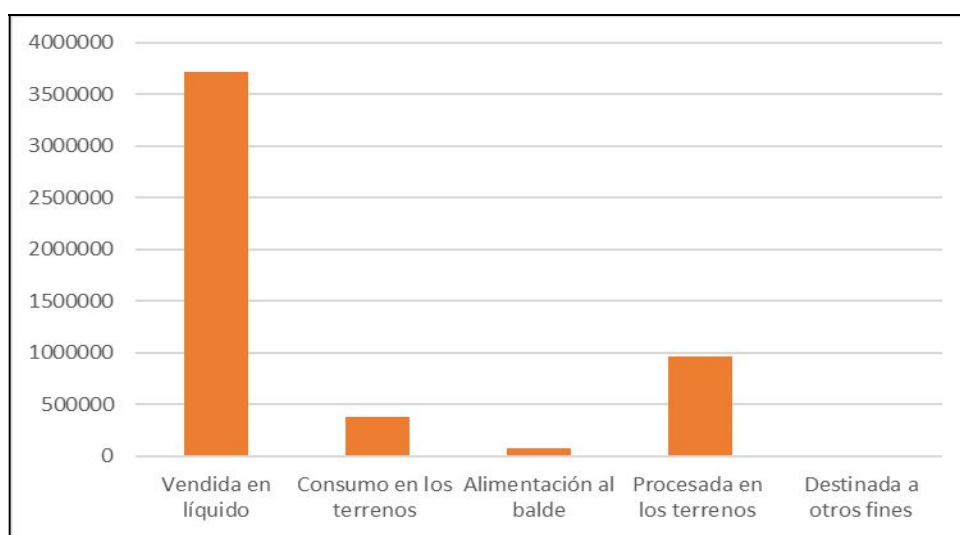


Figura 3.19: Usos de la leche producida en Litros por día (ESPAC, 2016).

Análogamente, el mismo estudio reveló que la provincia de mayor productividad en la Región Sierra es Pichincha con un rendimiento de alrededor de 835 mil litros, seguida del Cotopaxi, Azuay y Chimborazo con aproximadamente 515, 482 y 431 mil litros respectivamente (figura 3.20)

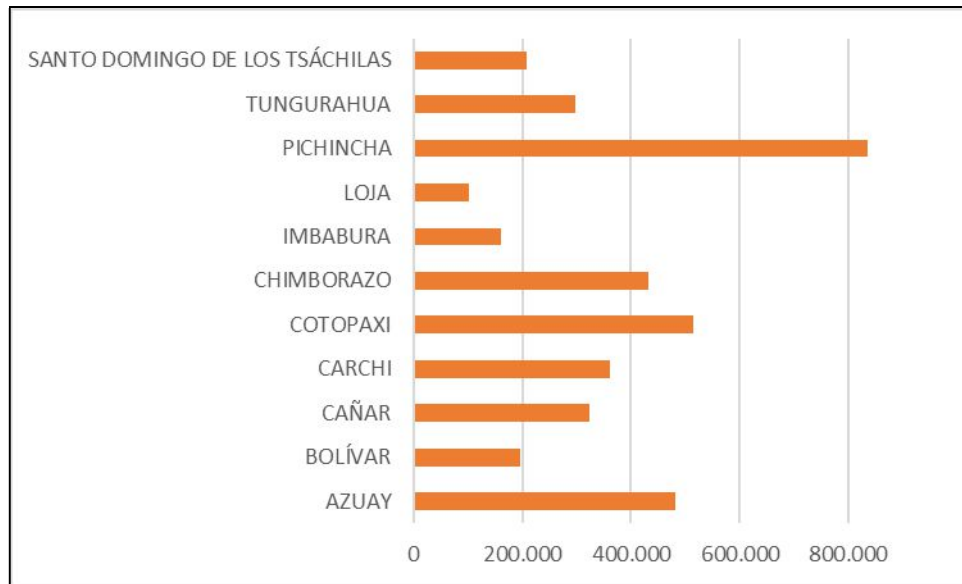


Figura 3.20: Producción diaria de leche por provincia en la Región Sierra. (ESPAC, 2017)

Por otro lado, se pudo observar que, en la Región Costa, la principal provincia productora de leche es Manabí con alrededor de 587 mil litros por día (Figura 3.21). Un aspecto destacable en relación a esta provincia, es que, alrededor del 58% del total de leche producido, es procesado en el mismo terreno.

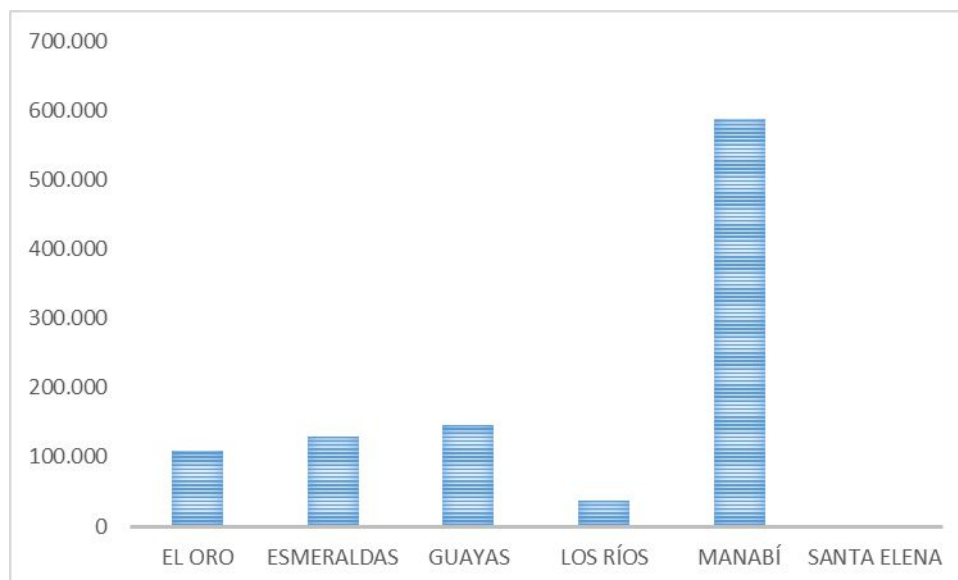


Figura 3.21: Producción diaria de leche por provincia en la región costa. (ESPAC, 2017)

Así también se observó que las provincias en la Región Oriental de mayor producción de leche, son Morona Santiago y Zamora Chinchipe con alrededor de 67 y 53 mil litros diarios, respectivamente (Figura 3.22).

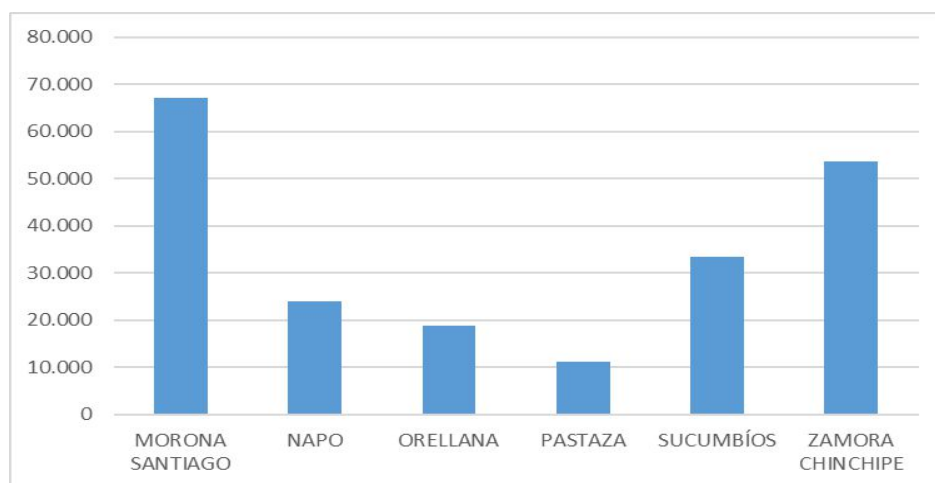


Figura 3.22: Producción diaria de leche por provincia en la Región Oriental (ESPAC, 2017).

Por último, en cuanto a los porcentajes de la leche producida que se comercializa en forma fluida, se pudo constatar que, en la Región Sierra se vende el 87,5%, seguida de la Región Costa

con el 9,9% y la Región Oriental el 2,4%, estimándose un rendimiento promedio de 6 litros por cabeza por día (ESPAC, 2017).

Un dato particular que se pudo observar en la ESPAC (2017), es que, en la Región Costa la mayor cantidad de leche producida, se procesa en el mismo terreno (502.229 L), siendo superando a la Sierra y Oriente con 295.328 y 83.614 L, respectivamente.

3.4.2 ELABORACIÓN DE SUBPRODUCTOS DE LA LECHE EN ECUADOR

La industria láctea está compuesta por todas las empresas (pequeñas, medianas y grandes) dedicadas a la producción de derivados lácteos. Las más pequeñas procesan entre 500 y 5.000 litros de leche diarios, para fabricar preferentemente queso de mesa. Las empresas medianas manejan entre 5.000 y 50.000 litros de leche al día, y las grandes de 50.000 hasta 300.000, siendo sus principales productos: queso fresco, queso mozzarella, yogurt, leche en funda, leche UHT, leches de sabores, y alimentos fortificados en calcio (Hernández, Mafla y Proaño, 2013).

Cabe aclarar que, más del 20% de la leche producida es destinado al autoconsumo, es decir para alimentación de las crías recién nacidas y para su usufructo dentro de la finca, mientras que, cerca del 80% restante, se divide en dos grupos: la industria informal, en la cual se comercializa leche fluida no pasteurizada (15%), y la industria formal 65% (Ministerio de Industrias y Productividad, 2016).

Dentro de los productos que elabora la industria formal, se encuentran: la leche fluida (36,9%), quesos (31,3%), leche en polvo (14,4), yogurt (8,3%) y otros derivados lácteos (9%), tal como se representa en la Figura 3.23 (Ministerio de Industrias y Productividad y Bain & Company, 2015). Asimismo, la Revista Líderes (2016), a partir de fuentes relacionadas con el área, también reportó que alrededor de un tercio de la leche que se produce en el país se destina para la elaboración de quesos.



Figura 3.23: Proporción porcentual de los productos lácteos elaborados en Ecuador. (Ministerio de Industrias y Productividad - Bain &Company, 2016)

Por otro lado, según el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca (MAGAP), en el 2016, las industrias con mayor capacidad de procesamiento de leche cruda (más de 100.000 litros/día) pertenecientes a la Región Sierra, se encuentran ubicadas de en las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi y Azuay, mientras que en la Región Costa solo en Guayas se procesa tal cantidad.

3.4.2.1 La quesería en el Ecuador

La historia de la quesería en Ecuador, se originó con la llegada de los conquistadores españoles, quienes trajeron consigo el ganado de otras latitudes. Pronto, el queso se volvería muy popular en los centros poblados; en Quito, era tal el gusto de los ciudadanos por este alimento, que consumían alrededor de 640 mil libras (~290.300 Kg) de queso por año. Esto se debía, sobre todo, a la cantidad de productos que se podían mezclar fácilmente con el queso, como la papa, calabaza, maíz, trigo y hortalizas.

Sin embargo, además de la preferencia hedónica, hubo otro factor que contribuyó al crecimiento de la industria del queso con el tiempo, como lo fue la dificultad para recorrer los extensos caminos entre regiones del Ecuador, que obligó a prolongar la vida útil de la leche, transformándola en queso. Esto permitió que el queso llegue a distintos lugares del país, en los que, a su vez, se fueron cambiando las formas de elaborar y consumir este producto (Mas leche, 2018).

El mercado ecuatoriano de quesos es bastante complejo y dinámico. En efecto, actualmente existen más de 300 marcas que compiten para incrementar su participación comercial, entre las

que se encuentran exitosas empresas líderes con muchos años de tradición y presencia en el rubro.

La agroindustria artesanal de lácteos se dedica, principalmente, a elaboración de quesos, cuyo sistema de comercialización se ejemplifica en la Figura 3.24 (Maigre, citado por Hernández, Mafla y Proaño, 2013).

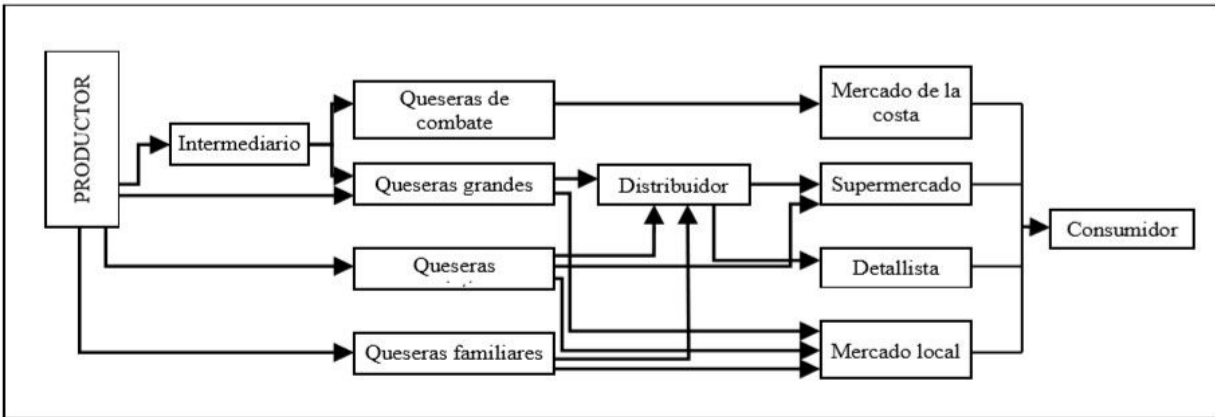


Figura 3.24: Esquema de la cadena de comercialización de quesos con la Industria Artesanal

Como puede verse, la elaboración de quesos se encuentra a cargo de cuatro entidades Queseras:

- *Quesera grande*

Estas queseras tienen una infraestructura y equipamiento simple con una capacidad limitada. Trabajan con unos 1.500 litros de leche/día, los que, previa pasteurización, son procesados para obtener productos para el consumo humano, de buena calidad.

La materia prima puede provenir de los mismos productores, o bien de los intermediarios, quienes pueden recibir leche de inferior calidad, que luego entregan a las industrias.

La comercialización de los productos se puede realizar en un mercado regional acreditado, la misma empresa, o bien en el mercado nacional, a través de distribuidores. Cabe aclarar que, son muy pocas queseras que empaican su mercadería al vacío, lo cual constituye requisito mínimo para poder expendirse en supermercados.

Por lo general, la capacidad financiera de las queseras grandes no les permite competir con el precio de las industrias, en especial, en temporada baja, donde el financiamiento de los costos fijos y de mano de obra, no les deja margen para bajar el valor de venta de sus quesos. Su mayor competencia corresponde a los quesos de menor valor, procedentes de las queseras familiares pequeñas y de las queseras de combate de la temporada baja, cuyas ventas crecen en días festivos como la Semana Santa, Día de los difuntos o Navidad. La particularidad de estas queseras es su diversificación de productos (yogurt, manjar ó dulce de leche) y mozzarella).

- *Quesera familiar*

Corresponden a empresas pequeñas, que transforman la materia prima (de 200 a 500 litros/día), sin pasteurizar, en productos lácteos. Se trata de negocios esencialmente familiares (no genera empleos ajenos de la familia), cuya actividad está orientada preponderantemente a complementar los ingresos del hogar. Por ello, la estrategia no es desarrollar una producción importante, debido a que, estas plantas se encuentran restringidas, tanto en mano de obra, como en su infraestructura (sólo cuentan con las herramientas básicas, una mesa de madera y un molino manual).

Su producción, que básicamente consiste en queso fresco y quesillo, puede destinarse para autoconsumo, o bien, ser entregada por otros productores de manera directa. Estos quesos se comercializan en bolsas blancas, eventualmente, en envases de otras marcas para obtener un precio superior. Son los mismos queseros quienes se encargan del expendio de sus productos en el mercado local o provincial. Así, en la provincia de Chimborazo, se puede encontrar a queseros vendiendo su producción en la plaza, a negociantes que abastecen el mercado de Guayaquil.

- *Queseras asociativas*

Este tipo de queseras se desarrollan a partir de la organización comunal o grupal, que procesan la leche entregada por sus socios. Dentro de esta categoría, se pueden encontrar queseras grandes y pequeñas. Entre las grandes, se pueden mencionar El Salinerito, Cebadeñito o el ex Quesinor, cuyos productos han llegado a comercializarse en supermercados locales y nacionales, aunque también pueden ser vendidos al consumidor, de manera directa, o bien, a

través de distribuidores. Por el contrario, en el caso de las queseras asociativas pequeñas, son ellas mismas quienes se encargan de expender sus quesos.

En general, las queseras asociativas son reconocidas por la buena calidad de sus productos y la sustentación de plazas de trabajo en las zonas donde se encuentran se ubicadas. Si bien, en su mayoría, elaboran queso fresco. El Salinerito se ha destacado por la producción de quesos maduros, lo que le ha permitido asegurar un puesto importante en el mercado y ser reconocido como la experiencia más exitosa de queseras asociativas.

- *Queseras de combate.*

Son características de la provincia de Chimborazo, encontrándose localizadas en Riobamba y en las zonas fuertemente lecheras, como San Juan y Chambo. Se las denomina “de combate”, porque devienen de procesos productivos artesanales, que se han especializado en quesos, que se comercializan en el mercado de la Costa, registrados en una o más marcas. Procesan entre 2.000 y 6.000 litros/día, siguiendo un proceso convencional de producción, a partir de una materia prima de baja calidad, que los queseros compran, mayoritariamente, a los piqueros(intermediarios). Asimismo, son los propios queseros quienes se ocupan de preparar los camiones que han de transportar sus productos, todo lo cual reduce al mínimo los gastos de producción. En general, las Queseras de combate mantienen una relación directa con sus distribuidores, quienes compran y envasan sus productos para poder satisfacer las exigencias del mercado.

3.4.2.2 Variedades de quesos

En Ecuador, existen muchos tipos y variedades de quesos, siendo los más difundidos los que se registran en la Tabla 3.4. De acuerdo a la CIL-Ecuador (2014), de esta amplia gama, el 40% corresponde a queso fresco, el 30% es mozzarella y el resto es queso Andino y quesos europeos.

Tabla 3.4: Variedades de quesos comercializadas en Ecuador.

▪ Amasado	▪ Fresco	▪ Parmesano
▪ Andino	▪ Gruyere	▪ Picado
▪ Camembert	▪ Hierbas del campo	▪ Requesón
▪ Cheddar	▪ Holandés	▪ Ricota
▪ Dambo	▪ Javierino(Cheddar)	▪ Sanduche (Prato)
▪ De hoja	▪ Magro	▪ Tilsit
▪ Feta	▪ Manchego	
▪ Brie	▪ Mozzarella	

Algunos quesos, que han sido desarrollados con el apoyo de expertos extranjeros, como es el caso del Andino y el Javierino, además de ser considerados autóctonos, gozan de una muy buena aceptación entre los consumidores.

No obstante, de acuerdo a sus particularidades, distintas regiones han generado quesos característicos, tales como:

- *Queso Chagra*

El queso Chagra (o Queso del Chagra), también conocido como queso Chacarero, ha sido producido ancestralmente en los páramos andinos de Machachi y alrededores (Figura 3.25).



Figura 3.25: Localización de la ciudad de Machachi (también conocida como Santiago de Machachi), cabecera cantonal del Cantón Mejía, Provincia de Pichincha.

Este queso es elaborado con leche de vacas cimarronas o semi silvestres, que pastan libres a más de 4000 metros sobre el nivel del mar, cuyo ordeño requiere que se les ate las patas traseras y que sus cuernos sean amarrados a algún apoyo cercano (normalmente un árbol) (Figura3.26). En virtud de la dificultad



Figura 3.26: Apariencia del queso Chagra

que representaba bajar la leche fresca obtenida, hasta el primer centro poblado, debido a que se requería atravesar largos

senderos lo cual demandaba extensos períodos de tiempo, se optó por elaborar quesos frescos, casi sin sal, en las cercanías al mismo lugar de ordeño. Si bien se creía que este queso había desaparecido, actualmente, se tiene conocimiento de que se lo sigue elaborando, pero sólo para consumo de los fabricantes y acompañantes de las faenas de arreo de ganado y que, ocasionalmente.

- *Queso amasado Carchense*

Este queso es propio de la provincia del Carchi, específicamente de las ciudades de Tulcán, Montufar y San Gabriel (esta última, situada en la Alta Meseta de la provincia de Carchi, ha sido declarada patrimonio nacional) (Figura3.27).



Figura 3.27: Localización de las principales ciudades de la provincia de Carchi, donde se produce el queso Carchense.

Básicamente, su preparación consiste en, una vez coagulada la leche, dejar escurrir el suero, esparcir sal refinada y finalmente moler la cuajada en molinos de granos, lo que le confiere un sabor muy especial. Tradicionalmente se lo sirve junto a las conocidas papas cholas, chauchas o con humeantes granos tiernos (Mas leche, 2018; Chávez, 2016).

- *Queso Lojano*

Su preparación es muy parecida a la del queso amasado, sin embargo, por el clima en el sur de la Sierra, normalmente se lo combina con yuca, plátano verde, maduro, y otros platos típicos de esta región (Figura 3.28).



Figura 3.28: Apariencia del queso Lojano

- *Queso Manaba*

Es un tipo de queso fresco que proviene de la provincia de Manabí (Figura 3.29), pero actualmente es muy popular en todo el país. Es conocido por ser combinado con maduro, plátano verde, choclo, granos tiernos y ensaladas. Como dato interesante, el famoso pan de yuca es elaborado a partir de este queso.



Figura 3.29: Ubicación de geográfica de la Provincia de Manabí y apariencia del queso Manaba

- *Queso de Hoja*

Este exquisito queso se caracteriza por estar envuelto siempre en una hoja verde de achira (Figura 3.30). Su elaboración consiste en dejarlo reposar por unos días, luego se lo pone en agua caliente, formando pedazos a los que se los aplana y se los envuelve en sí mismo. En la ciudad de Cayambe (Provincia de Pichincha), se lo consume con los deliciosos “bizcochos de mantequilla”, mientras que en Latacunga (Provincia de Cotopaxi), donde también es bastante popular, se lo acompaña con las tradicionales “allullas”.



Figura 3.30: Apariencia de un queso de Hoja típico

Como corolario, puede decirse que, independientemente de la variedad que se trate, es indudable que el queso representa uno de los alimentos más completos y deliciosos dentro de las preparaciones más selectas de Ecuador. A propósito, según los últimos estudios nacionales, más de un millón de los hogares urbanos (lo que representa el 84% de la población), consume queso regularmente. En tal sentido, el consumidor ecuatoriano se caracteriza por adquirir quesos preferentemente frescos (8 de cada 10 ecuatorianos manifiestan que compran queso fresco), de diferentes clases, presentaciones y calidades, le siguen en predilección; la mozzarella, queso crema, maduro (en especial, el queso holandés), semimaduro y el queso de cabra (Revista Líderes, 2016).

3.4.2.3 Producción de queso en Ecuador

En la Figura 3.31 se presenta la evolución experimentada por la producción de queso en Ecuador entre los años 2000 y 2014 (FAOSTAT, 2018).

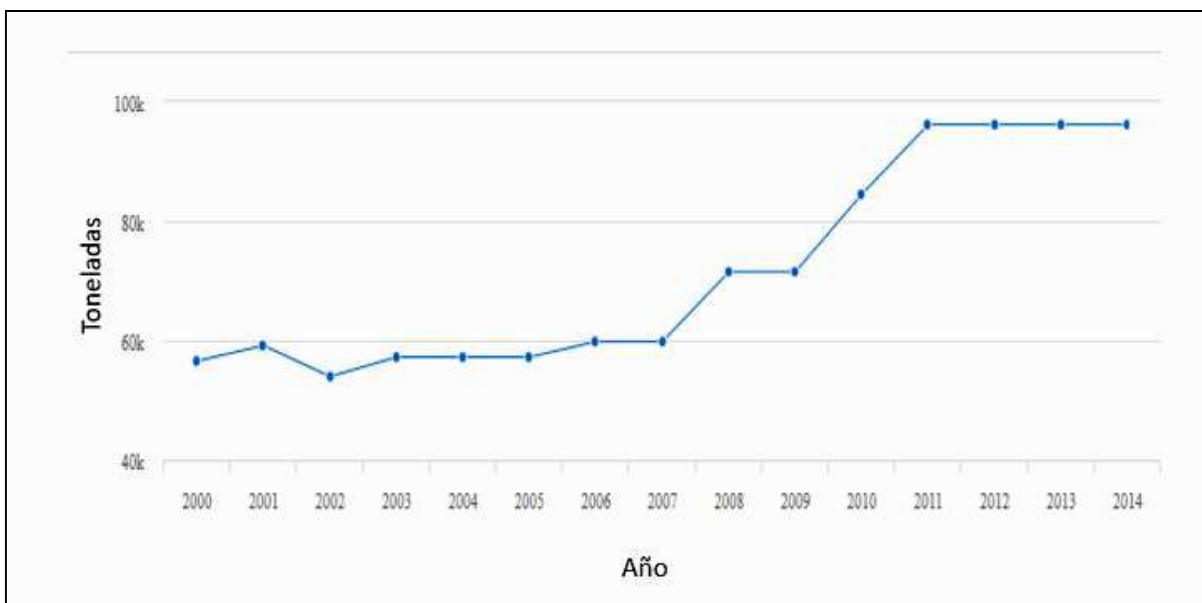


Figura 3.31: Producción de queso en Ecuador entre el año 2000 y 2014 (FAOSTAT, 2018)

Como puede verse, luego de experimentar un ligero aumento, seguido de una leve caída, a partir de 2003, la producción de queso volvió a su nivel inicial, manteniéndose sin mayores variaciones hasta 2007, cuando se registró un considerable incremento que se extendió hasta 2011. Ciertamente, esta tendencia fue un claro reflejo del aumento en el consumo de queso per cápita, que se verificó entre 2006 y el 2015, que alcanzó a 0,75 kg. Este acontecimiento, fue atribuido a diversas causas, tales como; el retorno de migrantes que adoptaron nuevas costumbres alimentarias, la llegada de extranjeros que consumen distintos tipos de quesos y el reciente desarrollo de la cocina gourmet que ha sufrido el país, todo lo cual dio un fuerte impulso al crecimiento de la industria quesera.

Si bien, de acuerdo a la Food and Agriculture Organization (FAO), en el año 2017, Ecuador produjo 96.200 toneladas de queso, en la bibliografía se encontró información de fuentes oficiales que detallan la proporción correspondiente a cada variedad. Existiendo al año 2015 una producción total de queso de 13.633 toneladas de queso, observándose que el queso de mayor

producción es el fresco (45%), seguido de quesos nacionales y mozzarella con 34 y 13% respectivamente (Figura 3.32) (EMM, 2015). Cabe mencionar que en Ecuador existe mucha informalidad respecto a la comercialización de queso, por lo cual los valores oficiales no reflejan la realidad nacional, y si bien la proporción de los diferentes tipos coinciden entre distintas, el valor total es sub-valorado.

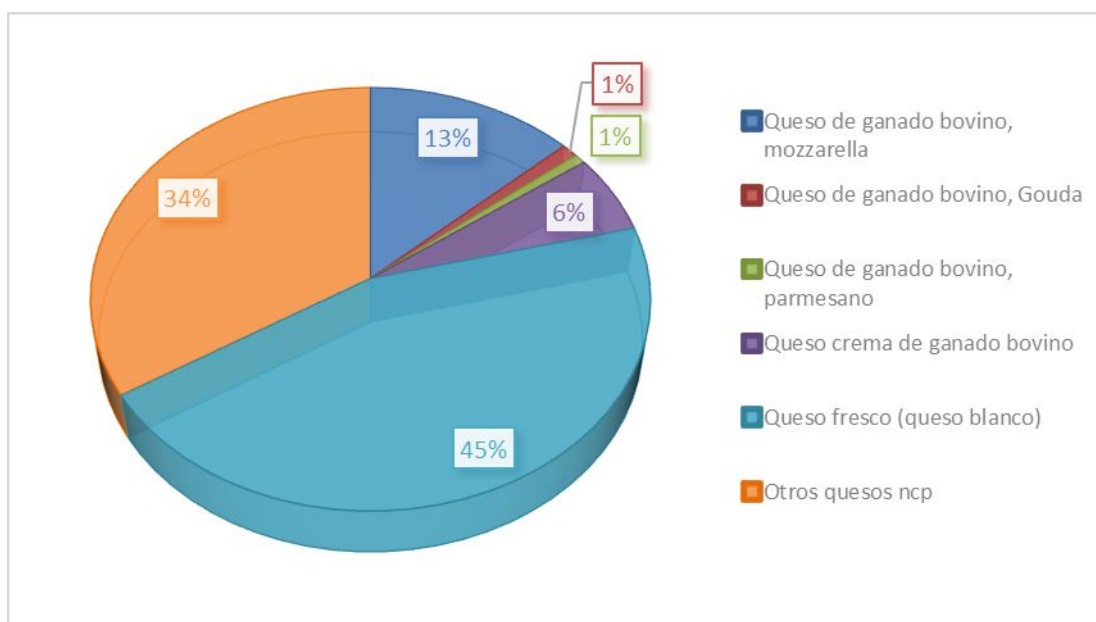


Figura 3.32: Proporción de los tipos de queso producidos en Ecuador (EMM, 2015)

A partir de año 2018, a través de una iniciativa del Centro de la Industria Láctea (CIL), Gobierno de Pichincha, Cámara de Agricultura I Zona y con la colaboración de sus socios estratégicos, se creó el programa “+ Leche”, el cual fomenta el consumo de lácteos a nivel nacional.

3.5 PRODUCCIÓN DE SUERO A NIVEL MUNDIAL Y NACIONAL

Según Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (FAOSTAT) (2018), Francia es el principal productor de suero en polvo, seguido de Estados Unidos y Alemania (Figura 3.33).

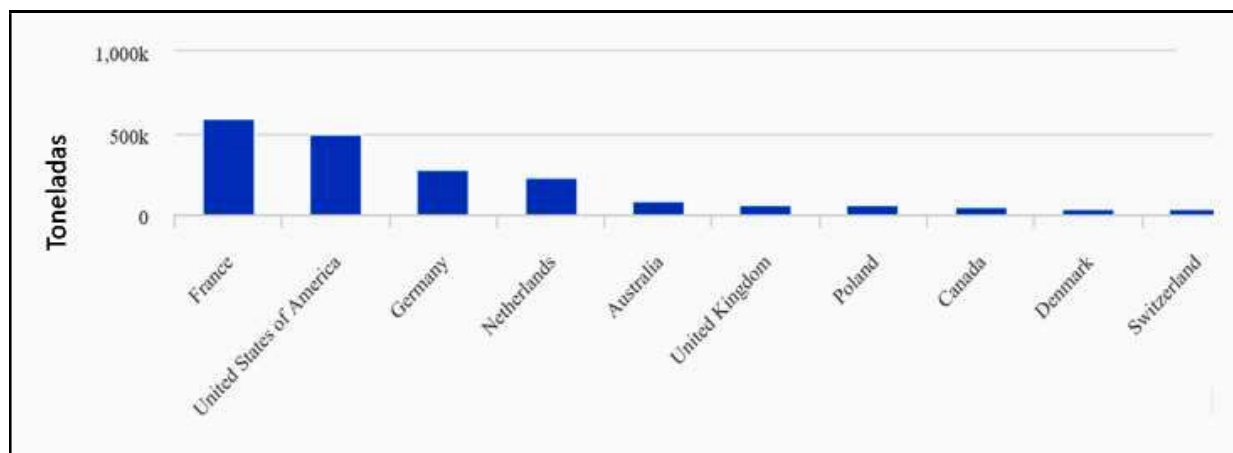


Figura 3.33: Principales productores a nivel mundial de suero en polvo (FAOSTAT, 2018)

En lo atinente a la producción de suero concentrado, es Italia el país que ocupa el primer lugar, mientras que, en segunda y tercera posición, al igual que para suero en polvo, se encuentran Estados Unidos y Alemania respectivamente (Figura 3.34).

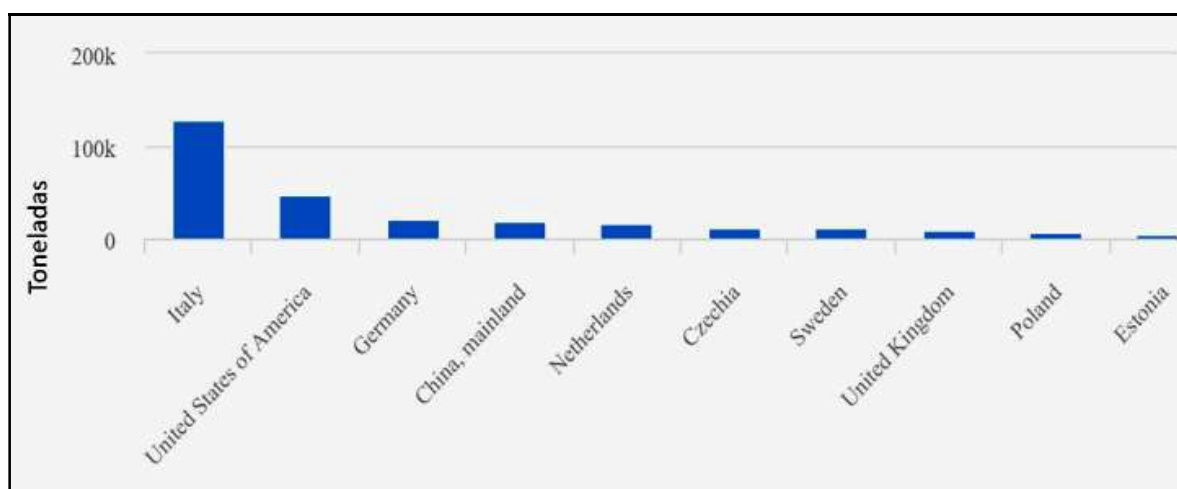


Figura 3.34: Principales productores de suero concentrado (FAOSTAT, 2018)

En este contexto, hasta la fecha, Ecuador no ha evidenciado una producción de suero. No obstante, teniendo en cuenta algunos guarismos de producción nacional, como los registrados en el año 2013, cuando se obtuvieron unos 183 millones de litros de lactosuero (aproximadamente el 9% del total de leche producida a nivel nacional) (figura 3.35), se han generado propuestas y estudios por parte del gobierno, tendientes a implementar una efectiva industrialización que permita incrementar el valor de este subproducto. En este sentido, se estima que el precio del

suero tal cual, que es de 0,02 dólares/litro, tras su procesamiento podría elevarse a 0,24 dólares/litro, en el año en mención.

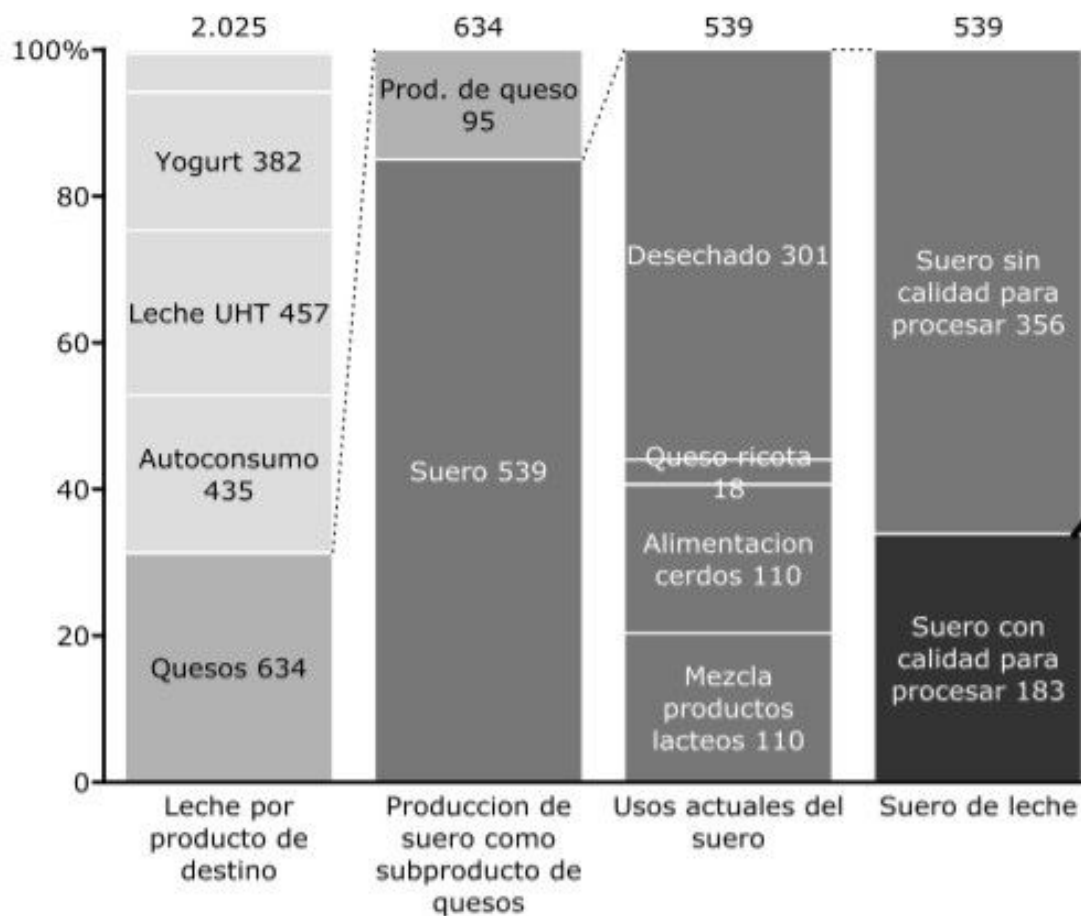


Figura 3.35: Producción nacional de suero procesable en el año 2013 (MIPRO y Bain & Company, 2015)

Actualmente se han observado en góndolas de supermercados y kioscos, la presencia de bebidas lácteas, las cuales, en su formulación, presentan suero de leche como uno de sus ingredientes principales (Figura 3.36). Sin embargo, a pesar de ser una alternativa adecuada para generar valor agregado a un subproducto de la quesería, se ha limitado la adquisición por parte de consumidores, sobre todo porque tienen el concepto de que el suero es alimento para los cerdos, lo cual se ha hecho viral, en las distintas redes sociales. Quienes mayor desconformidad presentan son los productores de leche, debido a que ven a estas bebidas como una competencia, que afecta directamente a la comercialización y consumo de leche, por ser esta remplazada la en el desarrollo de nuevos productos bebibles (Ecuavisa, 2018; Ecuador Inmediato, 2018). El bajo

precio de estas bebidas y la publicidad engañosa (símil leche), acompañadas del desconocimiento de los consumidores, han generado gran controversia y confusión al respecto de los beneficios que genera la utilización del suero a nivel productivo, medioambiental y nutricional.



Figura 3.36: Bebidas lácteas a base de suero de leche, existentes en góndolas de Ecuador

A raíz de la problemática antes planteada, se ha formado el Consejo Consultivo del Sector Lácteo, el cual es una comisión interinstitucional, conformada por representantes del sector público, y distintos actores de la cadena láctea, donde se plantean propuestas y alternativas para resolver las problemáticas referentes al sector lácteo en Ecuador.

Por otra parte, también es importante considerar que el lactosuero representa una abundante y económica fuente de lactosa, cuya obtención reduciría significativamente su importación, la cual, a partir del año 1999 ha experimentado un sostenido incremento, llegando a un máximo de alrededor de 700 toneladas anuales, en 2009 (Figura 3.37).

El país que más exporta este producto es Estados Unidos, mientras que el que más importa es Japón (FAOSTAT, 2018).

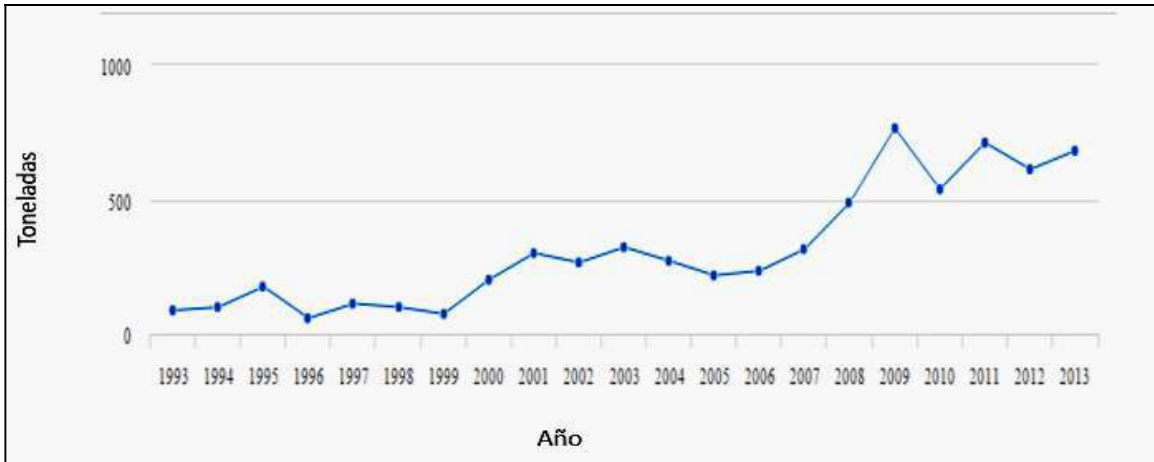


Figura 3.37: Importaciones de Lactosa en Ecuador por año (FAOSTAT, 2018)

INFORMACIÓN TECNOLÓGICA

4 COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA LECHE

La leche es un líquido de composición compleja, blanco y opaco, de sabor dulce y pH cercano a la neutralidad.

Desde un punto de vista fisicoquímico, la leche es un fluido muy complejo. Los constituyentes de la leche se presentan en tres fases. Cuantitativamente, la mayor parte de la masa de leche corresponde a una solución verdadera de lactosa, sales orgánicas e inorgánicas, vitaminas y otras moléculas pequeñas en agua. En esta solución acuosa se encuentran proteínas dispersas, algunas a nivel molecular (las sueroproteínas) y otras organizadas en grandes agregados coloidales, cuyos diámetros varían de 50 a 600 nm (las caseínas), que coexisten con lípidos emulsionados, en glóbulos con diámetros que van de 0,1 a 20 μ m (Alais, 1985; Chandan, 2006; Fox et al., 2003; Fox et al., 2015; Spreer, 1998). En la Figura 4.1 se muestra un esquema simplificado de las distintas fases que se presentan en una leche tal cual.

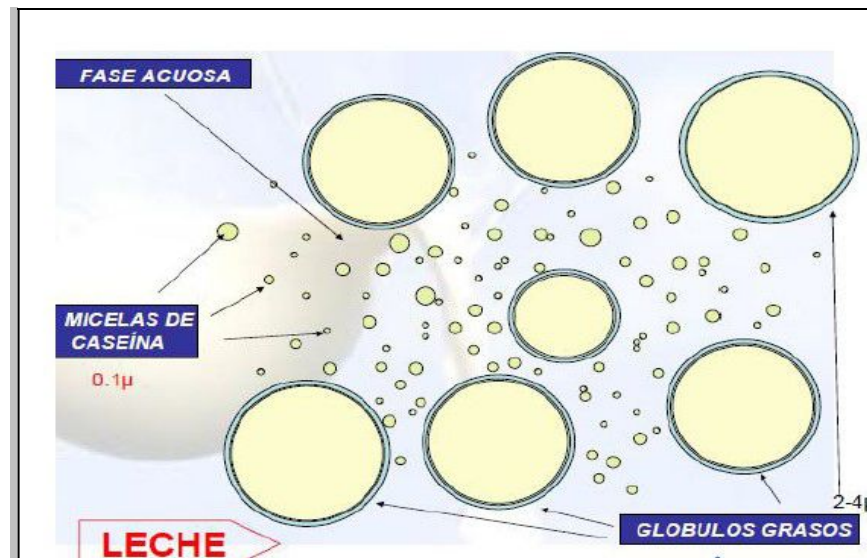


Figura 4.1: Esquema sobre las distintas fases de la leche

Como puede verse, el tamaño de las partículas que componen cada una de las fases es diferente, y su rango de variación se presenta en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1: Estado físico y distribución por tamaño de las partículas en la leche.

Compartimento	Tamaño, Diámetro (nm)	Tipo de partículas
Emulsión	2000-6000	Glóbulos grasos
Dispersión coloidal	50-300	Caseína-fosfato de calcio
	4-6	Proteínas de suero
Solución Verdadera	0,5	Lactosa, sales y otras sustancias.

Fuente: Chandan, 2006

Cabe destacar que el conocimiento de la química coloidal es fundamental en el estudio de la leche, por ejemplo, sus propiedades reológicas, la estabilidad de las fases, etc. (Fox et al., 2015).

La leche es un sistema dinámico debido a la inestabilidad de muchas de sus estructuras. En efecto, se pueden presentar cambios en la solubilidad de sus componentes debido a factores como el pH y la temperatura, sobre todo en sales y proteínas. Asimismo, la presencia de algunas enzimas puede generar proteólisis, lipólisis u oxidación/reducción (Fox y McSweeney, 1998).

4.1 COMPOSICIÓN DE LA LECHE

La composición de la leche depende de diversos factores tales como: la individualidad del animal, etapa de lactación, intervalos entre lactancias, ordeño completo, frecuencia de ordeño, lactancia irregular, porción de ordeño, diferentes cuartos de la ubre, estación del año, la alimentación, la raza, la edad, el estadio de lactancia, la salud del animal, rendimiento lechero entre otros (Chandan, 2006).

Tabla 4.2: Composición aproximada de leche bovina (Walstra et al.,2006)

Componente	Contenido promedio en leche (%w/w)	Rango (%w/w)
Agua	87,1	85,3-88,7
Sólidos no graso	8,9	7,9-10,0
Grasa en materia seca	31	22-38
Lactosa	4,6	3,8-5,3
Grasa	4,0	2,5-5,5
Proteína	3,3	2,4-4,4
Caseína	2,6	1,7-3,5
Minerales	0,7	0,57-0,83
Ácidos orgánicos	0,17	0,12-0,21
Micelanos	0,15	-

(Walstra et al.,2006)

El contenido de todos los componentes de la leche, con excepción del agua, se denomina materia seca y, a su vez, dentro de este grupo se diferencian los sólidos no grasos, del contenido de grasa en la materia seca (Tabla 4.2).

Por otro lado, en muchos casos, cuando se alude a la fracción nitrogenada, es común hacer una discriminación entre el nitrógeno proteico (componente de las proteínas) y el nitrógeno no proteico (designado como NPN). En la Figura 4.2 se puede apreciar una clasificación típica de los principales componentes de la leche.

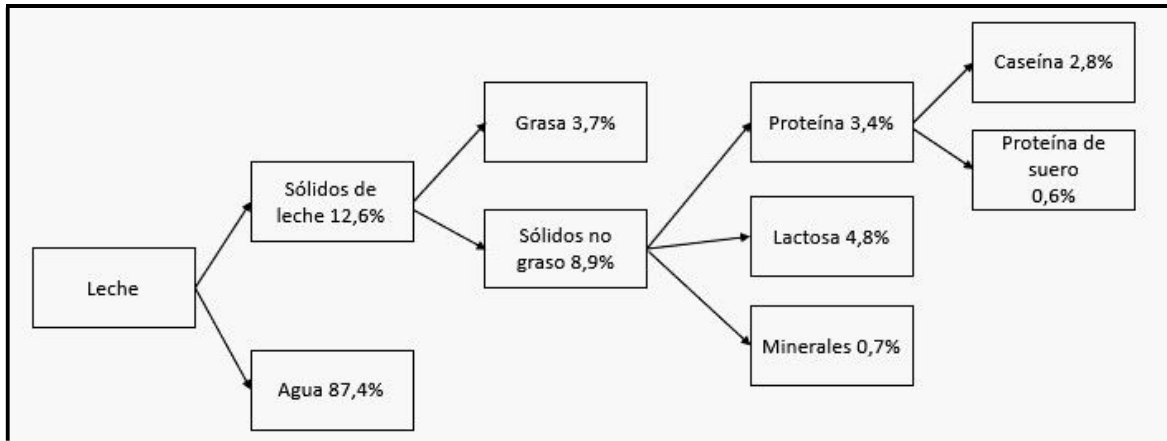


Figura 4.2: Clasificación de los principales constituyentes de la leche (Miller et al., 2007)

4.2 PRINCIPALES COMPONENTES DE LA LECHE

4.2.1 Agua

El agua es el componente mayoritario de la leche, su principal función es la de disolver los demás componentes. Sin embargo, en algunos derivados lácteos concentrados o deshidratados, tales como la mantequilla, queso, o leche en polvo, adquieren relevancia otros estados como ser el agua ligada químicamente a otros compuestos, como, por ejemplo, el agua de hidratación a las proteínas o a los cristales de lactosa, pudiendo existir también como agua libre, según sea el tenor de humedad del producto. El contenido total de agua influye principalmente sobre la textura y sobre las propiedades físicas y mecánicas de los alimentos (Spreer, 1991).

4.2.2 Proteínas en la leche

Son macromoléculas formadas por aminoácidos unidos por enlace peptídico. La leche bovina normal posee alrededor de 3,5% de proteína en su composición. Esta concentración varía con el tiempo de lactación sobre todo en los primeros días postparto. Los principales cambios se observan en la proteína del suero (Figura 4.3). La función principal de la proteína de la leche es

proveer a las crías de aminoácidos esenciales necesarios para el desarrollo muscular y de otros tejidos, o de proteínas biológicamente activas como inmunoglobulinas, etc. (Fox y McSweeney, 1998).

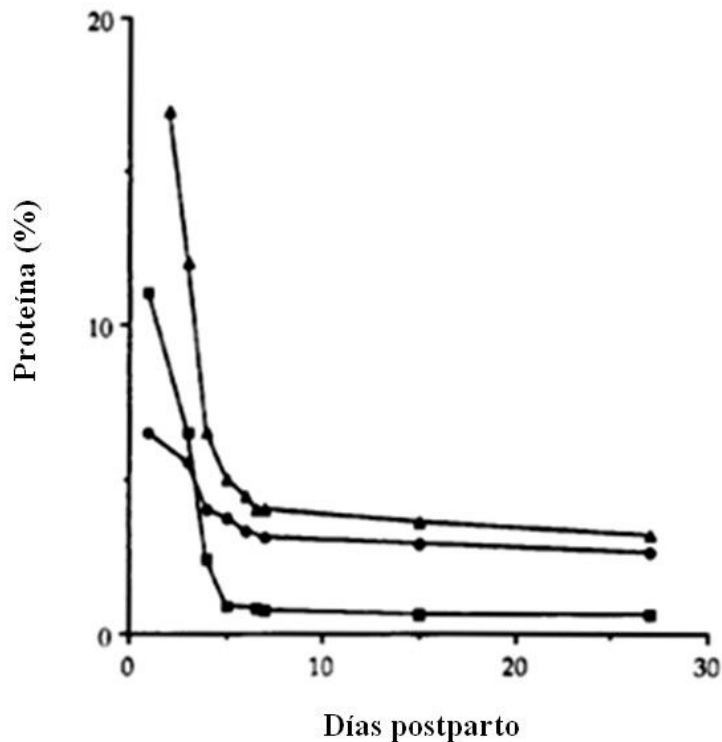


Figura 4.3: Cambios en los porcentajes de proteína total (Δ), caseína (●) y proteína de suero (■) en la leche bovina en las primeras etapas de lactación (Fox y McSweeney, 1998)

Inicialmente se creía que existía un solo tipo de proteína, pero hoy en día se pueden distinguir dos grupos bien definidos; una fracción de caseína la cual precipita a una temperatura de 30 °C a un pH de 4,6; y el otro grupo referente a la proteína de suero y también como nitrógeno no caseínico (Chandan, 2003; Fox y McSweeney, 1998).

Las caseínas representan alrededor del 80% del total de las proteínas, mientras que el 20 % restante corresponde a las proteínas de suero, tal como se muestra en la Tabla 4.3 (Chandan, 2006; Fox, 2003; Alais, 1988; Spreer, 1991; Fox et al, 2015).

Tabla 4.3: Distribución promedio y origen de las principales proteínas de la leche bovina

Origen y distribución media de las proteínas de la leche (Método de fraccionamiento de ASCHIAFFEMBURG y DREWRY, 1959)			
<i>Proteínas (95 % de las sustancias nitrogenadas totales de la leche)</i>	<i>Distribución</i>		<i>Origen</i>
	<i>En % de proteínas totales</i>	<i>En gramos por litro de leche</i>	
Caséínas	80	26	mamario
Proteínas del suero lácteo:			
Inmunoglobulinas..... (Euglobulina y Pseudoglobulina)	2	0,7	sanguíneo
Albúminas	15	4,5	—
β -lactoglobulina.....	—	—	mamario
α -lactoalbúmina.....	—	—	mamario
Seroalbúmina.....	—	—	sanguíneo
Proteosomas-peptonas.....	2	0,5	—
Proteínas menores..... (Lactotransferrina, lactolina, proteína de la membrana del glóbulo graso).	1	0,3	—

La fracción caseínica está compuesta por cuatro caseínas conocidas como α_{s1} , α_{s2} , β y κ , las cuales se encuentran en una proporción aproximada del 38%, 10%, 36% y 15%, respectivamente, del total. Por su parte, las proteínas del suero, están mayoritariamente constituidas por la β -lactoglobulina (β -Lg) y la α -lactoalbúmina (α -La) las que constituyen el 50% y 20% respectivamente, del total. El 30% restante se reparte entre otras proteínas minoritarias, tales como Seroalbúmina bovina (SAB), Inmunoglobulinas (Ig) y Lactoferrina (Tf), las cuales son transferidas desde la sangre, Proteosa Peptonas (PP), etc.

4.2.2.1 Caseínas

La caseína entera es un complejo de proteínas fosforadas y constituye la parte nitrogenada más característica de la leche; no existe ninguna sustancia parecida ni en la sangre, ni en los tejidos de los mamíferos (Candioti, 1998). Estas proteínas contienen un promedio de 0,85% de fósforo. Los grupos fosfato son los responsables de importantes características en las caseínas, especialmente para ligar grandes cantidades de calcio, generando un gran valor nutricional. Los grupos fosfato (fosfato orgánico) están unidos a las caseínas a través de la Serina, mientras que el fósforo inorgánico se encuentra asociado a las caseínas en forma de fosfato de calcio coloidal (cerca de 57% de fósforo inorgánico). La importancia del fosfato en la caseína es que cumple un

roll fundamental en la estabilidad al calor y a la acción enzimática (Walstra et al., 2006 y Fox y McSweeney, 1998; Spreer, 1991; Fox et al., 2015).

A través de estudios electroforéticos realizados sobre las proteínas de la leche, se han identificado las caseínas α_1 , α_2 , β , κ y los residuos γ_1 , γ_2 , γ_3 (provenientes de la degradación de β caseína, que se encuentran en muy escasa proporción), las cuales contienen del 76 al 80% del nitrógeno total de la leche (Alais Ch., 1985; Wastra P. et al., 2006; Fox P.F. et al., 2015).

Si bien estos distintos tipos de caseína han sido identificados en todas las especies mamíferas estudiadas hasta el momento, su proporción difiere ampliamente, como se observa en la Figura 4.4, aunque, a nivel estructural, las micelas que conformas son similares (Farrell et al., 2006; Martin et al., 2011; Wang et al., 2017).

A su vez, cabe señalar que, aún dentro de una misma especie, estas cuatro caseínas, α_1 - α_2 -, β - and κ -, no son proteínas homogéneas, por cuanto presentan pequeñas variaciones conocidas como *microheterogeneidad*. Esta particularidad pueden deberse a: variabilidad en el grado de fosforilación, en el nivel de glicosilación (sólo para κ -caseína, que es la única caseína que posee un complejo glucídico, compuesto por ácido N-acetilneuramínico, galactosa y N-acetilgalactosamina, localizado, principalmente, en el resto Treonina₁₃₃), en la cantidad de puentes disulfuro, en la susceptibilidad al ataque de la plasmina (principal proteasa nativa de la leche) y en el polimorfismo genético, debido a la sustitución o ausencia de uno o más aminoácidos de la cadena (Jakob, E., y Puhan, Z., 1992; Ng-Kwai-Hang, K. F. y Grosclaude, F.,1992; Ng-Kwai-Hang, K. F. y Grosclaude, F.,2003; Martin et al., 2013a; Martin et al., 2013b; Fox et al., 2015).

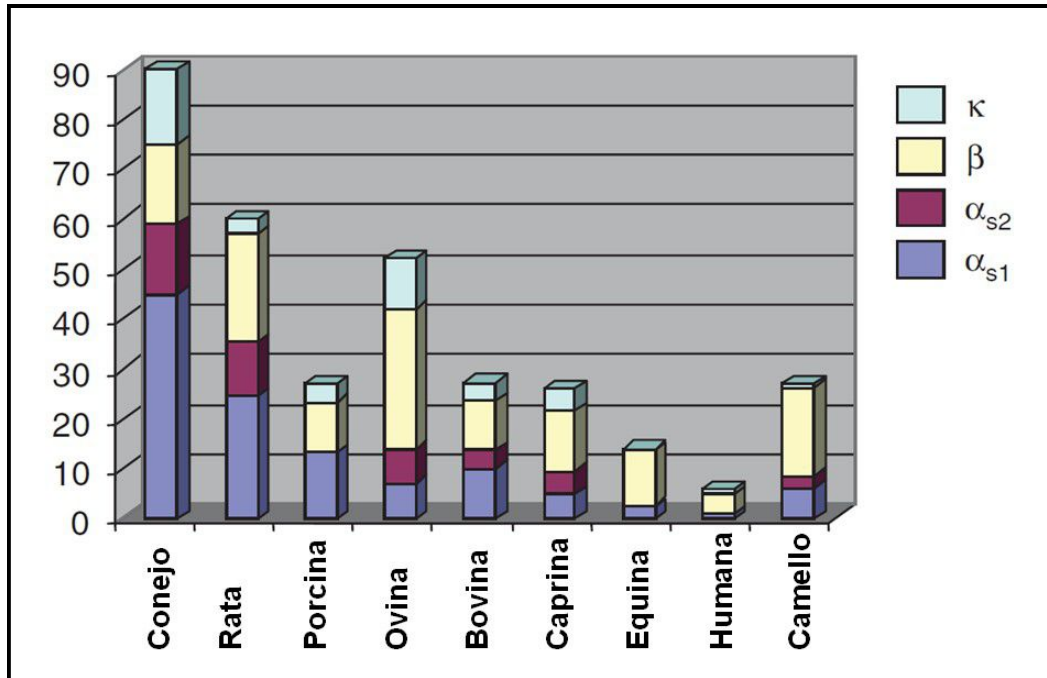


Figura 4.4: Relación comparativa de las caseínas correspondientes a nueve especies. Valores medio obtenidos a partir de diversas fuentes bibliográficas. El porcentaje de α_{s1} caseína referido a la leche porcina corresponde a la α_s caseína ($\alpha_{s1} + \alpha_{s2}$).

Estas caseínas, en presencia de iones calcio, se asocian espontáneamente de un modo muy especial que conduce a la formación de partículas complejas conocidas como micelas. En efecto, dado que las caseínas α_{s1} , α_{s2} y β son sensibles a los iones Ca^{+2} naturalmente presente en la fase acuosa de la leche, a diferencia de la κ -caseína que es insensible, en su estado nativo, dichas proteínas se encuentran organizadas en partículas coloidales, aproximadamente esféricas, mediante lo cual aseguran su estabilidad en dicha fase (Alais, 1985; Swaisgood, 2003; Horne, 2011; Fox y McSweeney, 1998; Wastra et al., 2006; Fox et al., 2015; Horne, 2006; Ferradini et al., 2006). A través de microscopía electrónica se puede observar que, en general, las micelas de caseína, poseen un diámetro que puede ir desde 50 a 500 nm, y su peso molecular está en el orden de 10^6 a 10^9 Da (Singh et al., 2014).

¿Cómo están formadas las micelas?

Esencialmente, son agregados porosos, constituidos por un 92% de caseína (contienen el 80% de la proteína total de la leche) que poseen un alto grado de hidratación (aproximadamente $2\text{g H}_2\text{Og}^{-1}$ de proteína), e incluyen una importante carga mineral (alrededor del 8%), comúnmente conocida como fosfato de calcio coloidal o CCP (acrónimo del inglés, *coloidal calcium phosphate*), constituida principalmente por calcio, fosfato, magnesio, citrato y otros compuestos en cantidad traza (Fox y McSweeney, 1998; De Kruif y Holt, 2003; Ferradini et al., 2006).

Durante más de cincuenta años, se han estudiado y postulado diferentes teorías y modelos tendientes a explicar la estructura y estabilidad de las micelas caseínas en la leche. Los modelos tradicionales más aceptados han descripto a la micela como un conjunto de submicelas unidas por puentes de fosfato de calcio coloidal y otras interacciones (Schmidt, 1980; Alais, 1985; Walstra, 1986). Si bien este modelo explica los fenómenos observados experimentalmente de una manera fácil y lógica, resultados obtenidos más recientemente, introducen dudas que cuestionan la existencia de las submicelas, así como la localización y el rol que desempeña el fosfato de calcio dentro de las micelas. En efecto, hay crecientes evidencias de que la estructura micelar no está conformada por submicelas, sino que más bien se trata de un entramado o red proteica flexible, aproximadamente esférico, más o menos homogéneo, fuertemente hidratado y mineralizado, formado por la asociación de moléculas de caseínas individuales generada por su interacción con partículas de fosfato cálcico coloidal de tamaño nanométrico (nanoclusters). De este modo, la estructura micelar sería menos organizada, más abierta, laxa y fluida, a lo que algunos autores denominan “bola de spaghetti”. (Ferradini et al., 2006).

Uno de los primeros en formular esta teoría fue Holt (1992, 1994), quien describió la micela como una red enmarañada de moléculas de caseína flexibles, formando una estructura parecida a un gel, integrada por gránulos de fosfato de calcio, y que posee una capa superficial de pelos hidrofílicos de κ -caseína, como se muestra en la Figura 4.5 (Fox et al., 2015).

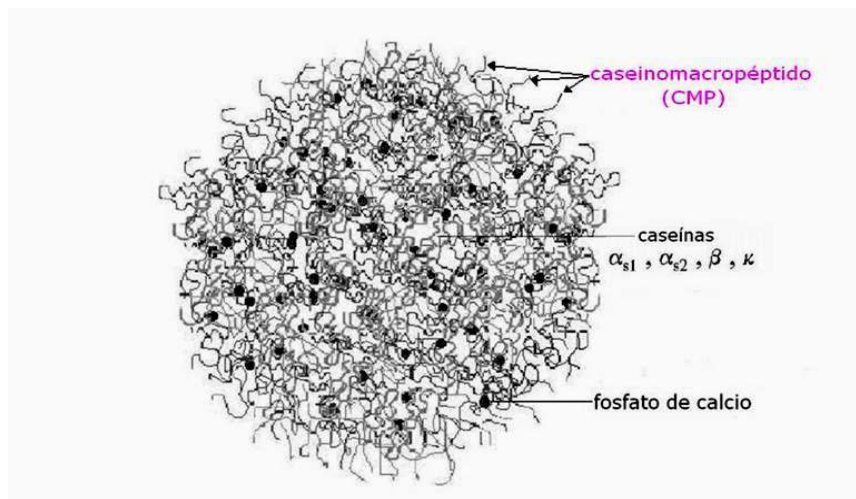


Figura 4.5: Estructura micelar basada en el Modelo de Holt

En el núcleo, las cadenas polipeptídicas están parcialmente entrecruzadas por los nanogránulos de fosfato de calcio, calcio (que constituyen el centro de crecimiento de la micela), mientras que, en la región externa, quedan expuestos al medio los segmentos hidrofílicos de las κ -caseína (extremo C-terminal), denominado Caseinomacropéptido (CMP). Esta disposición, conocida como “capa pilosa” confiere a la micela estabilidad de carga y/o estérica, impidiendo así su interacción con las partículas vecinas.

Si bien este modelo justifica el reducido diámetro (unos pocos nanómetros) de las regiones de fosfato de calcio observadas por Knoop et al., (1973) en el interior de las micelas, no explica la formación de la capa pilosa ni la reducida presencia de κ -caseína en el interior de las micelas (a pesar de su fuerte tendencia a asociarse entre sí).

Intentando dar respuesta a algunos interrogantes, Horne (1998), propone el “Modelo de unión dual (o “Modelo de doble unión”), el cual podría considerarse como una extensión del modelo de estructura interna de Holt. A diferencia de este último, Horne estima que las interacciones proteína-proteína son esenciales y sostiene que la naturaleza anfifílica de las caseínas es la responsable de la polimerización y estructuración micelar (Horne, 2011) (Figura 4.6). En este modelo, las uniones hidrofóbicas serían las responsables de la fuerza de atracción que contribuye a la formación y estabilización de la micela, mientras que las repulsiones de tipo electrostático serían las limitantes del crecimiento ininterrumpido de la misma. Asimismo, Horne

considera al fosfato de calcio, no como un “cementante”, sino más bien como modulador de la función del Ca^{2+} y del fosfato de la micela, lo cual justifica el hecho de que el CCP se pueda extraer fácilmente de las micelas de caseína mediante acidificación de la leche a temperaturas por debajo de 20°C sin producir una alteración aparente de la estructura micelar, o bien que la adición de urea induzca a la disociación de la micela caseínica sin disolución del CCP.

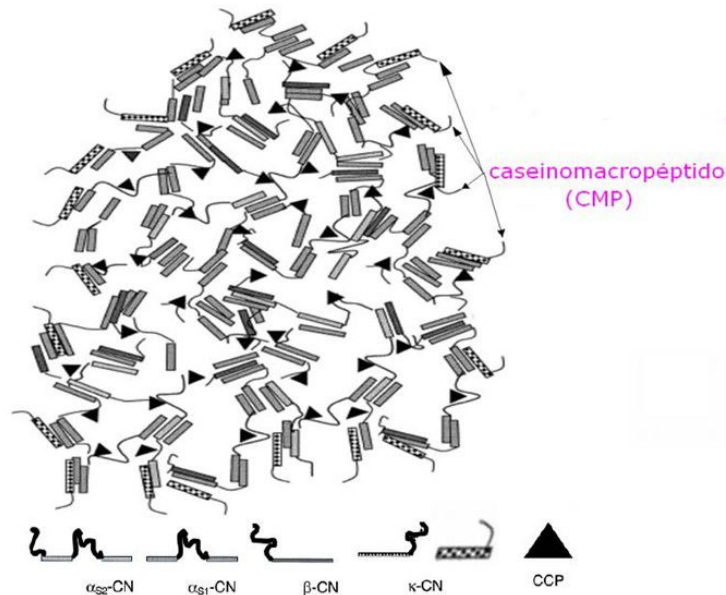


Figura 4.6: Asociaciones entre caseínas según el modelo propuesto por Horne.

En la parte inferior se pueden apreciar las regiones hidrofóbicas (trazos claros, horizontales) e hidrofílicas (trazos oscuros, elevados) identificados, para cada caseína, responsables de las interacciones que mantienen la estructura. Las regiones hidrofílicas, que contienen los clusters de fosfoserina, se proyectan hacia la fase acuosa. A su vez, la κ -caseína, que no posee cluster de fosfoserina, se proyecta hacia la fase acuosa. A su vez, la κ -caseína, que no posee cluster de fosfoserina, no es sensible a la presencia de ion Ca^{+2} , pero su extremo C-terminal (región correspondiente al carboxilo terminal) es muy hidrofílica (contiene glúcidos y algunos residuos de Treonina), naturalmente irá ocupando, las posiciones más superficiales, en forma preferencial.

El modelo propuesto por Horne constituye una buena herramienta para profundizar en el análisis y comprensión de algunos de los fenómenos físicos y reológicos más complejos, y de mayor transcendencia funcional, que caracterizan a los geles lácteos.

Por otro lado, basándose en los avances más recientes, Dalglish postula que, habida cuenta de la aleatoriedad que presenta arquitectura interna de la micela de caseína (derivada de las interacciones hidrofóbicas entre sus proteínas), es improbable que el agua se distribuya uniformemente en el interior de la misma. En virtud de ello, propone la existencia de cavidades y canales en toda la estructura de la micela, como se muestra en la Figura 4.7 (Dalglish y Corredig, 2012).

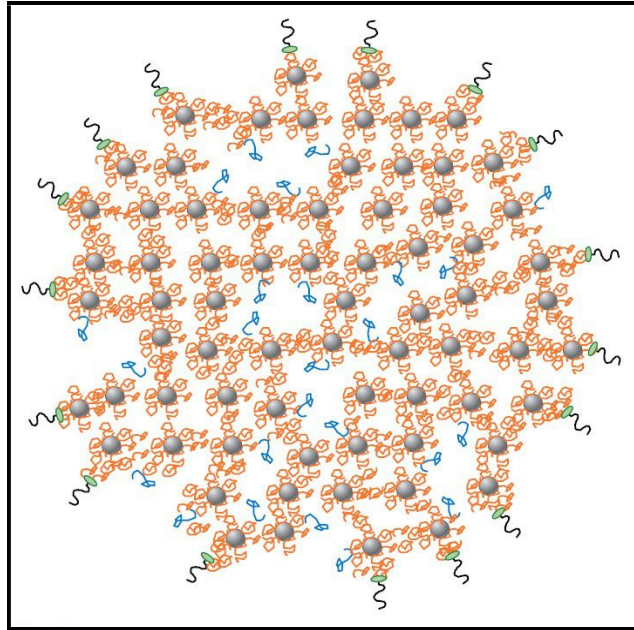


Figura 4.7: Representación esquemática de una micela de caseína mostrando las regiones en las que puede retener el agua de hidratación. Las caseínas α - y β - (en anaranjado) están unidas y ligan nanocluster de fosfato de calcio (esferas grises). Algunas β -caseína (azul) se unen hidrofóbicamente a otras caseínas y puede eliminarse por enfriamiento. La para- κ -caseína (verde) y las cadenas de caseinomacropeptido (negro) están en las partes más externas de la superficie, proveyendo estabilidad estérica al impedir que las micelas se acerquen unas a otras. (Esquema no realizado a escala, en el cual los canales de agua han sido exagerados para tener una mejor apreciación).

En la Figura 4.8 se puede apreciar una micrografía electrónica de una micela de caseína individual (Dalglish et al., 2004).

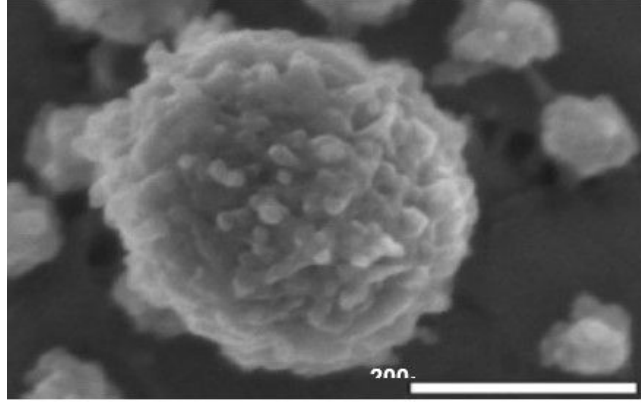


Figura 4.8: Micrografía electrónica de una micela de caseína individual. Las partículas más pequeñas pueden corresponder a fracciones disociadas. La barra de escala (trazo blanco) representa 200 nm (Dalglish et al., 2004).

Cabe mencionar que, las características del complejo caseínico dependen también con la especie. En efecto, además de las diferencias composicionales, ya mencionadas, las micelas exhiben distintos tamaños según el tipo de leche, como, por ejemplo, en la leche de cabra son mayores que en la de vaca y éstas, a su vez, mayores que en humana (Wang et al., 2017).

Las caseínas se distinguen de las demás proteínas de la leche por el hecho de coagular bajo la acción del cuajo o de una acidificación a pH próximo a 4,6, por lo que a la caseína entera también se la ha denominado “*proteína insoluble*” (Alais, 1985; Fox y McSweeney, 1998; Wastra et al., 2006; Fox et al, 2015).

Cabe destacar que, el adecuado conocimiento del estado micelar de la caseína y los factores que afectan su estabilidad en la leche, constituye la base de las tecnologías que tienen por objetivo producir su desestabilización, como ocurre en la elaboración de queso o yogur.

- ***Desestabilización ácida de la micela de caseína***

Básicamente consiste en precipitar las caseínas disminuyendo el pH de la leche hasta el punto isoelectrico de las mismas; 4,60 (Fox, 2003), lo cual da lugar a la formación de un gel que ocupa todo su volumen. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que esta inestabilidad por pH se encuentra fuertemente influenciada por la temperatura, por cuanto se ha encontrado que, a menos de 5°C, la precipitación prácticamente no ocurre, y sólo se forman finos que quedan en

suspensión y aumentan ligeramente la viscosidad (Walstra et al., 1999) mientras que a altas temperaturas la caseína puede precipitar en un rango de pH que puede ir desde 3,0 a 5,5.

Dado que a $\text{pH} < 5.0$, las micelas pierden su carga mineral (por disolución del fosfato de calcio coloidal), algunos investigadores asumen que éstas ya no pueden mantener su estructura original (Figura 4.9).

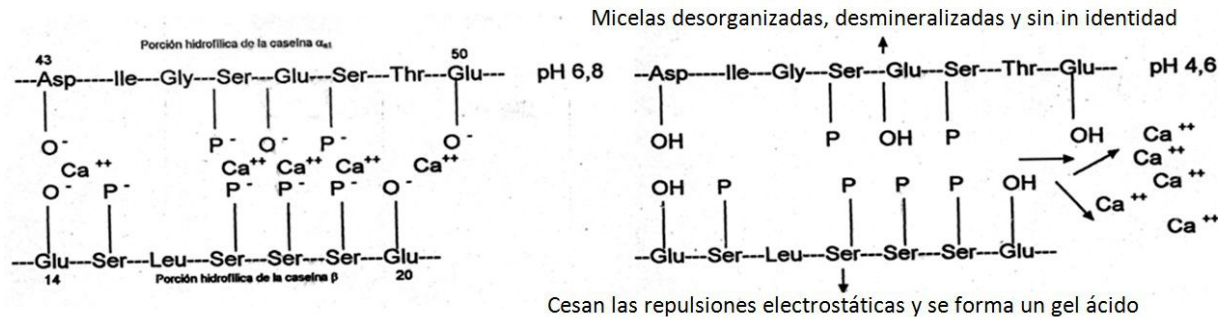


Figura 4.9: Representación esquemática del proceso de desestabilización ácida de la leche.

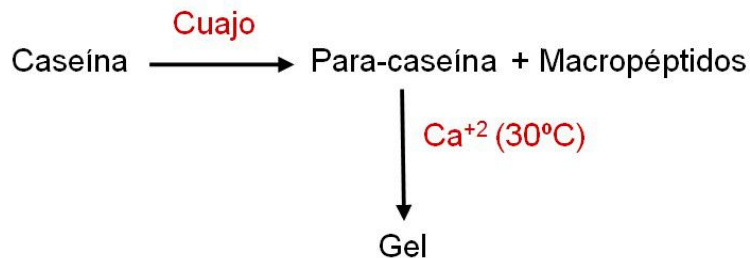
Por el contrario, otros autores, afirman que aún desmineralizadas, las micelas pueden permanecer como tales y asociadas, probablemente debido a la disminución de la carga o por un aumento en las interacciones hidrofóbicas. En este sentido, se ha demostrado que, aún después de la coagulación ácida, las micelas mantienen su apariencia por horas o días (Fox, 2003).

En lo que respecta a las características del gel obtenido, al ser relativamente frágiles las fuerzas que mantienen ligadas a sus unidades (interacciones de naturaleza electrostática e hidrofóbica), un coágulo ácido resulta friable, y carente de fuerza de contracción, no apto para la caseificación (Zalazar, 1994).

- *Coagulación enzimática de la leche*

La coagulación enzimática de la leche involucra una modificación de las micelas de caseína llevada a cabo por proteasas seleccionadas, comúnmente llamadas cuajo. Estas enzimas producen de una proteólisis limitada catalizando la ruptura del enlace peptídico entre los aminoácidos fenilalanina en la posición 105 (Fen105) y metionina en la posición 106 (Met106), de la κ -caseína, dando como resultado Para-caseína y Macro-péptidos, lo cual se conoce como Fase primaria. A continuación, se produce una agregación de las micelas alteradas, inducida por

la presencia de calcio, primero en flóculos y luego en fibras, dando lugar a la formación de una red tridimensional, cuya estructura se desarrolla progresivamente. Esta etapa es denominada Fase secundaria de la coagulación enzimática. Esquemáticamente se puede representar:



Cabe destacar que, aunque los glóbulos de grasa quedan ocluidos en la matriz del gel, no participan en su formación.

Durante la *Fase primaria*, se produce una profunda modificación en la organización micelar, debido a la acción específica ejercida por el cuajo sobre la κ -caseína. En efecto, como ya se mencionó, dada su insensibilidad a los iones Ca^{+2} (a diferencia de las caseínas α_{S1} , α_{S2} y β), esta proteína se localiza preferentemente en la superficie de las micelas (orientando su región hidrofílica al medio), ejerciendo un rol de coloide protector sobre las mismas. En forma muy sintética se puede decir que cuando el cuajo hidroliza el enlace peptídico $\text{Fen}_{105}\text{-Met}_{106}$, de la κ -caseína, se libera ese segmento hidrofílico κ -caseína (f106-169), conocido como Glicomacropéptido (GMP) ó Caseíno-macropéptido (CMP), mientras que el resto de la molécula, denominado para- κ -caseína permanece unida a la micela. Bajo estas condiciones, se pierde el efecto protector que la κ -caseína ejerce sobre las micelas, quedando expuestas las zonas sensibles al calcio Ca^{+2} por lo que, en presencia de éste, comienzan a agregarse espontáneamente, dando como resultado en un gel que abarca la totalidad del volumen reaccionante. Es importante destacar que, a estas uniones intermicelares a través de iones Ca^{+2} , se suman interacciones hidrofóbicas propiciadas por la reducción, tanto en la carga superficial como en la estabilización estérica, que produce la hidrólisis de la κ -caseína (Johnson y Law, 2010; Spreer, 1991; Veisseyre, 1988).

En la Figura 4.10, se puede apreciar una representación esquemática del fenómeno de coagulación de la leche, conjuntamente con su incidencia en la viscosidad de la misma.

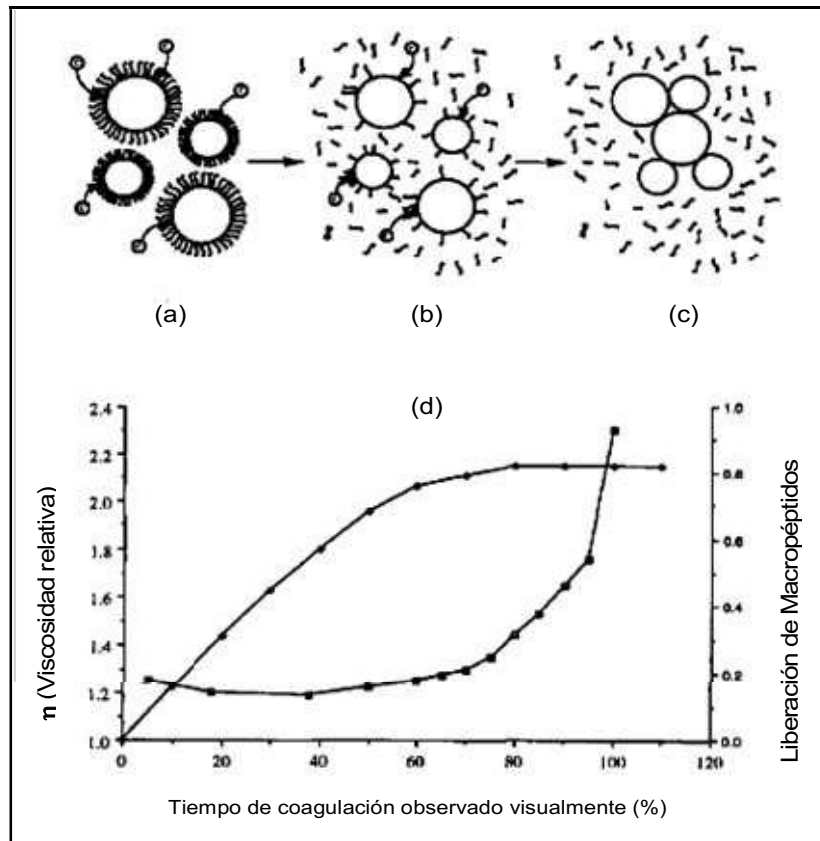


Figura 4.10: Representación esquemática de la coagulación de la leche. (a) Micelas de caseína con recubrimiento de κ -caseína intacta, siendo atacadas por quimosina. (b) Micelas con la κ -caseína parcialmente hidrolizada. (c) Micelas con la κ -caseína extensamente hidrolizada, en proceso de agregación. (d) Liberación de macropéptidos (\blacklozenge) y cambios en la viscosidad (\blacksquare) durante el curso de la coagulación enzimática.

- *Estabilidad al calor de las caseínas*

Las caseínas son muy estables al calor, por lo que se requieren tratamientos a temperaturas y tiempos muy elevados para lograr su desestabilización (Alais, 1985; Fox y McSweeney, 1998; Walstra et al., 2006; Horne, 2011, Fox et al., 2015). A modo de ejemplo, en la Figura 4.11 se pueden apreciar algunas combinaciones de temperatura y tiempo, que conducen a la floculación de la caseína.

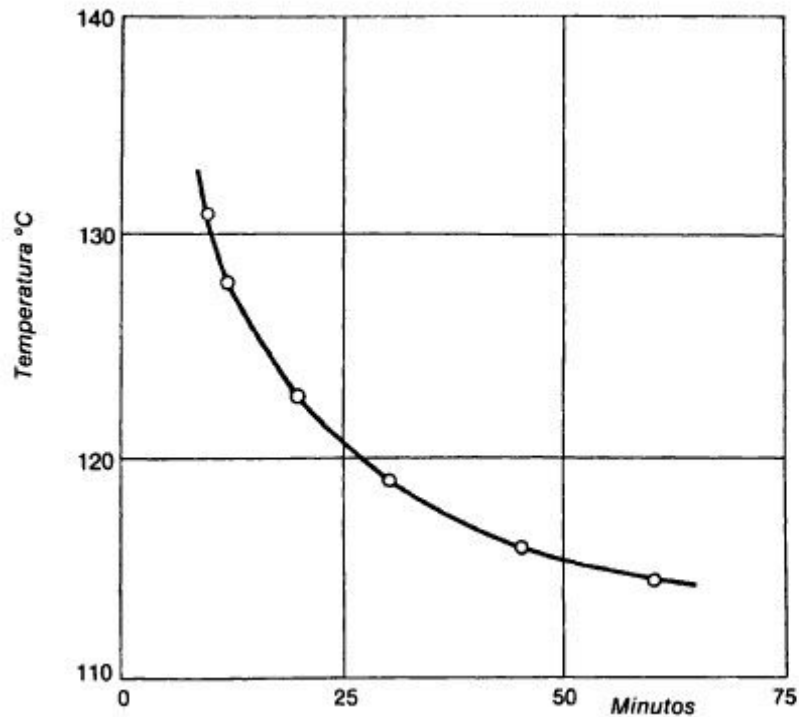


Figura 4.11: Floculación de la caseína nativa, en función de las condiciones de calentamiento de la leche (valores medios para una leche de vaca fresca y normal)

Es importante destacar que el efecto de los tratamientos térmicos sobre la desestabilización de las caseínas se encuentra fuertemente influenciado por otros factores tales como la presencia iones minerales, el pH de la leche, presencia de proteínas del suero, agentes quelantes, etc. (Fox, 2015). Por ejemplo, existe una concentración crítica de iones Ca^{+2} que provoca un descenso en la curva precedente. Análogamente, se ha demostrado, a través de numerosos estudios, que, para la mayoría de las leches bovinas, el tiempo de coagulación térmica, es ampliamente dependiente de su pH, tal como se puede observar en la Figura 4.12.

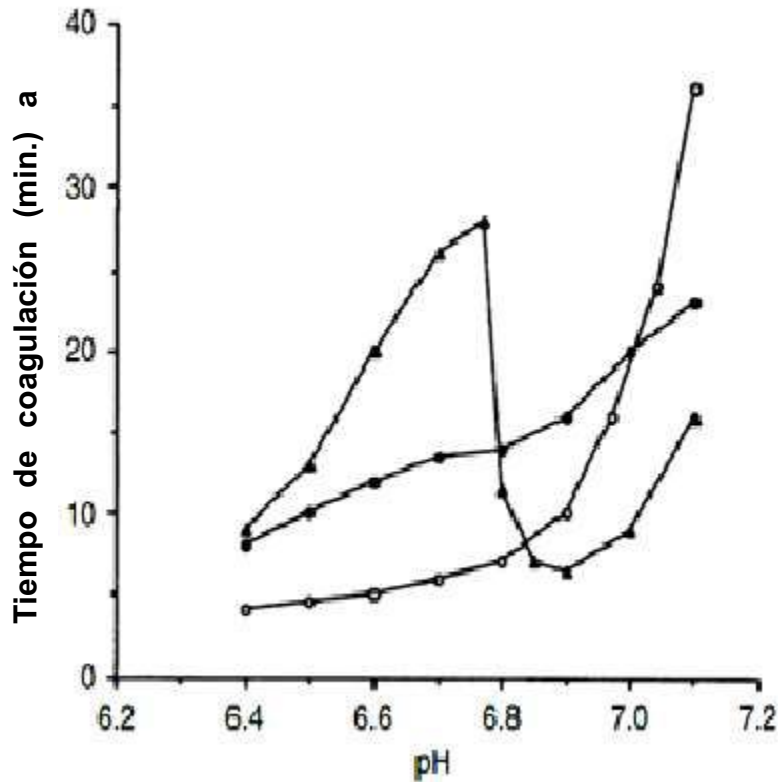


Figura 4.12: Efecto del pH sobre la estabilidad térmica de: leche tipo A (▲), leche tipo B (●) y dispersiones de micelas de caseína exentas de proteínas de suero (○) (Fox, 1982).

Las leches tipo A corresponden a mezclas muy dependientes del pH. Para éstas, se observa que su estabilidad térmica aumenta en un rango de pH de 6,4 a ~6,7, luego disminuye abruptamente a un mínimo a pH ~6,9, y luego vuelve a elevarse para incrementos adicionales del pH, mientras que por debajo de pH 6,4 disminuye bruscamente.

La causa del máximo/mínimo en las curvas precedentes, ha atraído mucho la atención de los investigadores; la explicación actual es que al calentar la leche a $\text{pH} \leq 6.7$, la κ -caseína se disocia de las micelas. Si bien la β -lactoglobulina (proteína del suero) reduce la disociación de la κ -caseína, a valores de $\text{pH} > 6.7$, se acentúa la disociación (Singh y Fox 1987).

Sin embargo, existen leches provenientes de vacas individuales, denominadas tipo B, cuya estabilidad térmica aumenta continuamente al elevarse el pH, lo que sería de esperar, por cuanto al subir el pH, se produce un aumento de la carga de proteína y, por ende, en las repulsiones electrostáticas.

Cabe mencionar que la coagulación térmica, en el rango de pH de mínima estabilidad, implica la agregación de micelas deficientes en κ -caseína de una manera algo similar a la coagulación enzimática, aunque el mecanismo mediante el cual se alteran las micelas es muy diferente (O'Connell y Fox 2000).

En la Figura 4.12 también puede observarse la influencia que ejerce la presencia de las proteínas del suero. En efecto, se ha demostrado que la β -lactoglobulina, y probablemente α -lactoalbúmina, aumentan la estabilidad de las micelas de caseína en el rango de pH 6.4-6.7, pero la reducen a pH 6.7-7.0, de hecho, la aparición de un máximo o un mínimo depende de la presencia de β -lactoglobulina.

Tal como podría esperarse, un calentamiento de la leche a 140°C por un tiempo prolongado, conduce a significativos cambios físicos y químicos como, por ejemplo: una disminución del pH (a tiempos ≥ 20 min.), precipitación de fosfato tricálcico ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), descomposición de la lactosa, desfosforilación de las caseínas, reacciones de Maillard, hidrólisis de las caseínas, etc. (O'Connell y Fox 2003).

4.2.2.2 Proteínas del Suero

Las proteínas del lactosuero o sueroproteínas, se definen como las sustancias nitrogenadas, no dializables, contenidas en el “suero isoelectrico” (obtenido tras la precipitación de las caseínas a pH 4,7) o bien en el “suero enzimático”, es decir el suero resultante de la coagulación enzimática de la caseína (aunque este último también contiene el caseinomacropéptido) (Alvarado, 2010). Como ya se mencionó previamente, estas proteínas, representan alrededor del 20% del total proteico de la leche y el 98% de las sustancias nitrogenadas solubles, lo que equivale a unos 6 g L⁻¹ de leche.

Las proteínas del suero tienen un gran valor fisiológico y nutritivo debido a que a que su valor biológico es de 124. Comparativamente con la caseína que tiene un valor biológico de 73 y la leche de 88 (Spreer, 1991). El gran valor nutritivo de estas proteínas se conoce desde hace mucho tiempo y se deriva de una composición en aminoácidos muy favorable, especialmente el contenido de ácidos sulfurados, lisina y triptófano; por esta causa corrigen las deficiencias de la caseína, sobre todo en lo referente a la cisteína (Alais, 1985; Spreer, 1991; Riofrío, 2014).

Las cuatro proteínas principales del lactosuero son: β -lactoglobulina (50%), α -lactoalbúmina (20%), seroalbúmina (10%) e inmunoglobulinas (10%), siendo estas dos últimas de origen sanguíneo. A diferencia de las caseínas, estas proteínas no contienen nada o casi nada de fósforo (lo que les confiere insensibilidad al Ca^{2+}) y poseen altos niveles de estructura secundaria, terciaria y cuaternaria. Por su naturaleza albuminoidea y globulínica, estas proteínas se desnaturalizan a 90°C por 10 min (se insolubilizan completamente a $< 100^{\circ}\text{C}$) y precipitan casi en su totalidad con el ácido tricloroacético al 12%. (Fox et al., 2017; Guinee y Brien, 2010; Spreer, 1991).

- **β -Lactoglobulina (β -Lg)**

β -Lg es la principal proteína de suero en las leches bovina, ovina, caprina y búfala, aunque existen ligeras diferencias entre especies. No se encuentra en la leche humana, de ratas, ratones o cobayos, en las cuales α -lactoalbúmina es el principal sueroproteína. Si bien, hasta hace algunos años, se creía que β -Lg era producida sólo por los rumiantes, hoy se sabe que también está presente en la leche de cerda, yegua, canguro, delfín, manatí y otras especies (Fox, 2015).

En la leche bovina, β -Lg representa aproximadamente el 50% del total de proteínas del suero, o sea, el 12% de la proteína total de la leche. Se trata de una proteína globular típica, que ha sido objeto de profusos estudios (fue una de las primeras proteínas en cristalizarse) que han permitido caracterizar perfectamente su estructura (Hambling et al., 1992; Sawyer, 2003 y 2013; Fox, et al, 2015).

β -Lg es una molécula formada por una sola cadena proteica de 162 aminoácidos, con un peso molecular de ~ 18 KDa. Posee grupo tiol o grupo sulfhidrilo (-SH) y dos puentes disulfuro, la cual se encuentra fuertemente plegada sobre sí misma, manteniendo asegurada su estructura terciaria mediante dos puentes disulfuro (Spotti, 2013; Candioti, 1998).

Desde el punto de vista tecnológico, la β -lactoglobulina, reviste gran interés, por cuanto su grupo sulfhidrilo ha sido sindicado como el principal responsable del sabor a cocido que presentan las leches severamente calentadas. En efecto, en las proteínas nativas, los grupos -SH se encuentran enmascarados y, por ende, son poco reactivos, pero cuando una leche se somete a un tratamiento térmico superior a los 70°C , se produce una desnaturalización proteica que

conduce a la exposición de dichos grupos, volviéndose accesibles y, por consiguiente, reactivos (Alais, 1985; Walstra et al, 2006; Fox et al., 2015).

En la Figura 4.13, se observan distintos grados de exposición de residuos de sulfhidrilo (y/o disulfuro), resultantes de la desnaturalización térmica de las suero proteínas, cuando la leche se somete a distintos tratamientos.

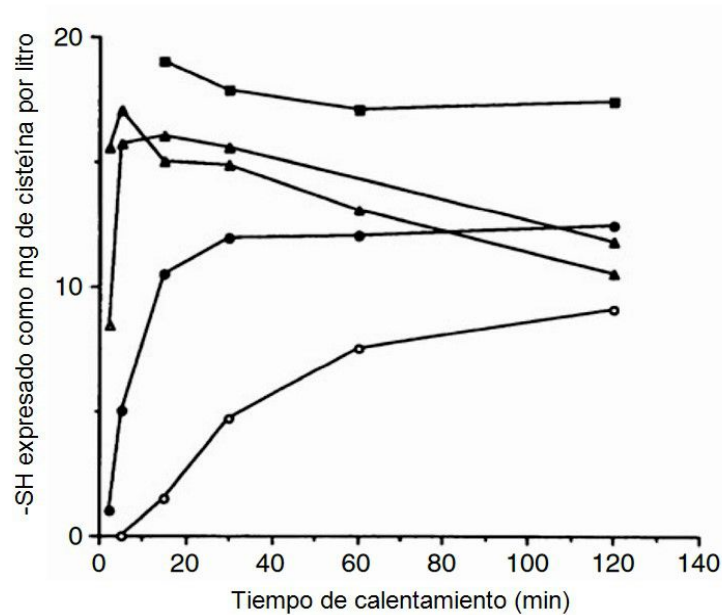


Figura 4.13: Exposición de grupos sulfhidrilo tras el calentamiento la leche a 75°C (○), 80°C (●), 85°C (Δ) o 95°C (▲); leche desaireada calentada a 85°C (■) (Jenness y Patton, 1959).

Así, luego de un calentamiento superior a 75°C por 15s, los grupos -SH de β -lactoglobulina que resultan activados, pueden interactuar con la κ -caseína (a través de un intercambio tiol-disulfuro) lo que afecta notablemente la aptitud a la coagulación enzimática de la leche, modificando la estructura del gel y, por consiguiente, las propiedades reológicas y sinérgicas de los productos derivados, tales como el yogur y los quesos frescos (Smith and Campbell, 2007; Fox et al, 2017). Así, por ejemplo, en el caso del yogur, se sabe que un tratamiento térmico previo de la leche a 85-90°C durante 10 min (ó a 120°C \times 2 min), aumenta considerablemente la firmeza y reduce la tendencia a la sinéresis de los geles ácidos. (Walstra et al, 2006; Fox et al, 2015).

- **α -lactoalbúmina (α -La)**

α -La representa aproximadamente el 20% de las proteínas de suero de leche bovina (~3,5% de proteína total de la leche total), mientras que en la leche humana es la principal proteína sérica.

α -La es una proteína ácida (su punto isoeléctrico es ~4,3), formada por 123 aminoácidos, con un peso molecular de 14,2 kDa. Posee una estructura secundaria poco organizada: 30% de α -hélice y 9% de hoja plegada β , lo que le confiere una gran flexibilidad. Sin embargo, la presencia del ión calcio y 4 puentes disulfuro mantienen su estructura elipsoidal compacta, la cual presenta una notable similitud con la de la lisozima (Kronman, 1989; Brew y Grobler, 1992; Fox y McSweeney, 1998; Brew, 2003 y 2013).

Cabe mencionar también que α -La cumple un importante papel biológico, puesto que interviene en la biosíntesis de la lactosa, adsorbiéndose a la galactosiltransferasa, para juntas transferir galactosa sobre glucosa (Brew y Grobler, 1992; Fox and McSweeney, 1998; Fox et al., 2015).

- **Lactoferrina**

Lactoferrina es una glicoproteína de 78 KDa, que consiste en una única cadena de polipéptidos unida a dos glicanos por enlaces N-glicosídicos. Su concentración promedio en la leche de vaca es de 10 mg L⁻¹, valor que incrementa sensiblemente en productos de proteína de suero de leche: 30-100 mg L⁻¹ (Page et al., 2014) Posee gran afinidad por iones metálicos, en especial el Fe⁺³, de lo que deriva su principal función biológica, que es la de vehicular dicho ión (Alais, 1985; Baró et al., 2001; Korhonen and Marnila, 2011; Fox et al., 2015).

4.2.3 LÍPIDOS

El contenido lipídico de la leche, es ampliamente variable, dado que el mismo puede oscilar entre ~2% y más del 50%, según la especie, tal como se puede observar en la Tabla 3.4 (Fox et al., 2017). Una leche bovina típica, contiene alrededor de 3,7% de grasa, aunque esta magnitud

puede variar significativamente entre 3 y 5%, dependiendo de la alimentación, salud, raza, estado de lactación, etc. De este modo, el tenor graso representa el parámetro de mayor fluctuación en una leche. (Fox et al., 2017; Guinee y Brien, 2010; Spreer, 1991). A modo de ejemplo, en la Figura 4.14 se muestra la variación del tenor graso en leches bovinas provenientes de cuatro razas distintas.

Tabla 4.4: Contenido de material grasa en leches de diferentes especies (gL^{-1}) (Christie, 1995)

Especie	Contenido grasa	Especie	Contenido grasa
Bovina	33-47	Mono Tití	77
Bufalina	47	Conejo	183
Ovina	40-99	Cobayo	39
Caprina	41-45	Liebre de las nieves	71
Buey almizclero	109	Rata almizclera	110
Oveja Dall	32-206	Visón	134
Alce	39-105	Chinchilla	117
Antílope	93	Rata	103
Elefante	85-190	Canguro rojo	9-119
Humana	38	Delfín	62-330
Equina	19	Manatí	55-215
Monos	10	Cachalote pigmeo	153
Lémur	8-13	Foca arpa	502-532
Cerdo	68	Oso (cuatro especies)	108-331

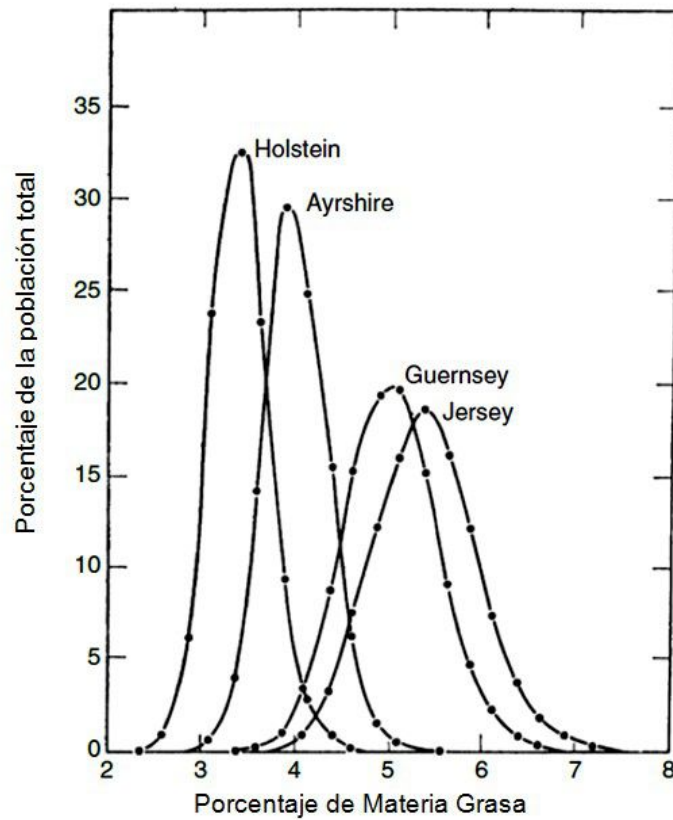


Figura 4.14: Rango de contenido de materia Grasa en leches de vacas individuales de cuatro razas (Jennes y Patton, 1959)

La fase lipídica de la leche está constituida por tres componentes principales: la materia grasa propiamente dicha, compuesta por el 98% de triglicéridos aproximadamente, el 2% restante corresponde a diglicéridos, monoglicéridos, ácidos grasos, fosfolípidos, esteroides y trazas de vitaminas solubles en grasa (A, D, E y K) (Alais, 1988; Walstra et al., 2006; Fox et al., 2017).

Tabla 4.5: Perfil de ácidos grasos de los triglicéridos de la grasa de leche.

	Número de átomos de carbono	Número de dobles enlaces	Nivel en grasa de leche (g 100g ⁻¹ de grasa)
Saturados			
Butírico	4	0	2-5
Capróico	6	0	1-5
Caprílico	8	0	1-3
Cáprico	10	0	2-4
Láurico	12	0	2-5
Mirístico	14	0	8-14
Palmítico	16	0	22-35
Estearico	18	0	9-14
Insaturados			
Miristoléico	14	1	0,5-1,1
Palmitoléico	16	1	1-3
Oléico	18	2	20-30
Linoléico	18	2	1-3
Linolénico	18	3	0,5-2

Fuente: Compilado por Jensen, 2012 y MacGibbon y Taylor, 2006, citado por Guinee y Brien, 2010

De acuerdo a los datos presentados en la Tabla 4.5 **Tabla 4.5** precedente, se pueden resumir algunas de las características más salientes de la grasa de leche de los rumiantes (Fox et al.,2017):

- Contiene una elevada concentración de ácido butanóico (C_{4:0}), lo que permite la determinación de adulteración de la grasa de leche con grasas de otros tipos.
- Posee un considerable contenido de ácidos grasos de cadena media (C_{6:0} a C_{10:0}).
- Las cadenas cortas y medias de ácidos grasos (C_{4:0} a C_{10:0}) presentan bajos umbrales de flavor, cuando están en niveles apropiados, contribuyen positivamente al flavor del queso, especialmente en quesos duros italianos y en quesos azules. Por el contrario,

gracias a que presentan el glicerol en posición *Sn3*, son más susceptibles a las lipasas, sobre todo a las nativas (lipoproteína lipasa).

- El punto de fusión y, por consecuencia, la dureza de los ácidos grasos, se incrementa a medida que la longitud de las cadenas es mayor. El ácido oleico es el ácido graso insaturado más abundante, representando alrededor del 70% (Walstra et al., 2006).
- Tiene un bajo contenido de ácidos grasos poliinsaturados, que, si bien son deseables a nivel nutricional, por otro lado, es lo que evita que la grasa de la leche sea relativamente resistente a la rancidez oxidativa.

4.2.3.1 Estado físico de la fase lipídica en la leche

Los lípidos de la leche se encuentran emulsionados, dispersos en forma globular, con diámetros que, en leche bovina, pueden ir desde ~0,1 a ~20 μm , con una media de ~3,5 μm (Figura 4.15), aunque, tanto el rango como la media, varían con la raza, la alimentación, el estado de lactación, la salud, etc. (Fox et al., 2015).

Estos glóbulos están rodeados por una sutil y compleja membrana lipoprotéica, de ~9 nm, la cual estabiliza la grasa encerrada evitando alteraciones por coalescencia o fusión. En la Tabla 4.6 se muestran los componentes que conforman la membrana del glóbulo graso.

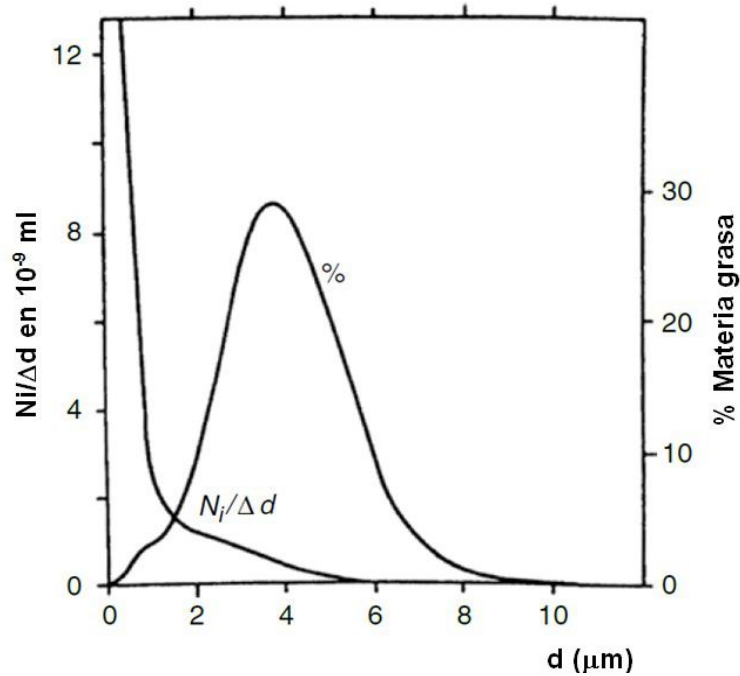


Figura 4.15: Distribución de tamaños de glóbulos grasos en leche bovina. N: Número ml x 10⁻⁹, (Ni/Δd) y V: volumen (% de materia grasa) (modificado por Walstra y Jenness, 1984).

Tabla 4.6: Composición global de la membrana del glóbulo graso de la leche

Componente	mg100g ⁻¹ glóbulo graso	Mgm ²⁻¹ de superficie del glóbulo graso	% (w/w) de la membrana total
Proteína	900	4,5	41
Fosfolípidos	600	3,0	27
Cerebrósidos	80	0,4	3
Colesterol	40	0,2	2
Glicéridos neutros	300	1,5	14
Agua	280	1,4	13
Total	2.200	11,0	100

Cabe mencionar que esta dispersión es inestable, y las sustancias que la componen son las más fáciles de extraer de la leche sin modificar los otros componentes (Alais, 1988; Guinee y Brien, 2010; Spreer, 1991).

4.2.3.2 Propiedades Físicas de la materia grasa

La densidad de la grasa, a 15°C, está entre 0,936 y 0,950. No exhibe un punto de fusión o solidificación bien definido, debido a que, el cambio de estado se produce con un margen de temperatura de unos 5°C.

La materia grasa pura es blanca; el color amarillento de la grasa presente en la leche se debe a los carotenos. Como todas las grasas ordinarias, la de la leche es insoluble en agua, poco soluble en alcohol y muy soluble en los disolventes orgánicos, éter ordinario, éter de petróleo, benceno, acetona, etc. (Alais, 1988).

4.2.4 MINERALES

La cantidad de sustancias minerales que se encuentra en la leche, varía de 3 a 12 g L⁻¹. Si bien se trata de una cantidad pequeña, en comparación con los prótidos, lípidos y azúcares, dada su interacción con dichos componentes, su rol en la leche es sumamente importante (Tabla 4.7).

Tabla 4.7: Composición salina de la leche bovina (no se incluyen el calostro, leche al final de la lactación ni leches mastíticas).

Especies Catiónicas	mmolL⁻¹	Especies Aniónicas	mmolL⁻¹
Sodio (23)	17 - 28	Cloruro (35,5)	23 - 34
Potasio (39,1)	31-43	Carbonato (60)	~ 2
Calcio (40,1)	26 - 32	Sulfato (96,1)	~ 1
Magnesio (24,3)	4 - 6	Fosfato (inorg.) (95)	19 - 23
Aminas	~ 1,5	Citrato (189)	7 - 11
		Ácidos orgánicos	~ 2
		Ésteres fosfóricos	2 - 4

Como puede verse, cuantitativamente, el potasio es el elemento dominante, seguido por los cloruros. Luego de estos últimos, se encuentran los fosfatos solubles, aunque solamente 1/3 del fósforo se halla en esta forma, esencialmente como fosfato disódico.

La mayor parte del azufre presente en la leche participa en la composición química de las proteínas, y sólo una pequeña parte está en forma de sulfatos.

Los bromuros, yoduros y fluoruros, no se consignan en la Tabla 4.7, por cuanto se encuentran en trazas.

El citrato cálcico es poco soluble y muy poco disociado, solamente una parte se encuentra en solución verdadera.

No obstante, debe tenerse en cuenta que la composición salina de la leche se encuentra influenciada por diversos factores, tales como: la raza, la individualidad del bovino, el estado de lactación, la alimentación, estado de salud (mastitis) y estación del año (Fox y McSweeney, 1998). Así, por ejemplo, en comparación con otras razas, la leche de vacas Jersey, normalmente, es más rica en calcio y fósforo, y más pobre en sodio y cloro. Asimismo, durante el curso de la lactación, la concentración total de calcio total generalmente es alta tanto al principio como al final, mientras que durante el período intermedio se mantiene bastante constante. El fósforo muestra una tendencia semejante, pero con un mayor incremento, especialmente a partir de la

semana cuarenta. A su vez, las concentraciones de calcio coloidal y fósforo inorgánico son mínimas en el inicio y alcanzan el máximo al final de lactación.

En lo que respecta a los niveles de iones sodio y cloruro, también son elevados en los primeros estadios, luego sufren una rápida disminución, para luego aumentar gradualmente, especialmente sobre el final, que es la etapa durante la cual se producen los incrementos más intensos. La concentración de potasio, por el contrario, disminuye gradualmente durante la lactancia, manteniendo así una relación inversa con el sodio (Alais, 1988; Fox y McSweeney, 1998; Fox et al., 2015).

En las leches anormales, como por ejemplo las mastíticas, se verifica un descenso en el contenido de lactosa, en concomitancia con un aumento en la concentración de sales solubles, especialmente sodio y cloruros. Así, algunas leches pueden contener un porcentaje de sales superior a los 2,5 g L⁻¹ y presentar un sabor salado. En este sentido, cabe señalar que la valoración de los cloruros, que puede realizarse con cierta rapidez, constituye un medio práctico para descubrir las leches anormales (especialmente mastíticas), a través de la determinación del Número de Koestler que tiene en cuenta la relación cloruros-lactosa (Fox y McSweeney, 1998; Fox et al., 2015).

Finalmente, debe señalarse que todos los equilibrios salinos naturales de la leche, se ven efectivamente influenciados por factores intrínsecos tales como el pH de la misma (que afecta, entre otros, el equilibrio entre el anhídrido carbónico y los bicarbonatos), o bien externos, como los tratamientos térmicos que conducen a una reducción del calcio soluble como consecuencia de la precipitación del fosfato tricálcico, conocido como “piedra de leche” (Gaucheron, 2011), Indudablemente, este es un aspecto de fundamental importancia en el procesamiento de la leche (Spreer, 1991).

4.2.4.1 Distribución salina entre las fases de la leche

La interacción entre las sales y los distintos componentes de la leche, da lugar a que sólo una fracción de éstas se encuentre disuelta en la fase acuosa. En este sentido, se ha comprobado que

la carga mineral de las micelas de caseína, conocida genéricamente como *fosfato de calcio coloidal* ó CCP (acrónimo del inglés, *coloidal calcium phosphate*), está conformada por sales no disueltas y contraiones de sus grupos cargados negativamente (principalmente Ca, Mg, K y Na), y algo de citrato. En la Tabla 4.8 se pueden apreciar las concentraciones de equilibrio entre la fase acuosa y la fase micelar para los principales iones salinos presentes en la leche bovina (Ferrandini et al 2006; Gaucheron, 2011).

Tabla 4.8: Concentración iónica (mmol L⁻¹) determinada en leche bovina. La fracción acuosa corresponde a una leche ultrafiltrada obtenida mediante una membrana con un poder de corte de peso molecular de 10 kDa. Una pequeña fracción puede estar como contraiones de las sueroproteínas. Pi: Fosfato inorgánico.

Iones	Concentración total	Concentración en la fase acuosa	Concentración micelar
Ca	30,0	9,0	21,0
Mg	5,0	3,5	1,5
Na	22,0	21,5	0,5
K	35,0	34,3	0,7
P	21,0	11,0	10,0
Citrato	9,0	8,1	0,9
Cl	30,0	30,0	0,0

La leche es una de las fuentes más importantes de calcio. En efecto, el hecho de que una importante parte del Ca⁺² (~67%) se encuentre en la fase coloidal insoluble, ya sea ligado a los grupos carboxilo de las caseínas (~21%) o como fosfato tricálcico, Ca₃(PO₄)₂ (~46%) permite que la leche pueda transportar una elevada cantidad de dicho elemento, sin que se produzca su precipitación (Alais, 1988; Fox y McSweeney, 1998; Gaucheron, 2011; Fox et al., 2015).

Por otro lado, contrariamente al resto de los iones, los cloruro, como así también las sales de sodio y potasio, que son altamente solubles, se encuentran, prácticamente en su totalidad en la fase hídrica (~1,8% de la leche, expresados en cloruro sódico). Éstos constituyen la parte más importante de las sales solubles ionizadas, por cuanto son uno de los principales responsables de

mantener el equilibrio osmótico entre la sangre y la leche (Walstra et al., 2006; Fox y McSweeney, 1998; Fox et al, 2015).

4.2.5 Lactosa

La lactosa es el principal carbohidrato presente en la leche, a la que ingresa tras ser sintetizado en las vesículas de Golgi de las células lactantes. Siendo éste el único medio donde se encuentra naturalmente, también se la conoce como “azúcar de la leche” (Walstra et al, 2006). Aunque su concentración, al igual que para el resto de los componentes, varía con la especie (Tabla 4.9), es el único glúcido libre que existe en cantidad importante en todas las leches.

Tabla 4.9: Composición Global (%P/P) de la leche procedente de varias especies

Especie	Lactosa	Grasa	Proteína	Cenizas	Sólidos totales
Bovina	4,9	3,7	3,5	0,7	12,8
Ovina	4,8	7,9	5,2	0,9	19,3
Caprina	4,3	4,3	3,5	0,8	13,0
Equina	6,1	1,6	2,7	0,5	10,9
Bufalina	5,5	7,4	3,6	0,8	17,3
Humana	6,9	3,7	1,6	0,2	12,6
Porcina	5,5	6,6	5,3	0,8	18,1
Canina	3,8	9,5	7,5	1,1	22,7

(Datos de diferentes fuentes)

Básicamente, la lactosa consiste en un disacárido formado por la unión de una molécula de glucosa y otra de galactosa, por lo que es considerada el componente más simple, abundante, y de mayor constancia en proporción. Es la única fuente de galactosa, que es un constituyente importante en los tejidos nerviosos.

Es un factor limitante en la cantidad de leche que produce la vaca debido a que ésta depende de la síntesis de lactosa en la glándula mamaria del animal (Fox, 2009; Fox, 2011).

Uno de los factores críticos en el nivel de lactosa, es el estado de salud de la ubre, dado que, un proceso infeccioso reduce su producción.

Debido a su participación en la regulación osmótica, la concentración de lactosa es inversamente proporcional al contenido de sales (Alais, 1985; Fox, 2011; Singh et al., 2014;), siendo esta la razón por la cual una leche con alto índice de lactosa tiene baja cantidad de cenizas.

El contenido de lactosa decrece progresivamente a medida que avanza el período de lactancia; este comportamiento contrarresta con el contenido de lípidos y de proteína, los cuales incrementan durante la segunda mitad de la lactación (Figura 4.16).

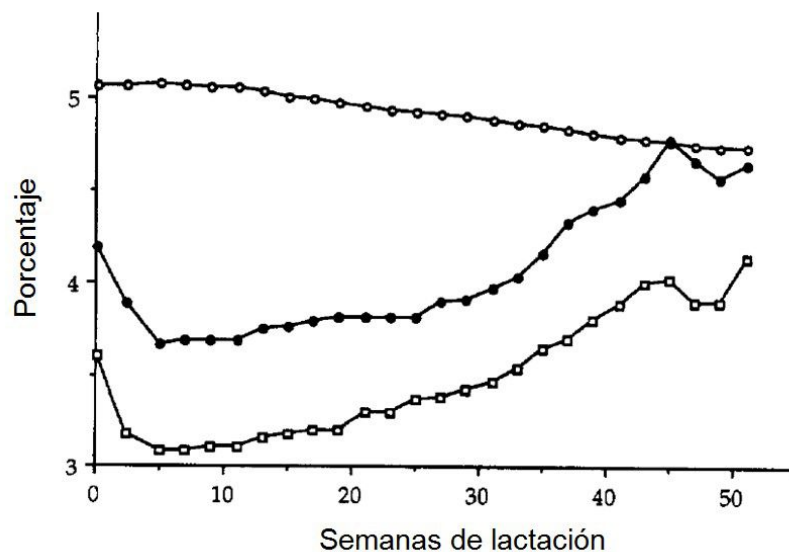


Figura 4.16: Cambios en la concentración de lactosa (o), grasa (●) y proteína (□). (Fox y McSweeney, 1998).

Finalmente, cabe señalar que la lactosa es el componente de la leche de mayor labilidad frente a la acción de los microorganismos.

4.2.5.1 Estructura de la Lactosa

Como se indicó precedentemente, la lactosa es un disacárido formado por una molécula de glucosa y otra de galactosa, cuya estructura es β -D-galactopiranosil-(1 \rightarrow 4)-D-glucopiranososa. En

el enlace interviene el carbono 1 de la galactosa (en configuración β) y el carbono 4 de la glucosa (ambos anómeros de la glucosa, α o β , pueden formar la lactosa), como se muestra en la Figura 4.17.

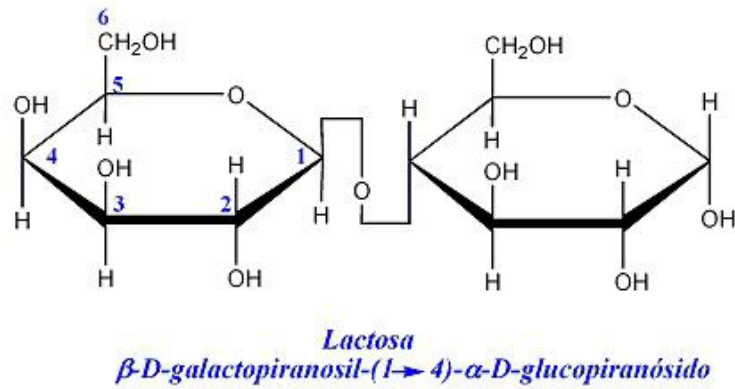


Figura 4.17: Estructura molecular de la lactosa

Al producirse el enlace entre los dos monosacáridos se desprende una molécula de agua. Dado que este compuesto posee libre el hidroxilo hemiacetalico (en el carbono 1 de la glucosa), por constituye un azúcar reductor y, por ende, da positiva la reacción de Benedict (Raymond, 2010; Fox, 2011).

Puede estar presente como anómeros (ó isómeros) α o β tal como se observa en la Figura 4.18, (Walstra et al, 2006). Estos isómeros poseen propiedades bien diferenciadas, en especial la rotación específica, $[\alpha]_D^{20}$ (+89 y +35 para α y β lactosa, respectivamente), y la solubilidad en agua 70 y 500 g L⁻¹ a 20 °C, para α y β lactosa, respectivamente (Fox, 2011).

La configuración del C1 de la glucosa no es estable y puede rápidamente cambiar (mutarrotar) de α a la forma β y viceversa cuando el azúcar está en solución como una consecuencia del hecho de que la forma hemiacetal está en equilibrio con la forma aldehído de cadena abierta lo cual permite la conversión de los dos isómeros. Se presume que menos del 0,1% de la lactosa presente en la leche cruda se encuentra en forma abierta. Cuando cualquiera de los dos isómeros se disuelve en agua, hay un cambio gradual de una forma a otra hasta que se establece un equilibrio (Fox, 2009; Fox y McSweeney, 1998; Fox, 2011).

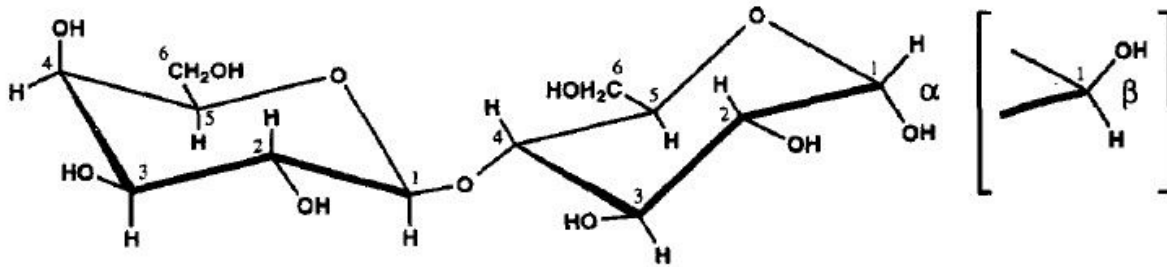


Figura 4.18: Estructura de α y β Lactosa (Fox y McSweeney, 1998)

4.2.5.2 Cristalización de la lactosa

La lactosa comercial, que es obtenida por cristalización por debajo de la temperatura crítica de 94°C , se encuentra bajo la forma α -hidratada: $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}\cdot\text{H}_2\text{O}$; la forma α -anhidra se obtiene por desecación al vacío con calentamiento moderado. La forma β -anhidra cristaliza a partir de soluciones concentradas a una temperatura superior a 94°C . Si se somete a la leche a una desecación prácticamente instantánea, en el polvo se encontrarán las dos formas α y β . Los cristales α -lactosa son duros, además están fuertemente ligados, ligeramente higroscópicos y se solubilizan lentamente. Por otro lado, la forma β -lactosa no es muy higroscópica y se disuelve rápidamente. Por estas razones es que se considera importante que se mantenga las temperaturas mayores a 93°C , a fin de prevenir la formación de cristales α -lactosa hidratada.

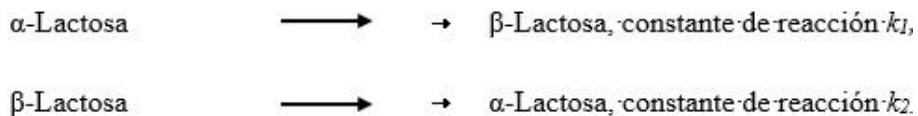
La solubilidad de la α y β -lactosa son 70 y 500 g L^{-1} de agua a una temperatura de 20°C (Walstra *et al.*, 2006; Fox, 2011). La cristalización forzada y rápida (con siembra de lactosa cristalizada o de leche en polvo) da pequeños prismas paralelepípedicos; si la cristalización es lenta se puede observar diferentes formas: pirámides, “tomahawks” y finalmente el cristal completamente desarrollado.

Algunas sustancias pueden retardar o impedir la cristalización de la lactosa al ser adsorbidas sobre los núcleos; este efecto puede manifestarse a muy pequeñas dosis. La riboflavina es un componente normal de la leche ($0,5 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$); por debajo de una concentración crítica de $0,250\text{mg } 100\text{g}^{-1}$, a temperaturas poco elevadas, esta sustancia impide la cristalización. Los agentes tensioactivos tienen un efecto semejante (Alais, 1985).

Cuando soluciones de lactosa son secadas rápidamente, la viscosidad se incrementa tan rápido que es imposible la cristalización. Una forma no cristalina se produce conteniendo las formas α y β en el rango en el cual existe en solución. La leche secada en spray da lugar a un jarabe concentrado o vidrio amorfo el cual es estable si se protege del aire, dado que al ser es muy higroscópico, absorbe agua rápidamente de la atmosfera, llegando a aglutinarse y durante la disolución se forman grumos (Alais, 1985 y Fox y McSweeney, 1998; Fox, 2011).

4.2.5.3 Mutarrotación de la Lactosa

En solución, la conversión de lactosa- α a β y viceversa ocurre en forma de cadena abierta, el cual es de vida corta. Por lo tanto, acontecen los siguientes equilibrios:



Las dos son reacción de primer orden. Denotamos la relación de equilibrio $[\beta]/[\alpha]$ por R , siendo $R=k_1/k_2$ (Walstra et al., 2006).

La velocidad de mutarrotación ($K=K_1+K_2$) es fuertemente dependiente de la temperatura, a 20°C y un pH de 6,7 la constante $K \approx 0,37\text{h}^{-1}$ y este se incrementa por un factor de 3 o más por cada 10°C que sube la temperatura. A temperatura ambiente tardaría muchas horas en llegar al equilibrio deseado (Figura 4.19). Muchas sustancias afectan la cinética de mutarrotación, por ejemplo, las sales en la leche incrementan la tasa de reacción en casi el doble, comparada con la tasa en agua (Walstra et al., 2006).

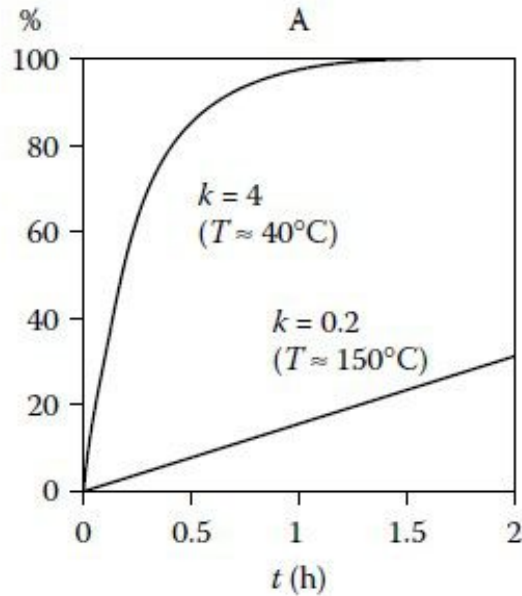


Figura 4.19: Efecto de la temperatura sobre la cinética de mutarrotación K

Fox y McSweeney (1998) determinaron la composición de la mezcla en equilibrio a partir de la rotación específica, como se especifica a continuación:

La mezcla en equilibrio a una temperatura de 20°C se compone de 62,7% de β -lactosa y 37,3% de α -lactosa. La proporción de la forma α se incrementa a medida que la temperatura y la constante de equilibrio consecuentemente decrece.

Estos fenómenos, hacen que cuando la lactosa se disuelve en agua, se observen algunas particularidades en el poder rotatorio y en la solubilidad.

A temperatura ambiente, la rotación específica baja lentamente de $+89^\circ$ a 55° , en unas 24 horas en pH neutro. La transformación es más rápida cuando el pH es superior a 9,0 (Figura 4.20) (Alais, 1985).

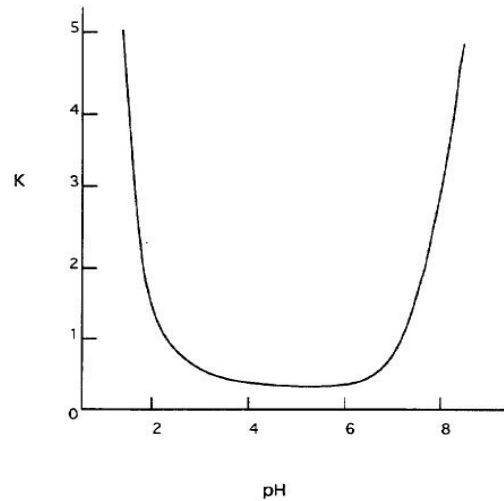


Figura 4.20: Efecto del pH sobre la cinética de mutarrotación de la lactosa

4.2.5.4 Solubilidad de la lactosa

La lactosa de por sí, es un azúcar poco soluble (10 veces menos que el azúcar ordinario). La solubilidad de la lactosa α y β difiere considerablemente y esta propiedad es muy dependiente de la temperatura. Si se coloca α -lactosa en agua, su solubilidad inicial es baja, pero progresivamente comienza a aumentar. Este comportamiento, se debe a la mutarrotación, según la cual la α -lactosa se convierte en β , y así, al irse reduciendo su concentración (de α -lactosa), se favorece su disolución. Por el contrario, si lo que se coloca inicialmente en agua es β -lactosa, se observa el fenómeno opuesto (al menos por debajo de 70°C) y, como la mutarrotación, permite que se disuelva una mayor cantidad de α -lactosa, esta lactosa comienza a cristalizar.

Así, la solubilidad depende, parcialmente, del equilibrio de mutarrotación y la velocidad de disolución, está condicionada por la de mutarrotación. La llamada solubilidad final es idéntica si disolvemos α - o β -lactosa (Walstra et al., 2006).

La Figura 4.21 muestra que las soluciones de lactosa pueden sobresaturarse fácilmente y en gran medida. A concentraciones sobre 2,1 veces la concentración de saturación, una cristalización espontánea ocurre rápidamente, probablemente porque se produce una nucleación homogénea. A menos de 1,6 veces la concentración de sobre saturación, usualmente es necesario que se induzca la cristalización, ya que, de lo contrario, ésta insume mucho tiempo; la solución

es así metaestable. En la región intermedia puede darse cristalización por muchos factores, uno de ellos es el tiempo (Fox, 2009; Walstra et al., 2006).

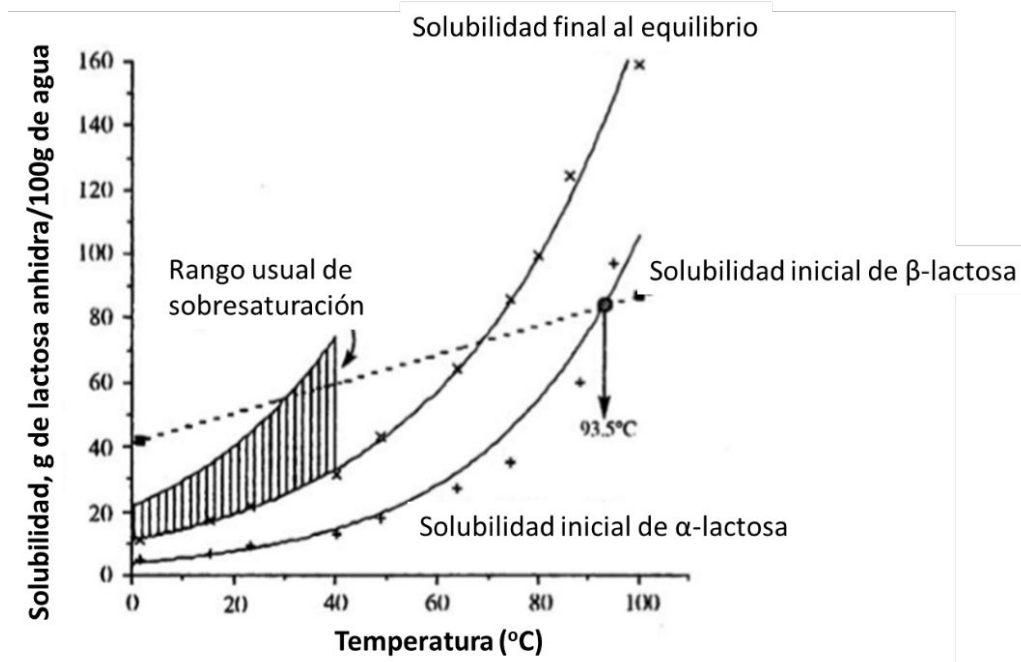


Figura 4.21: Solubilidad de α y β lactosa. Solubilidad final de lactosa, y sobresaturación en función de la temperatura (modificado de Fox, 2009 y Walstra *et al.*, 2006).

Fox y McSweeney (1998) establecen que la solubilidad de la α -lactosa es más dependiente de la temperatura que la β -lactosa y las curvas de solubilidad interceptan en 93,5°C como se observa en la Figura 4.21. La solubilidad de la lactosa aumenta considerablemente en caliente, por tanto, cristaliza al enfriar sus soluciones concentradas, por lo cual, con este azúcar no se pueden obtener jarabes espesos ni confituras estables a la temperatura ordinaria. Las soluciones concentradas de lactosa quedan en estado de sobresaturación durante la refrigeración; a 25°C la solubilidad límite es de 22g por 100g de agua, razón por la que una solución de 50g en 100g de agua enfriada a dicha temperatura, empezará a cristalizar naturalmente (Alais, 1985).

4.2.5.5 Leche deshidratada y sueros

La lactosa es el principal componente de los productos secos proveniente de la leche como: leche entera en polvo, leche descremada en polvo, y suero en polvo, los cuales contienen 30, 50 y 70% de lactosa respectivamente. La proteína, grasa y aire están dispersos en una fase continua de lactosa amorfa sólida. En los polvos recién hechos la lactosa se encuentra en estado amorfo en una relación α/β de 1:1.6. Este cristal de lactosa amorfa es un jarabe altamente concentrado, puesto que durante el secado no hay tiempo suficiente para que la cristalización continúe normalmente. El cristal tiene una baja presión de vapor y es higroscópico, lo cual hace que al hidratarse la lactosa adquiera mayor espacio y movilidad, permitiendo así que se convierta en α -lactosa, la agregación de los cristales conlleva a un pegado de los polvos (Figura 4.22) (Alais, 1985; Fox y McSweeney, 1998; Fox et al., 2015).

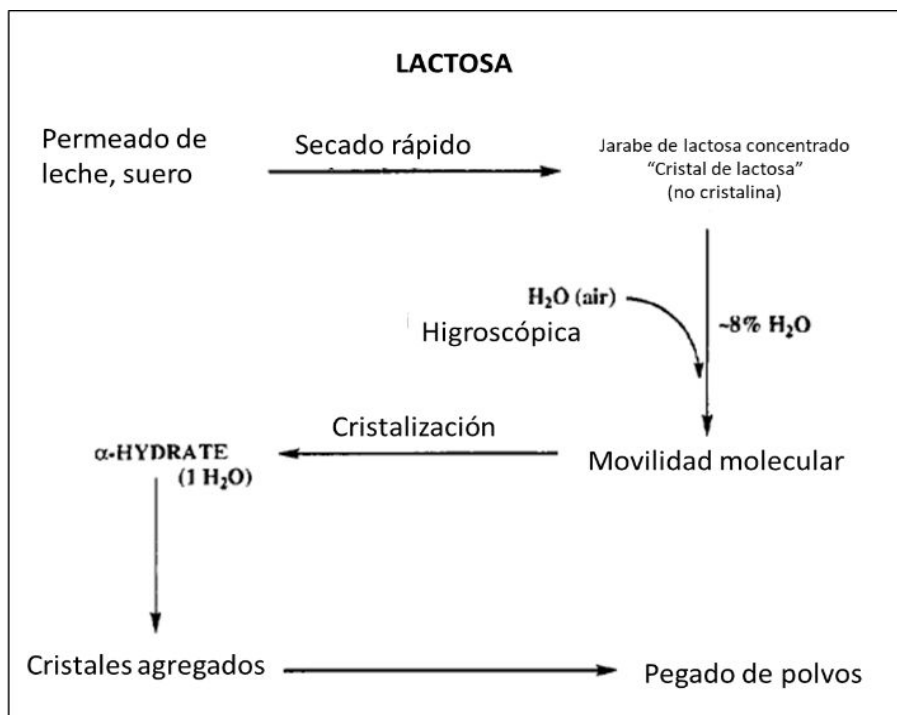


Figura 4.22: Cristalización y formación de cristales de lactosa

La cristalización de la lactosa ocasiona el llamado “*caking*”, es decir un polvo que se transformó en una masa dura. Si bien, se trata de un defecto muy serio, que afecta sensiblemente la solubilidad del polvo, se lo puede prevenir mejorando su dispersabilidad, para lo cual, una pequeña porción de lactosa presente en el producto en polvo recién elaborado, se encuentre

cristalizada. Esta cristalización se logra si se rehidrata el producto en polvo recién hecho, con el 10% de agua o removiendo parcialmente polvo del desecador y completar el secado en un lecho fluidizado. Este proceso es comúnmente usado para hacer polvos instantáneos, obteniendo así agregados sueltos y esponjosos con la capacidad de humectarse y dispersarse rápidamente. En efecto, son partículas que exhiben una buena absorción capilar, que facilita el ingreso del agua, lo que les permite hundirse y dispersarse, al contrario de lo que ocurre con las partículas de polvos no instantaneizados, que flotan debido a su baja densidad, incapaces de vencer la tensión superficial. (Fox y McSweeney, 1998).

4.2.5.6 Termoplasticidad de la Lactosa

Durante el secado del suero o de soluciones que contienen altas concentraciones de lactosa, por calor, resulta necesario tomar precauciones, debido a que las partículas de polvo semi secas pueden adherirse a las paredes metálicas del evaporador y formar depósitos. Este fenómeno es denominado termoplasticidad. Los principales factores que influyen son la temperatura en la cual ocurre la termoplasticidad (temperatura de pegado), concentraciones de ácido láctico, lactosa amorfa y la humedad del polvo (Fox et al., 2015). En la Figura 4.23 se puede observar que, a medida que incrementa la concentración de ácido láctico, decrece de manera lineal la temperatura de pegado. Por otro lado, el porcentaje de pre cristalización de la lactosa también incide en la temperatura de pegado: por ejemplo, un producto que contiene el 45% de lactosa pre cristalizada tiene una temperatura de pegado de 60°C, mientras que el mismo producto con 80% de pre cristalización tiene una temperatura de pegado de 78°C.

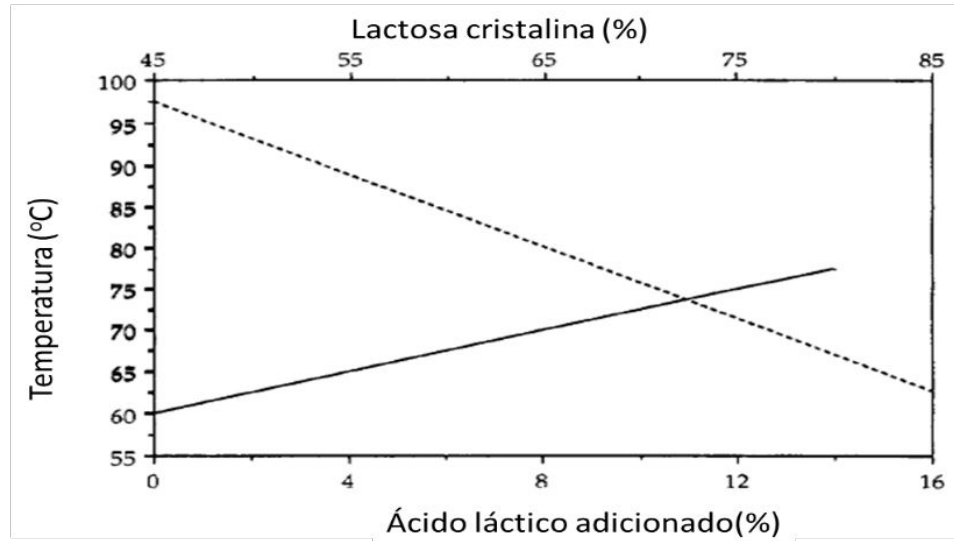


Figura 4.23: Efecto de la adición de ácido láctico (--) y grado de cristalización de la lactosa (—) sobre la temperatura de pegado de suero en polvo (1,5-3,5% de humedad) (Fox y McSweeney, 1998)

En la práctica, el factor más fácilmente controlado es el contenido de humedad del suero en polvo, el cual es determinado por la temperatura de salida del secador (t_0), como se observa en la Figura 4.24. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que, por efecto del enfriamiento evaporativo, la temperatura de la partícula de polvo en el secadero es menor que la temperatura de salida (t_p), lo que incrementa la diferencia entre t_p y t_0 (Fox et al., 2015). La temperatura de pegado de un suero en polvo, decrece cuando incrementa la humedad (t_s), y donde las curvas t_p y t_s interceptan (TPC) es el máximo contenido de humedad del producto, en donde el secador puede operar, sin que el producto se pegue. El punto TOC es la temperatura máxima del producto a la cual el secador puede operar sin que se produzca pegado del producto durante el secado.

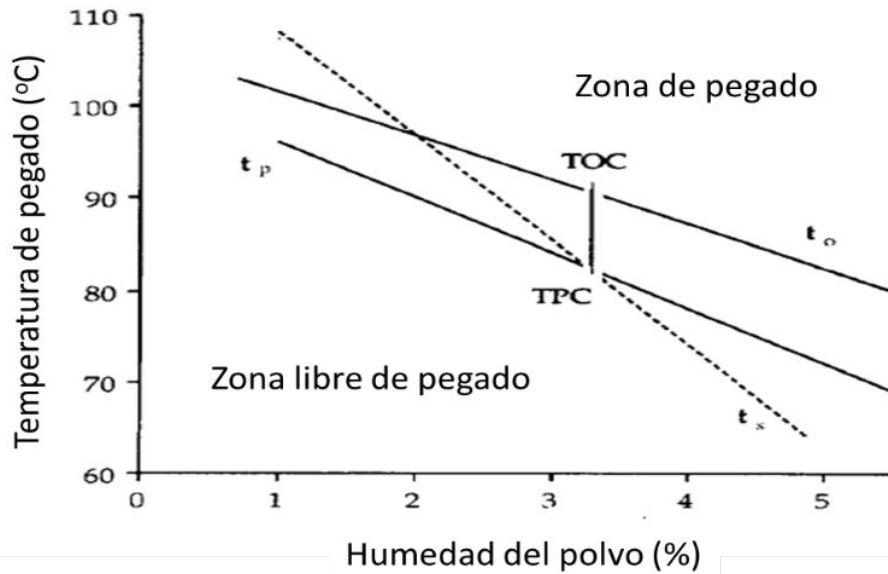


Figura 4.24: Efecto de la humedad sobre la temperatura del polvo en un secador spray (t_p), temperatura a la salida del secador (t_o) y temperatura de pegado (t_s).

4.2.5.7 Lactosa y reacción de Maillard

Bajo el nombre de reacción de Maillard, se agrupa a un conjunto de reacciones complejas que conduce a la generación de compuestos condensados reductores, que constituyen pigmentos oscuros (melanoidinas). La lactosa al ser un azúcar reductor (posee un grupo aldehído libre) puede participar de la reacción de Maillard, la cual resulta en un enmarronamiento no enzimático. Es una reacción autocatalítica, que se inicia partir de la interacción entre el grupo carbonil (de la lactosa) y un grupo amino libre, dando como resultado una Base de Schiff (glucosamina), la que posteriormente formará compuestos de Amadori.

La reacción de Maillard tiene algunas consecuencias positivas en algunos productos, como el color en el dulce de leche, pero en otros, como por ejemplo polvos, es indeseable porque puede generar enmarronamiento, generación de off-flavors, pérdida del valor nutritivo (lisina), pérdida de solubilidad de los polvos (Alais, 1985 y Fox y McSweeney, 1998).

5 QUESO

Según el Código Alimentario Argentino (CAA); “*Se entiende por Queso el producto fresco o madurado que se obtiene por separación parcial del suero de la leche o leche reconstituida (entera, parcial o totalmente descremada), o de sueros lácteos, coagulados por la acción física, del cuajo, de enzimas específicas, de bacterias específicas, de ácidos orgánicos, solos o combinados, todos de calidad apta para uso alimentario; con o sin el agregado de sustancias alimenticias y/o especias y/o condimentos, aditivos específicamente indicados, sustancias aromatizantes y materiales colorantes*” (CAA, 2014).

La elaboración de queso es seguramente la forma más antigua de procesado de la leche. Es un alimento valioso y económico para el consumidor. La producción de queso contribuye notablemente a cubrir las deficiencias proteicas de la dieta del ser humano (Spreer, 1991).

El queso corresponde al grupo más diverso de los alimentos lácteos. A diferencia de otros productos, es biológica, bioquímica y químicamente inestable, tal como lo evidencia la constante variación que sufren sus propiedades organolépticas (principalmente flavour y aroma) luego de su elaboración (Fox et al., 2017).

Conjuntamente con estos cambios, también se produce una modificación en las características físicas y reológicas, que estriban fundamentalmente en la interacción entre las moléculas de caseína. Según Johnson y Law (2010), los factores que involucran en estas interacciones son: pH, disolución del fosfato de calcio coloidal, proteólisis, temperatura, composición del queso (en particular, el contenido de caseína y la distribución de humedad y grasa).

Si bien cada uno de estos factores se puede considerar de manera independiente, lo procedente es hacer una evaluación contextual de los mismos (Johnson y Law, 2010).

5.1 PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LA QUESERÍA

Según Veisseryre (1988), la fabricación de un queso comprende tres fases esenciales:

- a) La formación del gel de caseína. Es el cuajado o coagulación de la leche;
- b) La deshidratación parcial de este gel por sinéresis, es decir por contracción de la red proteica que lo forma. Es el desuerado de la cuajada. Existen diferentes metodologías según la variedad de queso. La configuración de la forma característica, mediante el moldeo de la cuajada.
- c) La maduración enzimática del gel deshidratado. Esta etapa se incluye en la mayoría de las variedades. Es el afinado o maduración de la cuajada, proceso por el cual, además de permitir la proliferación de determinados microorganismos, el queso adquiere sus características particulares de flavor y textura de cada queso (Fox et al., 2017).

En el caso de los quesos frescos, la fabricación termina con el desuerado. El desuerado de la cuajada no constituye solamente una simple deshidratación, dado que, conjuntamente con el agua, se separan también constituyentes solubles de la leche, lactosa y sales minerales, en cantidades más o menos grandes, así como las proteínas no floculadas (sueroproteínas) en el curso del cuajado. La coagulación y el desuerado constituyen operaciones destinadas a separar los elementos de la leche que sufrirán luego la acción de los equipos enzimáticos presentes (enzimas nativas, de origen microbiano y coagulante residual) en la matriz.

La producción de todos los tipos de queso involucra un protocolo general en común, en el que, mediante modificaciones en alguna/s de las etapas que lo conforman, permite obtener un producto con características deseadas.

A modo de ejemplo, en la Figura 5.1, se presenta un esquema de los diferentes eventos que componen un proceso general de elaboración.

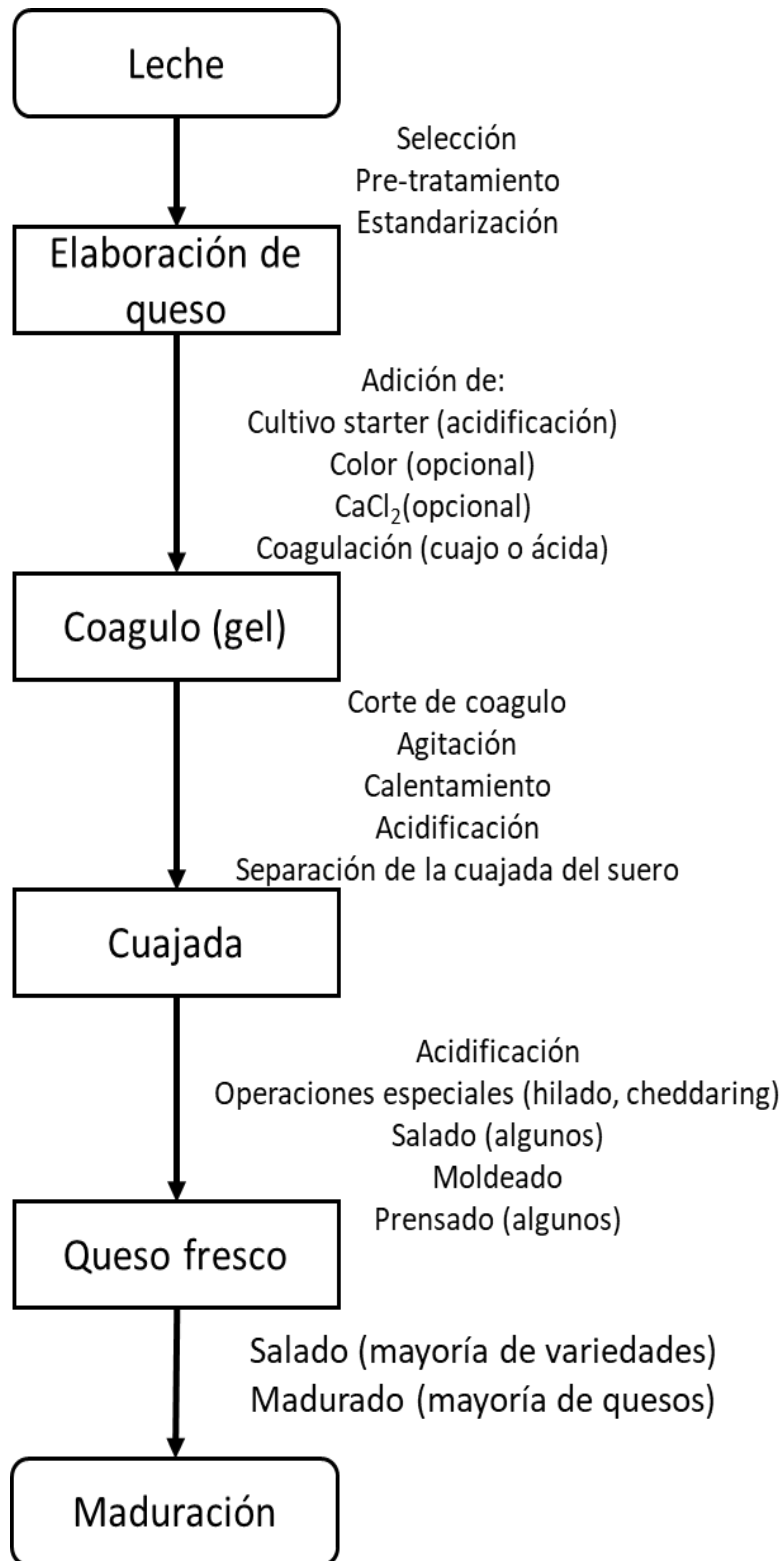


Figura 5.1: Protocolo general para la elaboración de quesos.

5.2 PRINCIPALES ETAPAS QUE COMPRENDE LA TECNOLOGÍA QUESERA.

5.2.1 Selección y acondicionamiento de la leche.

Las características de un queso están fuertemente influenciadas por la composición de la leche, especialmente por el contenido de grasa, proteína, calcio y leche. Las principales anomalías se observan en leches de vacas en estado temprano o tardío de lactación y, principalmente, en aquellas que provienen de animales enfermos (mastitis), las cuales deben ser excluidas.

La leche debe estar libre de químicos y exenta de ácidos grasos libres, los cuales causan off-flavors en el queso, y además de antibióticos que evitan el desarrollo de cultivos lácticos. En el caso de los quesos elaborados con leche cruda, ésta debe tener buena calidad microbiológica, dado que la presencia de microorganismos indeseables (gérmenes coliformes, levaduras, gérmenes esporulados, etc.) puede causar defectos en el producto o, en el peor de los casos, problemas en la salud, si se trata de microorganismos patógenos (Spreer, 1991; Fox et al., 2017).

5.2.2 Estandarización de la composición de la leche

La leche para quesería está sujeta a distintos pre-tratamientos con diferentes objetivos:

Las diversas variedades de queso, tienen distintas características respecto al contenido de grasa (en base seca), de hecho, la relación entre el contenido de grasa y proteína, define el “Status de identificación” legal para muchos tipos de queso, mientras que el contenido de humedad y, a su vez el, contenido de grasa más proteína, dependen del protocolo de elaboración. La relación grasa: proteína, está definida por la proporción entre la grasa y la caseína existente en el queso. De ahí que, si la estandarización de la leche no es adecuada, no se obtendrán quesos con características reproducibles (Fox et al., 2017; Johnson y Law, 2010).

Dependiendo de la relación requerida, se puede recurrir a diferentes procedimientos, tales como: remover algo de grasa por descremado natural o centrifugación, adición de leche

descremada, crema, caseína micelar (preparada por ultrafiltración), leche en polvo, leche evaporada o el retenido de la ultrafiltración, con lo cual se incrementa el contenido de sólidos totales y, por ende, el rendimiento quesero.

5.2.3 Adición de calcio

El calcio juega un rol importante en la coagulación de la leche por cuajo y el subsecuente procesamiento de la cuajada por lo que una práctica común es la adición de CaCl_2 , (0,02% P/P), a los afectos de restituir la cantidad precipitada (como fosfato de calcio) durante el tratamiento de pasteurización (Candiotti et al., 2002a; Candiotti et al., 2002b; Hynes et al., 2004; Candiotti et al., 2009; Costabel et al., 2015; Fox et al., 2017). No obstante, no se aconsejan adiciones de calcio superiores al 0,02%, dado que estas pueden conducir a anormalidades, como la aparición de sabores amargos (Rajinder Nath, 1993).

5.2.4 Tratamiento térmico de la leche

Tradicionalmente todos los quesos se hacían con leche cruda, práctica ampliamente difundida hasta la década de 1940.

Los principales inconvenientes que puede acarrear esta práctica, derivan de la posibilidad de propiciar el desarrollo de una flora indeseable que, además de no garantizar la salud pública, pueda conducir defectos en el flavor o la textura del queso. Pese a ello, aún hoy, en Europa, existe una significativa cantidad de quesos que, por tradición, se fabrican con leche cruda, pero de probada calidad microbiológica.

En el caso de los quesos elaborados con leche fresca, ya sea en la misma granja o a pequeña escala, la contaminación es menor que para una fábrica, debido a que la leche no es conservada por largos períodos. Es por ello que, a partir de 1940's, se realiza la pasteurización en la leche, con lo cual, además de asegurar la salud pública, se obtiene una uniformidad en su ~~la~~ calidad microbiológica, y reduce la tendencia de la grasa a formar nata (Spreer, 1991).

Sin embargo, el uso inapropiado de esta práctica puede causar algunos inconvenientes, como es el caso de desnaturalizar la proteína del suero, propiciando su interacción con las caseínas (principalmente β -Lg), lo cual, como ya se mencionó, puede interferir con el normal proceso de coagulación. (Figura 5.2).

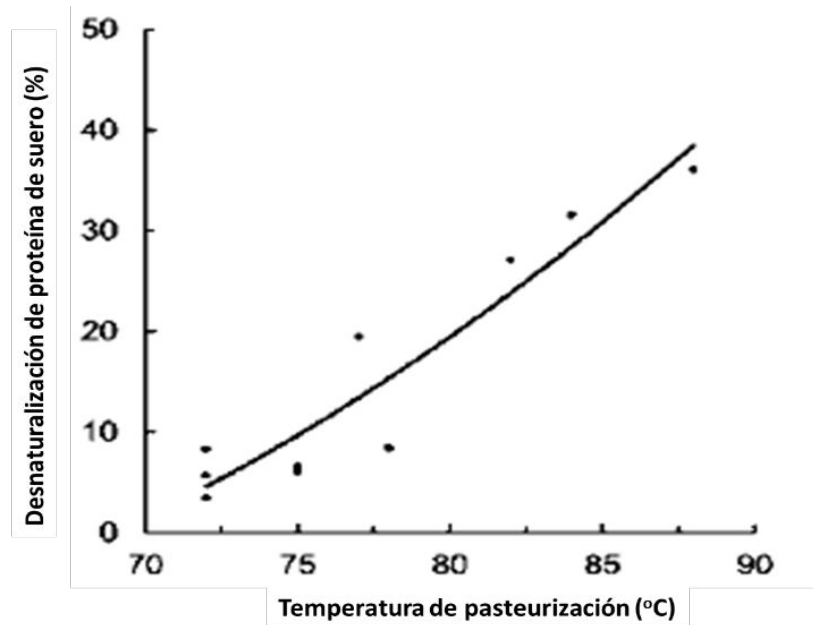


Figura 5.2: Efecto de la pasteurización por 15s de leche, sobre el porcentaje de desnaturalización de la proteína de suero.

Es por ello que, el tratamiento térmico aplicado a la leche, se debe realizar de la manera más moderada posible, es decir, se ha de elegir un procedimiento de pasteurización que utilice temperaturas bajas, en virtud de lo cual, se recomiendan 72-73°C por 15 s (pasteurización alta) para sistemas continuos, o bien 63°C por 30 min (pasteurización baja) para sistemas discontinuos. Sin embargo, no destruye los bacilos esporulados tales como las bacterias butíricas (clostridios) que son los responsables de los defectos de la fermentación gasógena, conocida como “hinchazón tardía” en los quesos de pasta dura y firme, de prolongados tiempos de maduración (Spreer, 1991).

En la Figura 5.3 se presenta un proceso típico, para el acondicionamiento de leche para quesería, que comprende una etapa de estandarización y una de pasteurización.

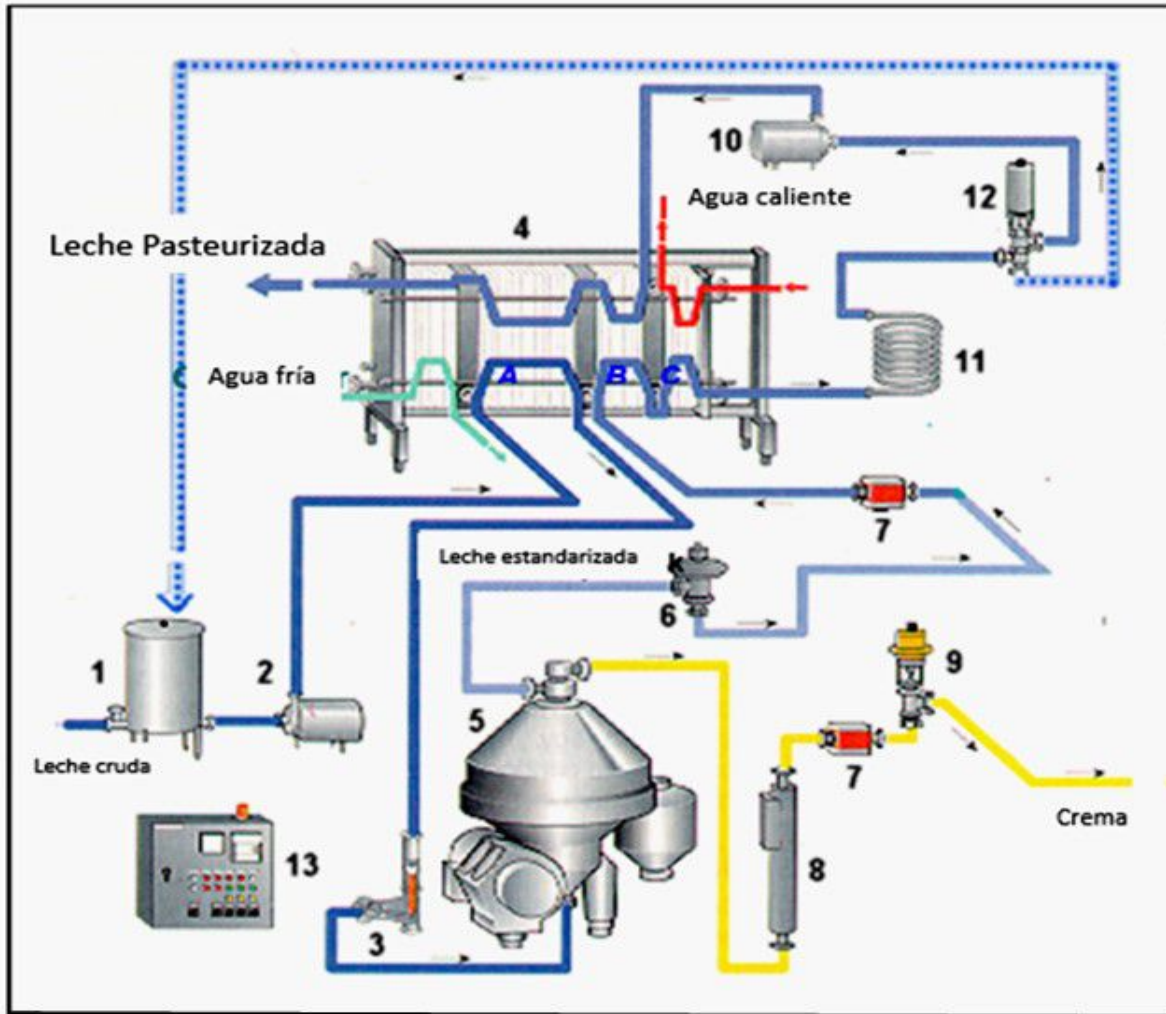


Figura 5.3: Esquema de estandarización y pasteurización de leche para quesería. 1) Tanque de recepción. 2) bomba de alimentación. 3) Control de flujo. 4) Intercambiador de placas. 5) Centrifuga. 6) Transmisor de flujo. 7) Intercambio de calor. 8) Densímetro. 9) Válvula de regulación. 10) Bomba. 11) Tubo de residencia. 12) Válvula de 3 vías. (Adaptado de Wit, 2001).

El flavor de los quesos realizados con leche sin pasteurizar es más intenso debido a que, por un lado, se conserva la flora nativa, especialmente las bacterias ácido lácticas (BAL), las cuales, a través de su metabolismo, participan notablemente en el proceso de maduración. Por otro lado, una leche cruda, conserva activa su lipasa natural, cuya acción sobre la materia grasa, da lugar a la liberación de ácidos grasos, que confieren al queso su flavor característico (Fox et al., 2017).

5.2.5 Acidificación por producción in situ de ácido láctico.

Usualmente es llevada a cabo por la producción de ácido láctico a través de la fermentación de la lactosa, por las bacterias ácido lácticas (BAL). Antiguamente, este rol era desempeñado por la microflora nativa de la leche. Actualmente, habida cuenta de la gran variabilidad que presenta dicha flora, en la mayoría de los quesos se recurre al empleo de fermentos iniciadores o estárter, que aseguren las cualidades del producto final. De este modo, la acidificación librada a los microorganismos nativos, ha ido quedando restringida a ciertos quesos artesanales (generalmente con Denominación de Origen), en lugares donde la leche posee una óptima y constante calidad bacteriológica.

En algunos países, particularmente en Francia, se suele implementar un proceso conocido como premaduración, en el cual, el fermento o estárter específico se agrega a la leche cruda, y se la incuba a 8-10°C durante 12-15 h (overnight). Así, al finalizar la incubación, el desarrollo de las bacterias lácticas produce una disminución en el pH de ~0.1 unidades. Esta metodología tiene por objetivo sacar a los microorganismos de la fase lag de crecimiento, colocándolos directamente en su fase exponencial y, de modo lograr que la producción de ácido comience tan pronto como la temperatura se eleve hasta la de coagulación (~30°C). Si bien se cree que la premaduración impide el crecimiento de gérmenes psicrotrofos, se considera que no ocurre lo mismo con ciertos microorganismos perjudiciales, por lo que, a veces, la leche se repasteuriza antes de agregar más iniciador, a los efectos de inactivar la flora nociva y evitar posibles defectos posteriores en el queso (Spreer, 1991; Fox et al., 2017).

Ciertamente, el proceso de acidificación depende de la naturaleza del estárter y el perfil de temperatura de la cuajada, propios del tipo de queso a elaborar.

Según Fox et al. (2017), el pH de la leche es un factor crítico en la elaboración de quesos. Normalmente, la adición de 1,5-2% de estárter produce una natural e inmediata reducción ~0,1 unidad en el pH de la leche de elaboración. Cabe destacar, sin embargo, que esto no ocurre con los fermentos concentrados de adición directa, en la actualidad ampliamente difundidos, dado que éstos no tienen un efecto acidificante inmediato, por lo que su adición se realiza entre 30-60 minutos antes de agregar el coagulante.

En algunos casos, como alternativa a la acidificación microbiológica, también es posible producir una acidificación directa mediante el uso de ácido (láctico o HCl) o de acidógenos (glucónico o ácido- δ -lactona). Esta metodología, además de ser más controlable, presenta la ventaja de no verse comprometida por la presencia de fagos, uno de los principales problemas que afectan a los estárteres responsables de la acidificación biológica. Sin embargo, es importante destacar que la acidificación producida por el fermento láctico, en el seno de la leche mantenida en reposo, permite obtener luego un gel homogéneo y liso, sin flóculos (Veisseyre, 1988). Por otro lado, es fundamental tener presente que, el uso de fermentos iniciadores, cumple un rol esencial en el proceso de la maduración del queso, a diferencia de la acidificación directa, cuyo efecto incide más en la textura que en el flavor del producto.

Este evento, constituye una etapa clave para la fabricación de un queso de óptima calidad, puesto que la velocidad y el nivel de acidificación tienen una incidencia directa sobre los eventos subsiguientes (Fox et al, 2017), como ser:

Que el proceso de acidificación, en el grado y el tiempo correcto, es una faceta clave para obtener un queso de buena calidad, dado que ésta influye directamente sobre los subsiguientes aspectos:

- a) Actividad del coagulante. La acidificación de la leche acerca su pH al valor óptimo del cuajo (5,5).
- b) Desnaturalización y retención del coagulante en la cuajada durante la fabricación, lo cual determina su nivel residual en el queso. Se ha demostrado que la retención de coagulantes gástricos (por ejemplo, quimosina de ternera o pepsina bovina) aumenta con la disminución del pH durante el corte de gel y en el drenaje de suero. Luego, durante el proceso de maduración, la cantidad de cuajo presente, influye en el grado de proteólisis y, por ende, puede afectar la calidad del producto final (Fox et al., 2017b).
- c) Resistencia mecánica de la cuajada, ligada al rendimiento quesero.
- d) Sinéresis del gel. Este suceso que controla la humedad de la cuajada, regula el crecimiento de los microorganismos y la actividad de las enzimas existentes en el

mismo, lo que impacta en la velocidad y el perfil de maduración y, consecuentemente, en la calidad del queso terminado.

- e) Desmineralización de la cuajada. Como ya se mencionó, el nivel de acidificación determina el grado de disolución del fosfato de calcio coloidal, lo que modifica la susceptibilidad de las caseínas a la proteólisis durante la maduración e influye en las propiedades reológicas (especialmente en la textura) del queso. En base a ello, se considera que el máximo pH para quesos duros debe ser entre 5,0 y 5,3, en tanto que para quesos suaves como Cottage, Quarg y Crema, este valor puede descender hasta 4,6 (Fox et al 2000).
- f) Selección microbiana. La acidificación controla el crecimiento de muchas bacterias no pertenecientes al fermento en el queso, incluyendo microorganismos patógenos y/o indeseables, como, por ejemplo, los productores de gas. En consecuencia, hecho correctamente, el queso es un producto muy seguro desde el punto de vista de la salud pública.
- g) Absorción de sal durante el salado. El pH del queso tiene una gran influencia en el proceso de salado, por cuanto afecta la cantidad de sal absorbida. En efecto, se ha demostrado que a menor pH en el queso se produce una mayor incorporación de sal durante el salado en salmuera (Geurts et al, 1980; Guinee and Sutherland, 2011).

La concentración de NaCl en el queso, comúnmente está entre 0,7-4% (~2-10% en la fase acuosa), lo que constituye una cantidad suficiente para detener el crecimiento de bacterias del fermento. Por ello, en algunas variedades de queso, en su mayoría de origen británico, que se salan mezclando sal seca con la cuajada, el pH de esta última se debe encontrar cercano a su valor final (~5,1), a los efectos de no interrumpir el normal proceso de acidificación. Sin embargo, en la mayoría de las variedades, los quesos son saladas por inmersión en salmuera o por aplicación superficial de sal seca y, dado que la difusión de la sal a través de la humedad es un proceso relativamente lento, hay suficiente tiempo para que el pH disminuya a ~5,0 antes de que la concentración de sal llegue a inhibir las bacterias del estárter. El pH de la cuajada para la mayoría de las variedades de queso, por ejemplo, Suiza, holandés, Tilsit, Azul, etc., se encuentra entre 6,5-6,2 durante el moldeo, pero disminuye a ~5,0-5,2 durante el prensado, antes de salar.

5.2.6 Conversión de leche a cuajada de queso: Coagulación

Después de que la leche ha sido estandarizada, pasteurizada o sometida a otro tipo de tratamiento requerido para su acondicionamiento, se la se transfiere a la batea o tina quesera en la que se llevará a cabo la elaboración del queso. Existe una gran diversidad de formatos de tinas queseras (semiesférica, rectangular, cilindro vertical u horizontal, “doble cero” etc.), las cuales, a su vez, pueden ser abiertas o cerradas, y cuya capacidad dependerá del volumen de producción. En la Figura 5.4 se puede apreciar dos diseños de tinas queseras.



Figura 5.4: a) Tina clásica de forma troncocónica. b) Tina “doble cero”

Una vez que la leche ha sido colocada en la tina, se produce su coagulación, a los efectos de obtener la cuajada del queso. Este proceso comprende tres operaciones básicas: acidificación, coagulación y deshidratación (Fox et al., 2017).

- Coagulación de la leche. A valores de pH inferiores a 7, se puede apreciar una mayor velocidad de coagulación, lo cual obedece a dos razones. En primer lugar, se favorece la actividad de la enzima coagulante, cuyo pH óptimo es 5,5 (a pH alcalino se inactiva) y, en segundo lugar, a valores de pH más ácidos, las micelas de caseína exhiben una menor carga neta, lo cual disminuye su estabilidad. Así, se observa que; a pH 6,7 la fase de coagulación es más larga que la enzimática, a pH 6,3 ambas fases se desarrollan en el

mismo tiempo, y a pH inferior a 6,3, la coagulación se acelera y finaliza antes que la etapa enzimática haya concluido (Veisseyre, 1988).

- Desnaturalización y retención del coagulante en la cuajada durante la manufactura. Se ha demostrado que, la cantidad de cuajo retenida por la cuajada, aumenta significativamente cuando el pH de la leche se reduce por debajo de 6,1 (Bansal et al, 2007), lo cual influye directamente en el proceso de proteólisis durante la maduración y, por lo tanto, en las características del producto final (Hynes et al, 2004a; Hynes et al, 2004b).
- La fuerza de la cuajada. El equilibrio salino tiene un papel importante en las características de la cuajada y, consecuentemente, en el rendimiento del quesero. En efecto, según Spreer (1998), la adición de 10 g de cloruro de calcio en 100 L de leche, hace que se rebaje el pH y, por tanto, que se acorte el tiempo de coagulación. Asimismo, sugiere que la adición de 20 g de fosfato cálcico por 100 L de leche, acorta igualmente el tiempo de tratamiento del coagulo y mejora la calidad de la cuajada.
- La sinéresis del gel. La contracción espontánea del gel (fenómeno conocido como sinéresis) controla la humedad del queso y, a su vez, el desarrollo de bacterias y la actividad de enzimas presentes en el mismo, todo lo cual, influye fuertemente en su perfil de maduración, y, por ende, en sus características finales.
- Desmineralización de la cuajada. La tasa de acidificación determina el grado de disolución del fosfato de calcio coloidal, lo que modifica la susceptibilidad de la caseína a la proteólisis durante la maduración, y a su vez, incide sobre las propiedades reológicas del queso (Hynes et al., 1999; Lee et al., 2005; Bertola et al., 2010).
- Control del desarrollo microbiano. La acidificación controla el crecimiento de muchas bacterias no estárter en el queso, incluyendo patógenos (Fox et al., 2017).

Cabe señalar que el contenido de sal en el queso tiene gran influencia en el proceso de acidificación. En efecto, la concentración de NaCl en el queso, que comúnmente se encuentra en el orden de 0,7 a 4% (lo que equivale a ~2-10% en base húmeda), según la variedad, es suficiente para retrasar o detener el crecimiento de bacterias estárter. Es por ello que, en aquellos casos en que el salado se realiza mezclando la cuajada con sal seca (especialmente en quesos de origen británico), esta operación se realiza una vez que se ha alcanzado el pH final (~5,1). Sin embargo, la mayoría de variedades son saladas por inmersión en salmuera o por aplicación en la

superficie de sal seca. Bajo estas condiciones, la difusión de la sal en la humedad del queso es relativamente lenta, lo cual permite que haya un descenso del pH hasta ~5,0 antes que la concentración de sal llegue a inhibir el proceso de acidificación. De este modo, en términos generales, se verifica que el pH de la mayoría de las cuajadas, al momento de ser moldeadas y prensadas, es de 6,2-6,5, pero rápidamente decrece a ~5,0-5,2, durante el prensado y antes del salado (Fox et al.,2017).

En pocos casos especiales, como en el queso Domiati (queso blanco de origen egipcio), tradicionalmente, se adiciona un alto nivel del NaCl (10-12%) a la leche de elaboración, previo a la coagulación, a los efectos de controlar el crecimiento de la flora nativa. Esta concentración de sal tiene una considerable influencia, no sólo en el desarrollo de la acidez (se emplean estárteres compuestos por lactobacilos halotolerantes), sino también en la coagulación, la fuerza del gel y la sinéresis de la cuajada (Fox, 2011; Fox et al., 2017).

5.2.6.1 Coagulación

El paso esencial y característico en la elaboración de todas las variedades de queso, es la coagulación de la caseína, que da lugar a la formación de un gel, que retiene todos los componentes de la leche, incluyendo la materia grasa. (Fox et al.,2017). La coagulación puede conseguirse por:

- Proteólisis limitada por proteinasas selectivas (cuajo)
- Acidificación a pH ~4,6
- Acidificación a pH >4,6 (posiblemente~5,2) en combinación con calor a ~90°C

La forma más difundida dentro de la tecnología quesera, es realizar una coagulación mediante enzimas específicas, pertenecientes al grupo de las proteasas ácidas, genéricamente conocidas como cuajo, cuyo mecanismo de acción fue descrito precedentemente en el punto 5.2.6.

5.2.6.2 Tipos de coagulantes

a) Cuajos de origen animal

Durante siglos, el coagulante más utilizado ha sido el cuajo animal, antiguamente llamado renina. Comprende un conjunto de enzimas pertenecientes al grupo de las aspartatoproteinasas. Pepsina A (EC. 3.4.23.1), Pepsina B (EC. 3.4.23.2), Gastricina (EC. 3.4.23.3), en muy baja proporción y menos estudiada. Estas enzimas son secretadas por el abomaso (estomago verdadero de los rumiantes jóvenes) en forma inactiva o zimógeno, denominada pro-quimosina, la cual se activa autocatalíticamente por liberación de un péptido N-terminal, proceso acelerado por la presencia de iones H^+ .

Los cuajos provenientes de animales rumiantes, presentan una relación enzimática entre quimosina/pepsina de ~80%-20% respectivamente. Sin embargo, a medida que los animales crecen y comienzan con la ingesta de pasturas, esta relación se invierte, pasando a ser del orden de un 20% para la quimosina y un 80% para la pepsina. Este es un aspecto importante, dado que la pepsina exhibe una menor actividad específica y poder coagulante que la quimosina.

Por otro lado, existen también coagulantes de leche, obtenidos a partir de animales no rumiantes, como es el caso de la pepsina porcina y pepsina de pollo, los que son utilizados en algunos países debido a cuestiones culturales-religiosas como por ejemplo el Estado de Israel, República Checa o en Estado Unidos, donde se emplea la pepsina porcina mezclada con pepsina bovina y quimosina. La utilización de estas enzimas en la elaboración de quesos, conduce al desarrollo de características de textura, aroma y sabor muy diferentes a las obtenidas cuando se emplea cuajo bovino. (Zalazar, 1994; Ferradini et al., 2007).

Una de las prácticas más difundidas en quesería, especialmente en Europa, es la utilización del cuajo animal en pasta, cuya principal característica es que su composición incluye ciertas lipasas que se suman a las enzimas proteolíticas, las cuales contribuyen al desarrollo del flavor propio del queso. En este sentido, uno de los coagulantes de mayor difusión en regiones europeas para la fabricación de queso de oveja, es el cuajo en pasta de cabrito, el cual es utilizado en el 80% de las fábricas tradicionales de Catanzaro, región de Calabria, Italia (Moschopoulou, 2011).

b) Coagulantes de origen microbiano

Como ya se indicó, debido a la limitada disponibilidad y elevado costo del cuajo de ternero mamón, se han desarrollado sustitutos de distinto origen. Entre los más destacados se encuentran los de origen microbiano, que actualmente abarcan una fracción considerable de la demanda de enzimas coagulantes de todo el mundo.

Los primeros coagulantes de origen microbiano que se implementaron, fueron los obtenidos por fermentación a partir de distintos microorganismos, como por ejemplo las enzimas fúngicas con capacidad de coagular la leche, provenientes de *Rhizomucor miehei*, (Renilasa, Mucorpepsin, EC.3.4.23.73), *Rhizomucor pusilus*, (EC.3.4.23.23) y *Cryphonectria parasítica* (antiguamente conocida como *Endotia parasitica*), (EC 3.4.23.22) (Wolfgang Aehle, 2007).

Paralelamente, también se han reportado enzimas coagulantes producidas por bacterias tales como *Bacillus cereus*, *Bacillus polimixas*, *Bacillus mesentericus*, etc., pero éstas existen como parte de mezclas crudas que contienen otras enzimas altamente proteolíticas, que resultan nocivas para las características de los quesos (Zalazar, 1994).

Por otro lado, el rol esencial que cumple el cuajo de ternero mamón, ha inducido a los científicos a emplear técnicas de ingeniería genética para obtener quimosina, la cual, como ya se mencionó, es su principal enzima. Por consiguiente, a partir de 1988, ingresó al mercado un nuevo grupo de coagulantes, producidos a partir de microorganismos genéticamente modificados, conocidos comercialmente como quimosinas producidas por fermentación (RPF). Básicamente, el gen que codifica la producción de pro-quimosina bovina tipo B (aislado del cuarto estómago de un ternero mamón) se implanta en el genoma de una levadura como *Kluyveromyces lactis* o de hongos tales como *Aspergillus oryzae*, *Aspergillus niger*. La enzima se sintetiza en forma de pro-quimosina, que se activa tras el lisado de las células, una vez detenida la fermentación. Si bien la cadena polipeptídica obtenida por esta vía, es evidentemente idéntica a la de la quimosina bovina, la glicosilación de la misma es distinta.

Kappeler et al. (2006), expresaron el gen que codifica la quimosina de camello (*Camelus dromedarius*) en *Aspergillus niger* y produjeron quimosina de camello por fermentación,

conocida como “quimosina de camello recombinante”, la cual exhibió una óptima performance (Bansal et al., 2009).

c) Coagulantes de origen vegetal

De acuerdo a su origen, existe un tercer grupo de coagulantes, que corresponde a los que se obtienen a partir de la secreción y maceración de plantas tales como el cardo silvestre (*Cynara cardunculus*), la higuera y el mamón, siendo la primera la de mayor aplicación. La principal característica que poseen estas enzimas, es su bajo poder coagulante y su elevada e inespecífica actividad proteolítica, que puede conducir a la formación de compuestos indeseables. Esta problemática, sumada a la dificultad que presenta su obtención en grandes cantidades, ha hecho que estos coagulantes no posean una amplia difusión, y que su uso se vea circunscripto a acotadas regiones del mundo, para la elaboración de quesos artesanales tales como el Serra y el Serpa de Portugal (Zalazar, 1994) o la Torta del Casar (queso español, con denominación de origen protegida, elaborado con enzima de *C. cardunculus*) (Rey, 2013).

5.2.6.3 Actividad coagulante

Los aspectos más importantes que se deben conocer de una enzima coagulante de leche son su actividad o tiempo de coagulación y su composición enzimática cuali y cuantitativa cuando se trata de mezclas.

La actividad coagulante normalmente se expresa como fuerza o título, cuya forma más difundida indica que es la cantidad de mililitros de leche que coagula un mililitro de coagulante en 40 minutos a 37°C, y cuyo resultado se expresa en forma de proporción (Eck, 1990). Según esta definición, los productos líquidos normalmente tienen un título de 1:10.000 y los en polvo de 1:100.000 (Zalazar et al., 2006). Sin embargo, dado que esta unidad depende mucho del pH y calidad de la leche (por ejemplo, su contenido de calcio) y no se cuenta con estándares de referencia, su valor debería utilizarse sólo como una guía de aproximación.

En virtud de ello, La Federación Internacional Láctea, o IDF (por sus siglas en inglés), en asociación con ISO (la Organización Internacional para la Estandarización) y un grupo de expertos de la AOAC (Asociación de Químicos Analíticos Oficiales) han desarrollado un método

internacional (Standard 157 A, 1997a) para medir la actividad coagulante de la leche por cuajo de origen bovino, aunque también puede aplicarse a la quimosina producida por fermentación (FPC). La fuerza determinada por los métodos de la IDF se expresa en IMCU (International Milk Clotting Units), actualmente el parámetro más difundido. Así, una Fuerza de 1:10000 equivale a 100 IMCU g^{-1} ó 110 IMCU ml^{-1} .

Para la determinación del título se ha implementado una gran cantidad de métodos y equipos, siendo los más difundidos el visual de Berridge y el reológico de la Foss Electric (Huck y Zalazar, 1971/72; Meinardi et al., 2002).

Para la cuali y cuantificación de las enzimas presentes en productos mezcla han sido propuestas numerosas técnicas basadas en cromatografía, desnaturalización selectiva por pH, inmunodifusión, inmunoelectroforesis, ELISA, etc. (Corradini y Zalazar, 1990).

5.2.6.4 Factores que influyen sobre la coagulación de la leche

a) Los principales factores que influyen sobre la coagulación de la leche son:

- *Dosis del cuajo.* La velocidad de coagulación es sensiblemente proporcional a la dosis de cuajo utilizada y a su Título. No obstante, la regla se cumple cuando los volúmenes de leche están entre 2000 y 15000 veces el del cuajo comercial 1:10000 (Veisseyre, 1988). La cantidad empleada de cuajo de ternera, cuando su poder coagulante es 1:10000, oscila entre 15 y 20 g por cada 1000 L de leche de quesería, mientras que, para la Renilasa, la dosis correspondiente es 40-45 cm^3 para igual volumen de leche (Spreer, 1991).
- *Temperatura.* La actividad del cuajo, exhibe una acentuada dependencia de la temperatura. En efecto, se ha demostrado que, a partir de los 20°C, la velocidad de coagulación se incrementa progresivamente, hasta alcanzar su máximo a los 40-42°C y disminuye ostensiblemente por encima de los 50°C, llegando a anularse a temperaturas superiores a los 65°C, lo cual se atribuye a la extensa desnaturalización que sufre la enzima a alta temperatura, tal como ocurre en quesos de pasta cocida (Sousa *et al.*, 2001; Gagnaire et al., 2001; Gaiaschi et al., 2000; Hynes et al., 2004a). A su vez, entre 10 y 20°C el gel se forma lentamente, mientras que, por debajo de

6°C, la coagulación no tiene lugar (Zalazar et al., 2006). En virtud de lo expuesto, para la mayoría de variedades de quesos, se utilizan temperaturas entre 28-34 °C (Fox et al., 2017; Harboe, Broe y Qvist, 2010; Spreer, 1991).

- pH. Como se ha mencionado, el pH influye fuertemente, tanto en las características del gel, como en el tiempo de coagulación, es decir, el período transcurrido desde que se coloca el cuajo hasta que empieza la coagulación. Los valores de pH óptimos para la fabricación de queso, oscilan entre 6,2 y 6,5, aunque cuando se trabaja con pepsina, se recomiendan valores entre 6,1 y 6,3, dado que la máxima actividad de esta enzima se registra a pH 6.2 (Hofmann, 1974; Spreer, 1991).

b) Adición del cuajo

Una vez que se ha finalizado el acondicionamiento de la leche de elaboración (premaduración, pasteurización y/o estandarización del contenido de materia grasa), incluyendo la reposición de CaCl_2 , como se mencionó en el Punto correspondiente al inciso 4.2.2, se procede a el agregado del cuajo a los efectos producir su coagulación.

Los pasos a seguir son:

1. Diluir el cuajo en agua, en una proporción de ~1:40, con el objeto de facilitar su posterior disolución en la leche (Rajinder Nath, 1993).
2. Remover bien la leche y adicionar la solución de coagulante, manteniendo la agitación, de modo de lograr su completa y homogénea disolución.
3. Suspender la agitación, y dejar que la leche permanezca en reposo, para producir una correcta gelificación. Este es un aspecto de suma importancia, por cuanto, si la leche se encuentra en movimiento al comenzar el proceso de coagulación, éste se verá alterado, pudiendo conducir a una pérdida de caseína (comúnmente conocida como finos) con el lactosuero (Spreer, 1991).

c) Operaciones Post Coagulación

Los geles de leche obtenidos por vía enzimática o ácida son bastante estables si se mantienen en reposo, pero cuando éstos son cortados o se rompen, se propicia la aparición nuevas

interacciones entre las cadenas proteicas, que conducen a una contracción del coágulo, con la consiguiente expulsión del suero, fenómeno conocido como sinéresis. En la Figura 5.5 se presenta un esquema muy simplificado del proceso de sinéresis (Walstra et al., 2006).

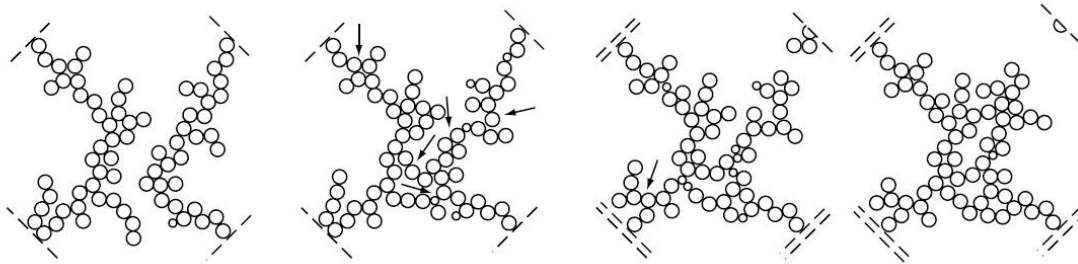


Figura 5.5: Representación esquemática de cadenas (hebras) de micelas de paracaseína formando nuevas uniones, que conducen a la ruptura de una de ellas y a la contracción (local) de la red de gel.

Por ello, una vez que el gel ha adquirido la consistencia adecuada, además de presentar una elasticidad y estructura determinada, se procede a trocearlo, con el propósito de obtener una gran superficie libre que permita la salida del suero (expurgue), intersticial (Spreer, 1998; Hui, 1993; Johnson y Law, 2010). Es una acción que inicia de manera cuidadosa para no destruir el gel que aún es poco consistente, de manera tal de evitar pérdidas de finos (partículas de caseína) y materia grasa en el suero. Sin embargo, lo más importante es determinar el momento correcto en el cual se debe iniciar el corte, estimación que generalmente se realiza de manera empírica y depende mucho de la experiencia del operador (Spreer, 1991).

El coágulo se corta primeramente en tiras o trozos regulares de 2 a 3 cm de ancho. Los quesos de pasta dura y firme, exigen un troceado adicional, y un calentamiento a agitación constante (cocción), para lograr un mayor expurgue de la fase acuosa. En efecto, cuanto más fino sea el corte del coágulo, es decir, cuanto más pequeño sea el tamaño del grano de cuajada obtenido mediante el lirado de la misma, se tendrá una mayor superficie específica global, lo cual facilitará el drenaje del suero. De este modo, el tamaño final del grano de cuajada, quedará definido por el tipo de queso a elaborar y, por consiguiente, por su contenido de humedad requerido (Spreer, 1998; Dejmek y Walstra, 2004). Así, en nuestro país, desde hace tiempo, se ha adoptado el siguiente criterio; para quesos de pasta blanda, de alta humedad (46-54%) como el

Cre moso Argentino, la cuajada se corta hasta obtener granos del tamaño de una nuez; para quesos semiduros, de humedad intermedia (36,0 y 45,9%), como el Pategrás o Gouda Argentino, el tamaño del grano, se aproxima al maíz, mientras que en los quesos duros o de baja humedad (menor al 35,9%), el grano se reduce a un tamaño equivalente al de uno de arroz, o menos (Zalazar et al., 2009).

El troceado de la cuajada se puede realizar manualmente mediante sables, cuchillas o lira de corte (Figura 5.6), o bien en forma mecánica, mediante dispositivos debidamente instalados (Figura 5.7) (Spreer, 1998). Cuando el corte se realiza mediante liras, la operación se conoce comúnmente como lirado de la cuajada.

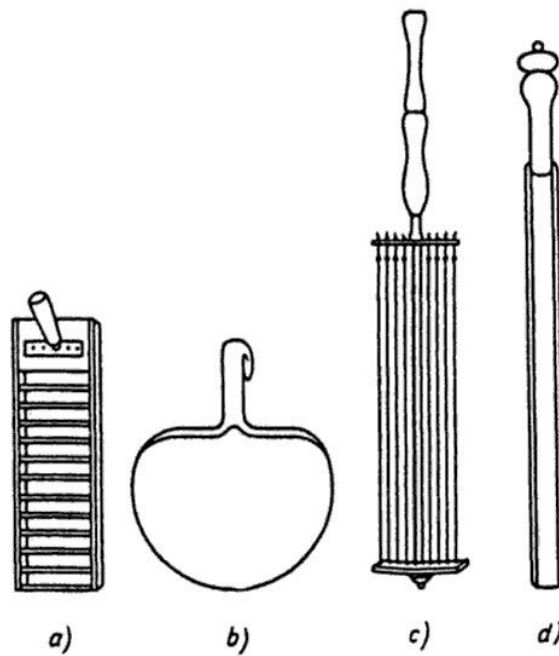


Figura 5.6: Utensilios empleados para producir el corte del coágulo: Cuchillo para cuajada (a), Cucharón (b), Lira (c), Sable (d).



Figura 5.7: Distintos sistemas para cortar el coágulo mecánicamente.

En la Figura 5.8 se puede apreciar el corte mecánico del coágulo, con el consecuente proceso de sinéresis.



Figura 5.8: Corte del gel y proceso de sinéresis

5.2.6.5 Factores que afectan la extensión de la sinéresis experimentada por los granos de cuajada

- Composición de la leche; especialmente por las características de las caseínas y la concentración de Ca^{+2} . La sinéresis provoca, en primer lugar, la aparición de una tensión de retracción, debida a diferentes interacciones entre las moléculas de caseína (puentes iónicos e interacciones hidrofóbicas), que estrecha las cavidades

re llenas de suero, lo cual incrementa la presión a la que se encuentra sometido el suero. Esta presión hace que se expulse el suero de las cavidades, pero este flujo se ve dificultado por la resistencia que ofrece la red de paracaseinato. La magnitud de esta resistencia depende de la consistencia del coágulo y del recorrido que emprenda el suero en su desplazamiento hacia la superficie. (Lucey, 2011).

- pH del suero. Se ha demostrado que, cuanto más bajo sea el valor de pH, mayor será la retracción de coágulo y consecuente el desuerado (Spreer, 1991; Lucey, 2011), tal como se puede apreciar en la Figura 5.9b.
- Temperatura de cocción, La sinéresis se ve favorecida por una mayor temperatura de coagulación o de cocción. En efecto, por un lado, la temperatura reduce la viscosidad de la fase acuosa, lo que incrementa los procesos difusionales y, por ende, su escurrimiento. Por otro lado, aumenta el movimiento de cadenas proteicas (hebras) en la red, lo cual propicia interacciones entre las mismas, lo cual conduce a un encogimiento de las partículas, y consecuente expulsión del suero retenido por las mismas, como se muestra en la Figura 5.9a (Lucey, 2011).

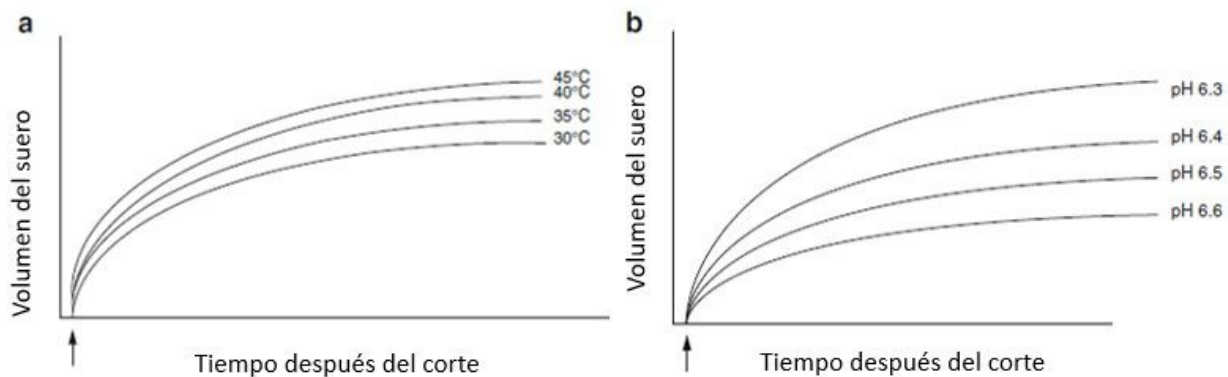


Figura 5.9: Efecto de la temperatura (a) y el pH (b) sobre la tasa de sinéresis en geles cortados de leche cuajada.

5.2.6.6 Condiciones de agitación de la mezcla suero-cuajada y el tiempo.

Como ya se mencionó, el coágulo enzimático tiende a contraerse, y esta contracción se acelera al cortar el coágulo, primeramente, en piezas cúbicas de escasos centímetros de lado y

posteriormente en pequeños granos, debido a que se produce una reducción en la distancia que el suero tiene que recorrer (a través de la matriz de paracaseína) para alcanzar una superficie donde se libera. De este modo, durante la sinéresis, tienen lugar dos sucesos concomitantes; por un lado, la contracción de la cuajada con la consecuente reducción en su contenido de humedad y, por ende, en su peso, y, por otro lado, el aumento en el volumen de suero expelido. Sin embargo, dado que las partículas de cuajada se encuentran en un medio cuyo volumen de suero es creciente, inicialmente, ambos sucesos resultan muy dependientes del tiempo, tendiendo luego a alcanzar valores estables (Figura 5.10a). Como consecuencia de ello, la sinéresis experimenta una marcada disminución inicial, durante aproximadamente los primeros 30 minutos, y luego desciende paulatinamente hasta hacerse cero (Figura 5.10b). (Law y Tamime, 2010).

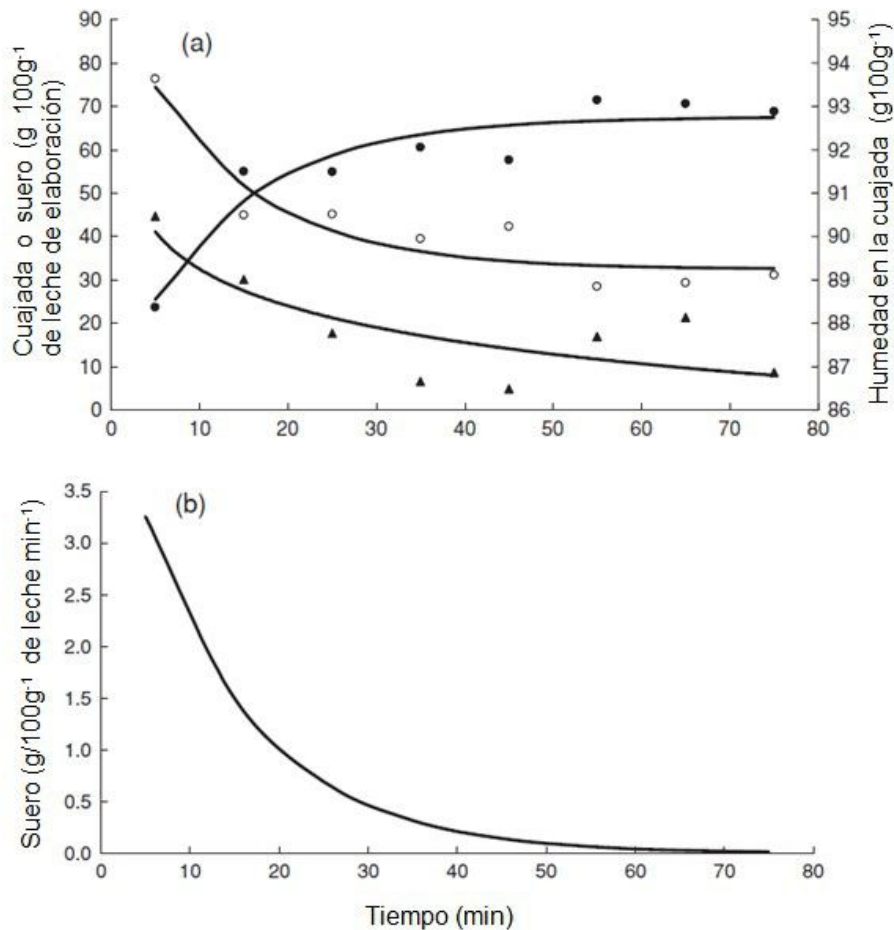


Figura 5.10: Efecto del tiempo de agitación en: (a) los pesos del suero de leche (●) y la cuajada (○) y la humedad de la cuajada (▲) y (b) grado de sinéresis.

Valores obtenidos a partir de una cuajada elaborada en una tina experimental (con corte controlado y sistema de agitación) empelando una leche con 3,2% (P/P) de proteína y 1,4% (P/P) de materia grasa.

Indudablemente, el volumen de suero expurgado se verá incrementado conforme aumente la intensidad de agitación a la que se someta la mezcla suero-granos de cuajada. En la Figura 5.11, se puede apreciar la diferencia entre el volumen de suero expelido en función del tiempo transcurrido luego de realizar el lirado, entre una cuajada agitada y una mantenida en reposo (Walstra et al., 2006)

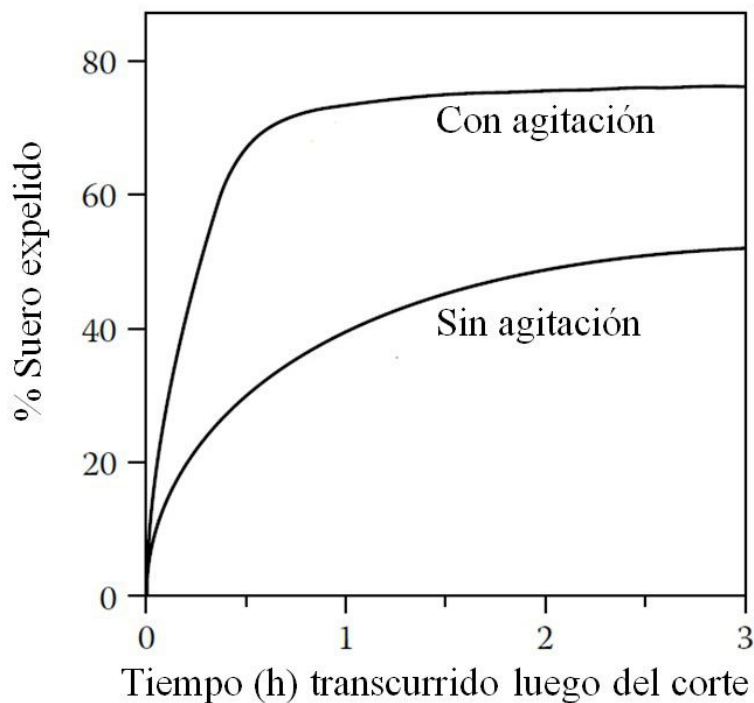


Figura 5.11: Volumen de suero expelido (como porcentaje del volumen original de leche) en función del tiempo después del inicio del corte, con o sin agitación. Cuajada mantenida en el suero a 38°C.

En virtud de lo expuesto, se infiere que la composición final del queso está determinada por el grado de sinéresis. Por lo tanto, una vez que la cuajada ha sido dividida hasta el tamaño requerido, mediante el efecto combinado de la temperatura (cocción), acidificación (actividad del fermento) y la acción mecánica (agitación), los granos de cuajada son llevados, por sinéresis, al nivel de humedad preciso (Zalazar et al., 1999; Dejmek y Walstra, 2004).

De esta suerte, las diferentes formas en que un quesero conduzca estas etapas, sumadas al tipo y composición de leche, fermento y coagulante empleados, dará lugar a las distintas variedades de queso (Fox et al., 2017).

5.2.7 Remoción del suero, moldeado y prensado de la cuajada

Cuando se ha llegado al grado de sinéresis y pH deseado, la cuajada se separa del suero por alguna de las siguientes metodologías: transferencia de la cuajada a moldes con agujeros (común en variedades de queso suave como Camembert); permitiendo que la cuajada se asiente en el fondo de la tina, removiendo por succión el suero sobrenadante (Gouda, Enmental); recolectando la cuajada desde la tina utilizando telas fuertes, y colocándolas en moldes (Parmigiano Reggiano) ó drenando el suero desde la cuajada, usando tamices perforados (cheddar, queso para pizza) (Fox et al., 2017). Indudablemente, el tratamiento de la cuajada deberá ser con mayor delicadeza cuánto más elevada sea su humedad, es decir, cuánto blanda sea su estructura.

Los moldes son principalmente plásticos (raramente metálicos o de madera), y su forma puede rectangular o circular, cuyas dimensiones le son transferidas a la masa de queso.

En general, se emplean moldes cuya altura es 2-3 veces la altura final del queso, debido a que en éstos se produce una gran reducción de volumen, debido a la salida del suero.

Muchos quesos son hechos del tamaño y forma tradicional, por ejemplo: cilindros delgados y pequeños (Brie, Camembert), cilindros grandes, con capacidades que van de 5 a 40 Kg (Cheddar, Parmesano), cilindros grandes y bajos (Enmental), esféricos (Edam). Sin embargo, en algunos casos la forma tradicional ha sido abandonada, como ha ocurrido con los quesos Cheddar y Enmental que hoy en día se los produce en bloques rectangulares o cúbicos. En determinadas ocasiones, el tamaño y forma del queso responden a razones tradicionales o estéticas, sin embargo, en muchas variedades, las dimensiones del queso tienen gran importancia en su proceso de maduración. Así, por ejemplo, en quesos madurados superficialmente, como el Camembert, se requiere que su tamaño sea pequeño, dado que la microflora, cuya actividad en la maduración es fundamental, resulta efectiva sólo en una corta distancia. Por el contrario, en

aquellos quesos en los que se deben producir ojos a partir de la fermentación del ácido propiónico, como por ejemplo el queso Emmental, se requiere una masa cerrada y suficientemente grande para retener el CO₂ que originará los ojos. Así, por ejemplo, para la elaboración de un queso tipo Emmental de 80 Kg, se requieren de 120L de CO₂ (que se producen durante la maduración), de los cuales, 60L se disuelven en la masa del queso, 40L se difunden fuera del queso y 20L conforman los ojos (Fox et al., 2017).

En la Figura 5.12 se presenta una selección de quesos típicos, con su formato característico.



Cheddar



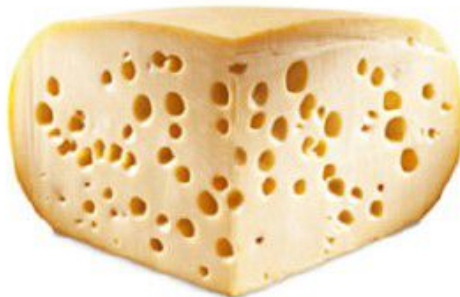
Camembert



Blue



Edam



Emmental



Gouda



Parmigiano-reggiano



Provolone

Figura 5.12: Ejemplo del formato de algunos quesos típicos

Una vez que la cuajada ha sido colocada en el molde correspondiente, se la somete a un prensado final, cuyo propósito es proporcionar a la cuajada la forma deseada, eliminar el excedente de suero, facilitar la fusión entre los granos, lo cual consolida la masa y contribuye a su textura e iniciar la formación de la corteza, especialmente en quesos de larga maduración (Gösta Bylund, 1995; Spreer, 1998; Walstra et al., 2006b; Guinee y Brien, 2010; Fox et al., 2017).

En los quesos de pasta blanda o de alta humedad (no cocidos) tal, como el Cremoso Argentino, se implementa un ligero prensado, que puede ser por el propio peso de la cuajada, o bien mediante el apilamiento de dos o tres moldes (Figura 5.13a). En este caso, se emplean moldes cuadrados de 24 x 24 cm de lado, y ~15 cm de alto, que se colocan en un ambiente templado para facilitar el desarrollo del estárter, y que comiencen a acidificar la pasta. Una vez que el pH de la cuajada alcanza su valor final de 5,1-5,2 (lo que equivale a una acidez de unos 65° Dornic), lo cual puede insumir entre 2 y 3 horas, dependiendo de la actividad del fermento, los quesos se extraen de los moldes y se sumergen en salmuera a 5°C, para detener inmediatamente el proceso de acidificación.

Por el contrario, cuando se trata de quesos duros o semiduros, el prensado es más intenso, y por ello se recurre a medios externos, conocidos como prensas, en las cuales se aplica una adecuada presión a los moldes (Figura 5.13b). En este caso, los quesos se mantienen bajo tales condiciones por un período de aproximadamente 12 horas para los quesos semiduros y 24 horas para los duros (Zalazar et al., 1999).

Durante la permanencia de la cuajada en los moldes, éstos se voltean periódicamente; de 8 a 10 veces (inicialmente cada 15-30 minutos, luego cada 1-2,5 horas dependiendo del tipo de queso), de 5 a 8 veces a los efectos de favorecer la salida del excedente de suero y para que adquieran un formato lo más homogéneo posible (Spreer, 1991; Zalazar et al., 1999).



Figura 5.13a: Quesos blandos: leve prensado de la masa por apilamiento de dos (o tres) moldes superposición de moldes. b- Quesos duros o semiduros: prensado intenso mediante el empleo de prensa.

5.2.8 Salado

Si bien el salado es la última operación en un proceso de elaboración de queso, su rol en el desarrollo de las características del producto final, es esencial. En efecto, la incorporación de cloruro de sodio (NaCl) a la matriz caseosa, cumple las siguientes funciones (Hardy, 1990; Zamboni, 1994; Spreer, 1998b; Guinee, 2004; Melilli et al., 2004; Cuffia et al., 2015; Fox et al., 2017c):

- a) Contribuye al sabor del queso (función gustativa): La sal interactúa con las sustancias sápidas propias del queso, enmascarando o exaltando sabores, haciéndolo más agradable al paladar del consumidor.
- b) Completa el desuerado de los quesos (expurgue terciario): Durante el proceso de salado, en virtud de un efecto osmótico, concomitantemente con el ingreso de la sal, se produce la evacuación de una cierta cantidad de suero desde su interior. No obstante, si bien el salado promueve la sinéresis, no constituye un factor adecuado para controlar la humedad del queso, dado que la presencia de sal en la masa conlleva otros efectos que pueden alterar la calidad del producto (Fox y McSweeney, 1998).
- c) Controla la actividad microbiológica y enzimática: El aumento de la concentración salina dentro del queso inhibe varias reacciones enzimáticas y evita el desarrollo de

microorganismos contaminantes (en especial aquellos responsables del fenómeno de hinchamiento). Este mecanismo se produce básicamente por la disminución en la actividad del agua (a_w) que realiza la sal en el interior del queso.

- d) Regula ciertas características reológicas de la pasta: La sustitución de Ca^{+2} por Na^+ en la masa, le confiere ternura, haciéndola más esponjosa y menos plástica.
- e) Propicia la formación de la corteza: El proceso de salado en salmuera contribuye a la formación de una corteza más rígida que protege mecánicamente al queso, manteniendo más definida su forma.
- f) En quesos los blandos, termoexitados, permite controlar el proceso de acidificación, dado que, al ser colocados en la salmuera (aproximadamente a unos 5°C), su temperatura desciende rápidamente, hasta $\sim 10^\circ\text{C}$, lo cual retarda el desarrollo de los fermentos termófilos.

Así, cada queso, de acuerdo a sus características, tendrá un contenido de sal determinado, tal como se puede apreciar en la Tabla 5.1 (Fox et al., 2017c).

Tabla 5.1: Composición aproximada de algunas variedades de queso (datos extraídos de distintas fuentes).

Variedad	Humedad (g/100 g)	Proteína (g/100 g)	Materia Grasa (g/100 g)	NaCl (g/100 g)	Sal en la Humedad (g/100 g)
Brie	48,6	19,2	26,9	1,8	3,7
Camembert	50,7	20,9	23,7	2,1	4,1
Cheddar	37,2	25,4	33,1	1,8	4,8
Cheddar reducido en Materia Grasa	43,0	33,4	17,0	1,9	4,4
Cheshire	38,5	24,2	31,9	1,8	4,7
Queso Cottage	79,1	13,8	3,9	1,0	1,3
Danés azul	43,0	17,4	37,3	3,3	7,7
Edam	43,8	26,0	25,4	2,0	4,6
Emmental	35,7	28,7	29,7	0,7	2,0
Feta	56,5	15,6	20,2	2,8	5,0
Gouda	40,1	24,0	31,0	2,1	3,6
Gruyere	33,6	27,3	34,5	1,2	5,2
Mozzarella	49,8	25,1	21,0	1,5	3,0
Parmesano	30,6	34,9	26,0	2,8	9,2
Queso procesado	49,1	18,3	23,3	3,4	6,9
Ricotta	73,2	11,3	10,3	0,4	0,5
Roquefort	41,3	19,7	32,9	3,8	9,2
Stilton	40,5	21,6	33,7	3,5	8,6
Domiatí	55,0	12,0	25,0	4,8	8,7

Si bien existen diversos métodos de salado, como por ejemplo: adición de sal a la cuajada (principalmente empleado en la fabricación de queso Cheddar), salado en seco sobre la superficie del queso (para ciertos quesos artesanales), actualmente, el más difundido, dada su economía y practicidad, es mediante la inmersión en salmuera (Zamboni, 1994, Spreer, 1998b, Guinee y Sutherland, 2011).

Una salmuera es simplemente una solución concentrada de cloruro de sodio en agua (por lo general, en el orden del 20-22% P/P), a la que suele agregarse también cloruro de calcio (0,2-0,3% P/P). Sin embargo, con el tiempo de uso, se van incorporando otras sustancias procedentes del queso, en especial sustancias solubles transportadas por el suero durante el expurgue terciario, como ser; proteínas solubles, nitrógeno no proteico, lactosa y sales minerales (principalmente Ca^{+2} , K^+ , Mg^{+2} , P, etc.).

La absorción de sal en el queso durante el salado, depende de numerosos factores, que son los que determinan las condiciones bajo las que se realiza esta operación. Entre los más relevantes se pueden mencionar; concentración de la salmuera, composición del queso (principalmente contenido de humedad y pH), tamaño y geometría de la horma, tiempo y temperatura de salado, etc. (Zamboni, 1994; Guinee, 2004; Guinee y Sutherland, 2011; Fox et al., 2017c).

Con respecto a la concentración de la salmuera, obviamente, cuanto elevada sea, mayor será la cantidad de sal absorbida por el queso. Sin embargo, si el contenido de sal es exagerado, se producirán gradientes que propiciarán la formación de una corteza muy gruesa y dura (especialmente en quesos de pasta dura), que dificultará la incorporación de sal (Zamboni, 1994; Melilli, 2006).

Normalmente, las concentraciones más utilizadas para el salado son 20-22% (algunos autores indican hasta un 25%) de sal para los quesos duros y 16-18% para los quesos blandos, mientras que, para algunos salados breves y excepcionales, se usan salmueras diluidas (12-14%) (Zamboni, 1994; Gauna, 2005).

En cuanto al tiempo y temperatura de salado, dado que ambos factores son condicionantes directos de la cantidad de sal que incorporará el queso, sus magnitudes dependerán del tipo de queso elaborado. No obstante, en términos generales, se adoptan: ~1 hora por Kg de queso, a unos 5° C, para quesos blandos; 12 a 16 horas por Kg de queso, a 12-15° C, para quesos semiduros y ~24 horas por Kg de queso, a 15-18° C para queso duros (Zalazar et al., 1999).

Cabe mencionar que las temperaturas adoptadas para la salmuera, se correlacionan con la de cámara donde tendrá lugar el proceso de maduración.

En la Figura 5.14 se puede apreciar el salado de quesos duros (Parmigiano Reggiano) por colocación en salmuera



Figura 5.14: Colocación de los quesos en bateas con salmuera

Actualmente, atendiendo a las sugerencias realizadas por los organismos encargados de la sanidad de numerosos países, en las que se aconseja disminuir el contenido de sal en los alimentos, se han introducido distintas alternativas para reducir el contenido de sodio en los quesos. Si bien la cantidad de sal que el queso aporta a la dieta es baja, incluso con un alto consumo (20 Kg de queso con ~2% de NaCl, representan unos 400g de NaCl por año), teniendo

en cuenta su importancia en la tecnología quesera tradicional, considerar su supresión total, resulta realmente impracticable. En virtud de ello, uno de los recursos más comunes consiste en reemplazar una parte de NaCl por un sucedáneo tal como el cloruro de potasio (Fox et al., 2017). Normalmente se sustituye una cantidad que puede ir desde un 30 a 40%, dado que mayores niveles de potasio, pueden conducir a la aparición de sabores amargos (Guinee, 2004). Asimismo, también es importante tener precaución cuando se usa un sucedáneo como el cloruro de potasio, por cuanto puede presentarse el riesgo de afectar a individuos con alteraciones en la eliminación renal de potasio o con patologías cardíacas, lo cual puede interferir con su tratamiento médico y llevar a complicaciones como el inicio temprano de diálisis o hasta la muerte (National Kidney Foundation, 2002).

5.2.9 Maduración del gel deshidratado

El proceso de maduración de un queso, es un complejísimo conjunto de fenómenos físicos, bioquímicos y biológicos que producen la transformación de la cuajada insípida, inodora y de pobre textura, en un producto final de características organolépticas muy apreciadas. Así, a través de cambios que afectan tanto a la lactosa, como a las proteínas y las grasas, durante la maduración se desarrollan los atributos de aroma, sabor, olor, textura, que son propios de cada variedad (Zalazar, 1994; Fox et al., 2000; Bergamini et al., 2010; Fox, 2017a).

El período de maduración podrá tener una duración tan breve como tres o cuatro días, o tan extensa como uno a dos años, según la variedad de queso que se trate.

La maduración de los quesos tiene lugar en cámaras especiales, en condiciones de temperatura y tiempo perfectamente controladas, dado un desajuste en las mismas, puede conducir a cambios indeseables, que impacten seriamente en la calidad del producto (Figura 5.15).



Figura 5.15: Cámara de maduración de queso Parmigiano Reggiano bajo condiciones de controladas de temperatura (18°C) y humedad (~82%).

Esencialmente, durante el proceso de maduración ocurren tres fenómenos fundamentales:

- a) Glicolisis. Como ya se mencionó, la acción primaria de los cultivos lácticos es la acidificación del medio, a partir de la producción de ácido láctico, resultante de la metabolización de la lactosa. Esta acción, no sólo crea un ambiente desfavorable para el desarrollo de microorganismos indeseables, sino que, también facilita la acción proteolítica del coagulante residual. Según sea el carácter homo ó heterofermentativo, el ácido láctico podrá producirse como único compuesto, en el primer caso, o bien acompañado de otros tales anhídrido carbónico, ácido acético y etanol, diacetilo, etc., en el segundo (Reinheimer, 1994). Luego, durante la maduración, continúa el metabolismo de la lactosa residual y, posiblemente el citrato y lactato (Fox y McSweeney, 1998; Chamba y Irlinger, 2004; Fox. et al., 2017a). La formación del ácido láctico no sólo protege al queso, sino que además promueve un cierto grado de descalcificación de la cuajada, lo cual inciden en la textura del queso (Sheehan y Guinee, 2004; Lucey et al., 2005; O'Mahony et al., 2005; Bertola et al., 2010). Sin embargo, la maduración de muchas variedades de queso no se distingue por esta

acción del fermento primario, sino por la contribución que hacen otros microorganismos, conocidos como fermento secundario, cuyo metabolismo conduce a las características del producto final. Estos últimos, pueden surgir de la microflora nativa de la leche que sobrevivió a la pasteurización, o bien pueden ingresar como contaminantes post-proceso, como por ejemplo algunos *Lactobacillus* spp. mesófilos, especialmente *Lb. casei* y *Lb. paracasei* y posiblemente *Pediococcus* y *Micrococcus*. Por ejemplo, *Propionibacterium* en quesos de tipo suizo, *Penicillium roqueforti* en quesos Azules, *Penicillium camemberti* en quesos madurados superficialmente por hongos, como ser el Camembert y Brie, *Brevibacterium linens* y levaduras en otros quesos madurados superficialmente (Smear-ripened cheeses), *Lactococcus lactis* ssp. *lactis* biovar *diacetylactis* y *Leuconostoc* spp. en quesos de tipo holandés, etc. (Fox y McSweeney, 1998; Chamba y Irlinger, 2004; Fox et al., 2017a).

- b) Proteólisis de la caseína. La hidrólisis de la caseína es uno de los fenómenos más importantes y primarios de a maduración (Sousa et al., 2001). La caseína insípida e insoluble retenida en la cuajada se hidroliza enzimáticamente, dando origen a compuestos más simples, y solubilizándola en mayor o menor grado. A consecuencia de ello se producen importantes cambios en el sabor y aroma del queso, como así mismo en su aspecto y consistencia (Visser y Groot-Mostert, 1977; Visser, 1993; Hynes et al., 1999). El proceso de proteólisis se inicia a través de la acción de la enzima coagulante que, como ya se mencionó, comienza con la ruptura del enlace peptídico Fen₁₀₅-Met₁₀₆, de la κ -caseína, tras lo que se libera ese segmento hidrofílico κ -CN (f106-169), denominado Glico-macropéptido (GMP) ó Caseíno-macropéptido (CMP), lo cual conduce a la coagulación de la leche. Sin embargo, dependiendo del tipo de coagulante empleado y de cuánto de éste quede es retenido en la cuajada (aproximadamente en un 10%), su acción hidrolítica sobre la caseína continuará, dependiendo de su estado y de las condiciones del medio (pH, actividad acuosa, temperatura, etc.). Si bien la proporción de compuestos de bajo peso molecular es relativamente baja (Gripon et al., 1975), los compuestos producidos por el coagulante, sirven como sustrato a las proteasas microbianas, ya que la mayoría de las bacterias lácticas, no actúan directamente sobre la caseína, por no poseer enzimas apropiadas (Zalazar, 1994; Zalazar et al., 1994; Candiotti et al., 2009).

Paralelamente, a la acción proteolítica desarrollada por las bacterias del fermento, se suma la que producen otros microorganismos de distinto origen, como, por ejemplo, los agregados como fermento secundario, los pertenecientes a la flora natural de la leche, bacterias lácticas no fermento (NSLAB), los provenientes del medio ambiente, etc. (Oliszewski et al., 2013; Wolf et al., 2011; Fox et al., 2017a).

c) Lipólisis de la materia grasa. La hidrólisis de los triglicéridos en glicerina y ácidos grasos, es llevada a cabo por las enzimas llamadas lipasas. Subsecuentemente, los ácidos grasos libres, por efecto de otras enzimas, son parcialmente transformados en compuestos tales como metilcetonas, ésteres, alcoholes y lactonas. Estos cambios tienen una importancia decisiva en la determinación de las características finales del queso. En efecto, los ácidos grasos de cadenas cortas (butírico, caproico, caprílico, cáprico) son muy influyentes en el sabor y aroma de los quesos, al igual que las metilcetonas provenientes de la degradación de ácidos grasos (Wolf et al., 2009). Así, las distintas variedades se diferencian sensiblemente de acuerdo a la extensión de la lipólisis que ha sufrido la materia grasa (Zalazar; Wolf et al., 2011). Las lipasas que causan la descomposición enzimática de la materia grasa pueden tener distintos orígenes: la lipasa natural de la leche (activa sólo en quesos elaborados con leche cruda o sub-pasteurizada), las presentes en ciertos coagulantes (como el cuajo de cabrito en pasta) y las producidas por bacterias y hongos (Broome et al., 2011).

6 LACTOSUERO O SUERO DE LA LECHE

Según el Código Alimentario Argentino (2014), con la denominación de Sueros de Lechería, se refiere a los líquidos formados por parte de los componentes de la leche, que resultan de diversos procesos de elaboración de productos lácteos, tales como:

- Suero de queso: es el subproducto líquido remanente de la elaboración de quesos. Es el de mayor producción.
- Suero de manteca: es el subproducto líquido proveniente del batido de la crema en la obtención de manteca.
- Suero de caseína: es el subproducto líquido derivado de la obtención de caseínas.
- Suero de ricotta: es el líquido resultante de la precipitación por el calor, en medio ácido, las proteínas solubles contenidas en el suero de queso.

Cuando estos productos se utilicen como materias primas para la elaboración de otros productos alimenticios, deberán ser pasteurizados o esterilizados, antes o durante su procesamiento, no debiendo presentar un recuento mayor de 100 bacterias coliformes g^{-1} después del tratamiento térmico. Queda prohibido alimentar animales con sueros de lechería que no hayan sido pasteurizados o esterilizados. Se exceptúa de esta exigencia los sueros provenientes de procesos de elaboración en los que se aplicaron dichos tratamientos" (CAA, 2014).

6.1 SUERO DE QUESO

Como ya se mencionó, el suero de queso es el líquido resultante de la coagulación de la leche, en una elaboración casearia. En términos generales, a partir de la fabricación de un kilogramo de queso, se pueden llegar a obtener aproximadamente nueve litros de suero, que puede ser dulce ($pH > 5,1$) y ácido ($pH < 5,1$), según su procedencia.

En sus inicios, el suero de quesería se destinaba principalmente a la alimentación de cerdos u otro tipo da ganadería y, eventualmente, se lo empleaba como fertilizante, o bien se lo descartaba

como efluente. Sin embargo, esta última alternativa representa un serio problema ecológico, dado que se trata de un líquido con un elevado poder contaminante, que posee una Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) >35000 ppm y una Demanda Química de Oxígeno (DQO) >60000 ppm, lo cual impone la implementación de costosos tratamientos previos a su evacuación.

Por otra parte, el avance de la ciencia, permitió descubrir que este subproducto de la quesería representa una excelente fuente de proteínas funcionales, de alto Valor Biológico y péptidos bioactivos, lípidos, vitaminas, minerales y lactosa (Smithers, 2008). A este respecto, se estima que la producción mundial de suero es alrededor de 2×10^8 toneladas por año, que contiene aproximadamente 9×10^6 toneladas de lactosa y $1,4 \times 10^6$ toneladas de proteína de suero (Fox et al., 2017).

El elevado Valor Biológico que exhiben las proteínas del suero deriva de su conformación aminoacídica sumamente favorable, por cuanto no son deficientes en ningún aminoácido esencial (Figura 6.1). Proporcionalmente, tienen mayor contenido de aminoácidos azufrados (metionina y cisteína) que la caseína. La cisteína es importante para la síntesis de glutatión, un tripéptido con propiedades antioxidantes, anti carcinogénicas e inmunoestimuladora (Bounous, 2000). Además, las proteínas del suero constituyen un buen recurso de aminoácidos de cadena ramificada, como isoleucina, leucina y valina que tienen la capacidad de reducir el desgaste muscular en condiciones en las que se incrementa la descomposición de proteínas, lo que hace del suero un alimento particularmente beneficioso para los atletas. Asimismo, la leucina presente en el suero, juega un rol fundamental en la formación del músculo, además de arginina y lisina, las cuales incrementan la secreción de hormona de crecimiento, un estimulante del desarrollo del músculo. Por otro lado, las proteínas de suero lácteo pueden ser importantes para individuos que intentan mantener o bajar de peso, gracias a que su consumo incrementa la saciedad (Miller et al., 2007).

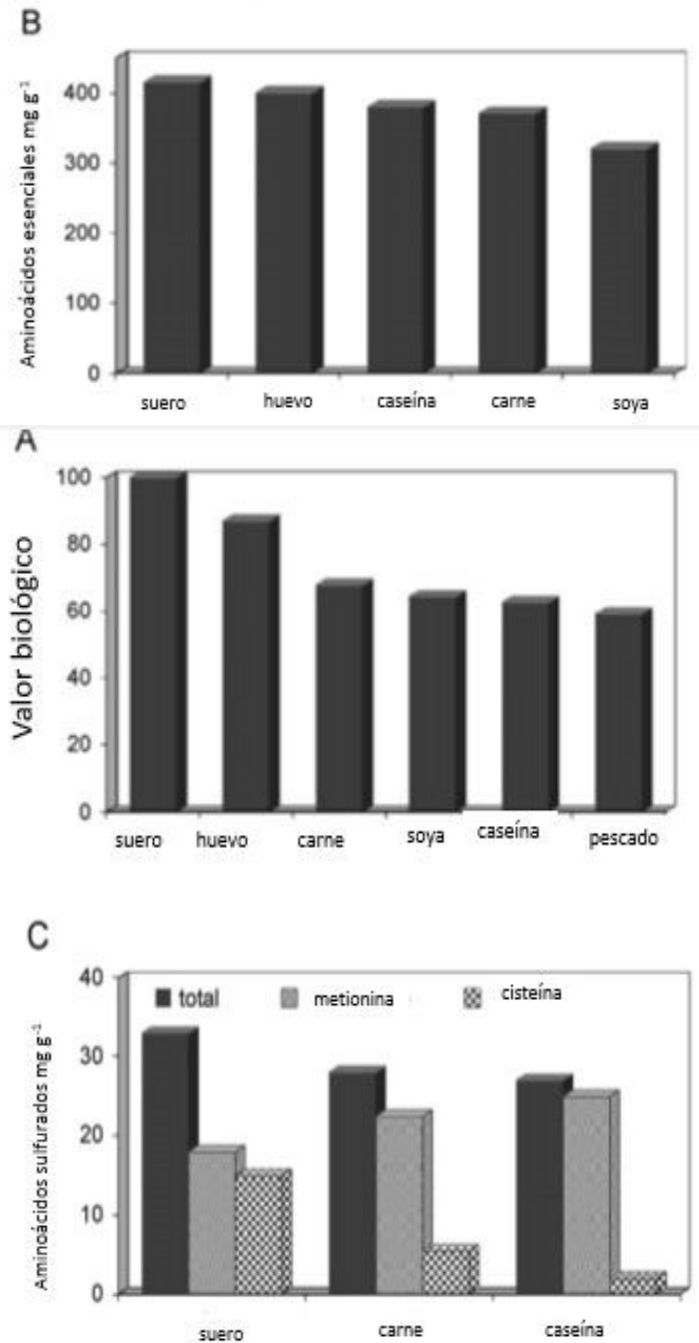


Figura 6.1: Valor nutricional de la proteína de suero cuando se compara con otras fuentes proteicas comestibles, para valor biológico (A), contenido de aminoácidos esenciales (B) y contenido de aminoácidos sulfurados (C). (Smithers, 2008 modificado).

Por otro lado, se ha demostrado que las proteínas del lactosuero exhiben excelentes propiedades funcionales, que pueden impartirse o bien mejorar las de los alimentos a los que se las integre. En este sentido, una de las operaciones a las que se someten las proteínas del suero,

es la texturización mediante la extrusión de Concentrados de sueroproteínas o WPC (acrónimo del inglés, Whey Protein Concentrate) o de Aislados de sueroproteínas o WPI (acrónimo del inglés, Whey Protein Isolate), los cuales se describen más adelante. Dado que esto representa una interesante alternativa para aquellas personas cuya dieta debe estar exenta de carne, las propiedades funcionales de estos productos texturados, como por ejemplo los alimentos snacks, son objeto de una continua investigación.

Por último, puede decirse que el campo de aplicación de las sueroproteínas no se restringe sólo a los alimentos, dado que han sido empleadas en la fabricación de otro tipo de productos, como ser barreras de oxígeno o recubrimientos de película hechos con WPC 80 y WPI desnaturalizado, mostrando gran probabilidad de uso en la industria (Tunick, 2008).

Todo esto hace que hoy en día el suero de quesería, o “*petit-lait*” como se lo denomina en Francia, se esté convirtiendo en un producto muy requerido, no sólo por sus proteínas, sino también por contenido de lactosa y minerales, de hecho, se ha llegado a afirmar que en ciertos países se lo considera el producto principal, siendo el queso el subproducto (Tunick, 2008; Miller et al., 2007).

El suero fresco pasteurizado, es raramente usado en su forma líquida original, ya sea como alimento o para consumo animal, debido a su alto costo de transporte y a la susceptibilidad al deterioro durante el almacenamiento (Miller et al., 2007). Sin embargo, el elevado gasto que demanda la adquisición e instalación de equipos para el procesamiento de suero de leche ha impedido que algunas plantas elaboradoras de queso, más pequeñas y más antiguas puedan procesar y vender este subproducto.

Debido a que la recuperación completa de las proteínas solubles es difícil, los lactosueros obtenidos en la práctica, no representan fielmente la solución original, dado que la separación de la caseína (y eventualmente de la materia grasa) por coagulación ácida o enzimática, como ya se mencionó, conlleva una serie de modificaciones en el medio.

Una vez que la, la fase hídrica de la leche ha sido reducida a una la solución de moléculas pequeñas, tiene la notable propiedad de mantener una composición constante, en la que la cantidad total de moléculas no disociadas y de iones, por la unidad de volumen, varía muy poco.

En virtud de ello, se considera que la fase acuosa de la leche presenta las características con mayor constancia (Tsakali et al., 2010).

6.1.1 Sueros de quesería

Se pueden distinguir dos tipos de suero de quesería según cuál sea el proceso de elaboración, estos son suero dulce y suero ácido. El primero, de mayor profusión, se obtiene a partir de la desestabilización enzimática de la caseína. En este caso, tal como se describió en el punto 5.2.6.1, las enzimas coagulantes, a través de una proteólisis limitada, catalizan la ruptura del enlace peptídico Fen105-Met106 de la κ -caseína, lo que conduce a la agregación de las micelas modificadas, dando como resultado la formación de un gel que engloba todos los componentes de la leche.

El suero ácido, por el contrario, no involucra una acción enzimática, sino que es resultado de la coagulación ácida o láctica de las micelas de caseína, cuya carga eléctrica neta ha sido neutralizada al haberse descendido el pH del medio hasta un punto isoelectrico (pH 4,6), normalmente como resultado de una fermentación láctica. Este fenómeno, como se indicó en el Punto 4.2.2.1, conlleva la desmineralización de las micelas y la pérdida de su estructura. Es por ello que este suero contiene más del 80% de los minerales presentes en la leche de partida, aunque su tenor de lactosa se ve reducido a causa de la fermentación láctica. Además, dado que se trata de un producto que posee una elevada acidez, la mayoría de sus aplicaciones requiere una neutralización (Fox et al., 2017; Parzanese, 2017; Tunick, 2008; Zall et al., 1992).

En la Tabla 6.1 se presentan los valores medios de la concentración de las principales sustancias presentes en un suero dulce y un suero ácido.

Tabla 6.1: Composición del suero del leche dulce y ácido

Constituyente	Suero	Suero
	Dulce	Ácido
	%	%
Sólidos totales	6	6,4
Agua	94	93,6
Grasa	0,05	0,05
Proteína verdadera	0,60	0,60
NPN (Nitrógeno no proteico)	0,20	0,20
Lactosa	4,5	4,6
Ceniza (Minerales)	0,5	0,8
Calcio	0,035	0,12
Fósforo	0,040	0,065
Sodio	0,045	0,050
Potasio	0,14	0,16
Cloro	0,09	0,11
Ácido láctico	0,05	0,05

Fuente: Tetrapak, 2017 modificado

A pesar de la gran similitud existente en la concentración de la mayoría de los constituyentes, se ha comprobado que, de estos dos tipos de suero, el dulce posee mejores aptitudes para el procesamiento y obtención de subproductos de mayor valor agregado. Éste contiene aproximadamente 95% de lactosa, 25% de proteínas y 8% de la materia grasa que contiene la leche y, es por eso que, desde hace mucho tiempo, se observó la posibilidad de reutilizarlo para distintos fines (Parzanese, 2017).

Es importante destacar que, cualquiera sea el origen del suero, su acidez continuará aumentando mientras los microorganismos presentes, principalmente del estarter prosigan desarrollándose, a menos que este crecimiento sea retrasado por procesos térmicos o refrigeración. Por lo tanto, si no se realiza ninguna práctica que frene la actividad microbiana, el suero dulce puede convertirse en suero ácido (Zall, 1992).

Los subproductos que se obtienen del suero presentan características y propiedades funcionales diversas, las cuales dependen principalmente del contenido de proteínas y de los demás nutrientes que posea cada producto en particular. Se ha evidenciado que en la elaboración de quesos se pierde alrededor del 10% de la grasa que pasa al suero, como grasa liberada en las

distintas etapas que conforman el procesamiento completo, como ser: pasteurización, bombeo, homogenización, etc.

Si bien, como ya se mencionó, la mayoría del suero que se genera proviene de la elaboración del queso, también existe una fracción que resulta de la obtención de caseína, cuya composición exhibe ciertas diferencias con el primero.

Actualmente, con el desarrollo de las nuevas tecnologías de procesamiento, algunos investigadores procuran obtener nuevos productos a base de suero y, para ello, deben tener en cuenta que el suero no es un producto de características uniformes, y que las diferencias entre unos y otros se acentúan según su estado (nativo, condensado, secado o fraccionado por membranas, desionizado o si pasó a través de un sistema de electro diálisis).

Por lo tanto, ante esta coyuntura, resulta de suma utilidad e importancia dar una definición lo más acabada posible tanto del suero como de sus subproductos (Smithers, 2008; Zall, 1992).

6.2 PROCESAMIENTO DEL SUERO

6.2.1 Pretratamiento del suero

Después de retirar el queso de la tina, el suero pasa a través de un tamiz metálico con el fin de eliminar los pequeños restos de caseína o finos contenidos en el mismo. Los finos son reintegrados a la cuajada, y el suero se conduce a un tanque de recepción, desde donde luego se lo pasa aun clarificador centrífugo o una malla muy fina, para remover las partículas muy pequeñas que lograron atravesar el primer tamiz. Si el suero no se procesa inmediatamente, se debe mantener a temperaturas menores a 10°C.

Finalizada esta etapa, el suero está libre de partículas finas, pero aún posee restos de grasa en forma globular, para cuya eliminación se lo calienta a unos 50-55°C para que la grasa se vuelva líquida. Bajo estas condiciones, la grasa puede ser luego separada por centrifugación, de modo que sólo un 0,05% permanezca en el suero.

Una vez que el suero ha sido desprovisto de los restos de caseína y materia grasa, se lo depura microbiológicamente por pasteurización a 72–74°C por 17–20s. Con este tratamiento eliminan las bacterias provenientes de los cultivos utilizados para la elaboración del queso, conjuntamente con otros microorganismos que también puedan estar en el suero (Page et al., 2014). Una vez pasteurizado, el suero se mantiene a refrigerado a menos de 10°C hasta el momento de ser utilizado (Johnson y Law, 2010).

En la Figura 6.2 se presenta un esquema de las diferentes etapas que conforman el pre-tratamiento del suero.

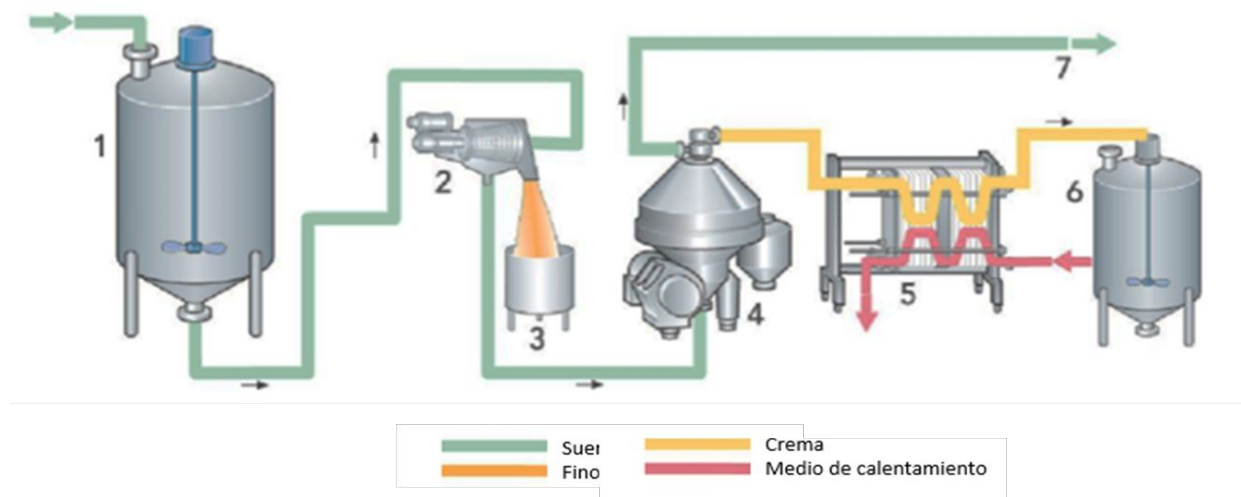


Figura 6.2: Esquema del pre tratamiento del suero. 1) Tanque receptor del suero; 2) Clarificador; 3) Tanque colector de finos 4) Separador de crema; 5) Pasteurizador 6) Tanque colector de la crema del suero; 7) Línea de suero a los tratamientos subsiguientes (Tetra Pak, 2017).

Los fosfolípidos presentes en el suero, (originarios de la membrana de los glóbulos grasos), se encuentran como partículas de lipoproteínas que pueden bloquear las membranas de ultrafiltración, lo cual reduce la tasa normal de flujo. Si bien estas partículas lipoproteicas no se recuperan por centrifugación, se han desarrollado varios métodos que posibilitan su agregación. Una de ellos consiste en adicionar CaCl_2 para incrementar el pH hasta $\sim 7,5$. Mediante esta técnica se propicia la formación de partículas de fosfato de calcio-lipoproteína, y pueden ser removidas por sedimentación, centrifugación, o preferiblemente por microfiltración. Cabe

señalar que estas lipoproteínas tienen buenas propiedades emulsionantes y, por ende, encuentran variadas aplicaciones en el campo de los alimentos.

El suero clarificado obtenido puede utilizarse en diversos tipos de alimentos, especialmente en bebidas (Fox et al., 2017).

6.2.2 Concentración y secado del suero

6.2.2.1 Concentración por evaporación

El suero se concentra y seca, principalmente a los efectos de reducir el costo de almacenamiento y transporte, o bien para inducir la cristalización de la lactosa.

Según Kreczmann et al. (2015), se suelen utilizar plantas de osmosis inversa (OI) de diseño tubular para efectuar una pre-concentración antes de que el suero se envíe al evaporador donde se realizara la concentración final.

La etapa de concentración se realiza por evaporación de la fase acuosa del suero, pasándose desde un contenido inicial de sólidos de alrededor de 6,5% hasta un 45-60%. El tipo de evaporador más difundido para realizar esta operación es el de Película descendente o Falling film, el cual, básicamente, consiste en una serie de delgados tubos verticales por cuya superficie interior se desplaza la solución a concentrar, en forma de fina película, siendo el conjunto calefaccionado externamente por vapor, como se puede observar en la Figura 6.3 (Gösta Bylund, 1995b; Perry y Green, citado por Tunick, 2008; Pearce, 1992; Wit, 2001).

La mezcla de solución concentrada más el vapor de agua generado a partir de la misma, comúnmente conocido como vaho, pasa a un separador de tipo Ciclón, ubicado a la salida del evaporador, donde se produce la separación de ambos, originándose dos corrientes: una líquida, correspondiente al suero concentrado y otra de vapor (vahos) que, mediante vacío se pasa al condensador.

El reducido tiempo de residencia dentro del equipo y las bajas temperaturas de trabajo (generalmente operan a presión reducida), permiten tratar soluciones de alta termosensibilidad con un escaso o nulo deterioro.

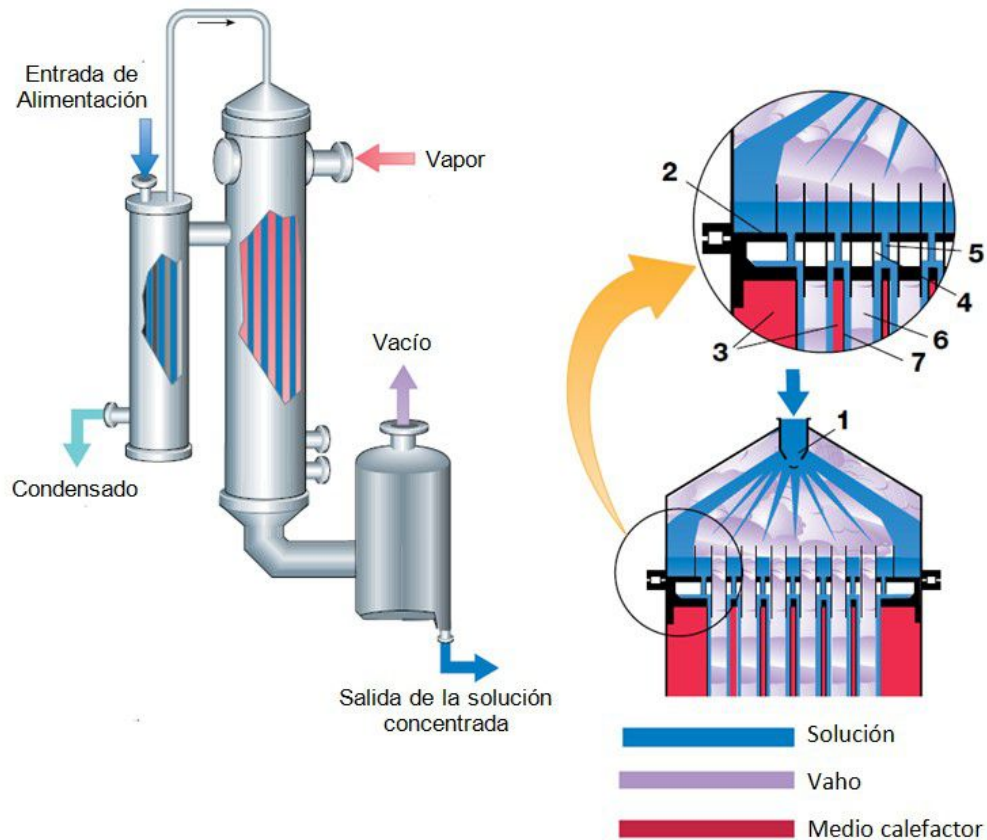


Figura 6.3: Esquema básico de un evaporador de película descendente, mostrando un detalle de su parte superior. 1. Boquilla de alimentación del producto, 2. Placa distribuidora, 3. Vapor de calefacción, 4. Tubos coaxiales, 5. Aberturas, 6. Vapor de la solución (Vaho), 7. Tubos del evaporador.

Dado que el consumo energético requerido para evaporar el agua contenida en el suero, desde una concentración inicial de sólidos de alrededor de 6,5% hasta una concentración de 50-60%, es muy elevado, y que dicha energía está asociada principalmente al insumo de vapor de calefacción, para reducir su costo, se emplean sistemas de evaporación en múltiple efecto, del tipo del esquematizado en la Figura 6.4.

En esta disposición se conectan dos o más evaporadores o efectos que operan en forma consecutiva, donde el vapor generado a partir de la solución que se está concentrando en de cada uno de ellos (denominado vaho) se emplea para calefaccionar al siguiente, siempre que la presión en este último sea lo suficientemente reducida como para mantener una diferencia de temperaturas adecuada. Dado que normalmente las presiones de trabajo son inferiores a la normal, el punto de ebullición de la solución resulta inferior y por lo tanto la misma no se expone a altas temperaturas.

En general los efectos operan con la misma diferencia de temperaturas y la diferencia de temperatura entre los efectos es la misma (15 °C) y la cantidad el monto de agua removida en cada uno de ellos efecto es aproximadamente igual.

Luego de pasar por el pasteurizador, el suero es transportado al primer efecto. El vaho procedente desde el primer efecto tiene una temperatura de 70 °C y es usado como fuente de calor del segundo efecto, repitiéndose este procedimiento hasta el último efecto, cuyo vaho se envía al condensador.

De igual modo, a la salida del primer efecto, el suero parcialmente concentrado es separado del vaho por medio de un ciclón y bombeado al segundo efecto, donde continúa su concentración. Este efecto, como ya se indicó, opera con mayor presión de vacío, para permitir que la temperatura de ebullición en el mismo sea menor (~55°C), al igual que ocurre con el tercero cuya temperatura es aún más baja (~40°C), en el cual se logra alcanzar concentración deseada.

A los efectos de mejorar la eficiencia del sistema, a menudo se incorpora un termocompresor que utiliza un Venturi (eyector) para incrementar la presión de los vahos del primer efecto y elevar así su temperatura desde 70°C hasta 85°C, para luego retornarlo al mismo como medio calefactor, lográndose así un considerable ahorro energético.

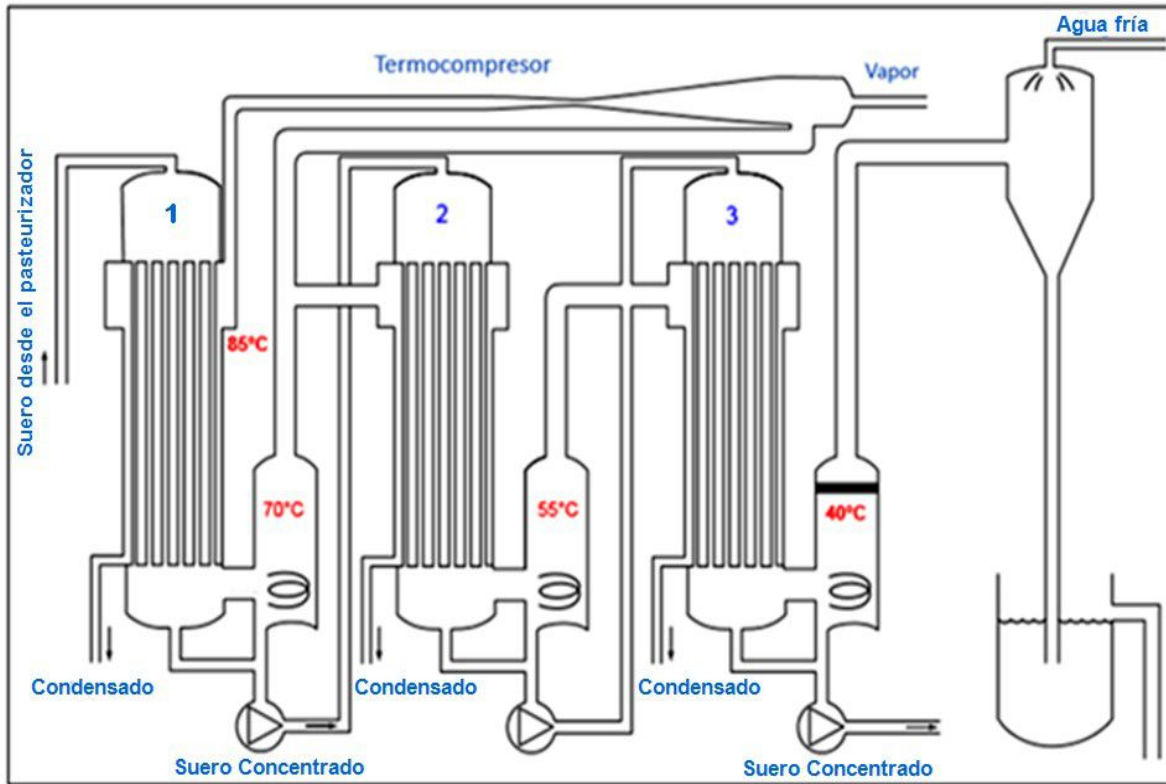


Figura 6.4: Esquemas de un evaporador de múltiple efecto (modificado de Wit, 2001)

6.2.2.2 *Cristalización del suero*

En el proceso de cristalización influyen varios factores, como por ejemplo: superficie de cristales disponible para crecimiento; pureza de la solución; grado de saturación, temperatura, viscosidad y agitación de los cristales en la solución. De los cuales, algunos están correlacionados, como el caso del grado de la saturación y la viscosidad. En general, durante la cristalización se añaden cristales de lactosa (núcleos) para acelerar la misma, como se mencionó en el punto 4.2.5.5. El grado de cristalización en principio está determinado por la cantidad de β -lactosa convertida a la forma buscada α -lactosa, por lo que el enfriamiento del concentrado debe ser controlado y optimizado de forma cuidadosa (temperatura de cristalización $< 93,5^{\circ}\text{C}$). Luego de esta etapa, que puede durar varios días, la melaza de cristales pasa a decantadores centrífugos, donde los cristales de la lactosa son enjuagados y separados del licor madre, el tamaño de los mismos debe ser superior a 0,2 mm, ya que cuanto mayor sean, mejor se puede efectuar la

separación. Esta etapa es fundamental cuando se industrializa lactosa, y la metodología dependerá del producto que se desea obtener (Kreczmann et al., 2015).

6.2.2.3 *Secado de Suero*

El secado es un paso posterior a la concentración, y permite obtener un producto más estable y de baja humedad, con atributos funcionales y nutricionales (Page et al., 2014). Existen dos tipos de secadores, los de tipo tambor y los de pulverización. El primero es una técnica más barata, pero puede deteriorar por calentamiento a la mayoría de propiedades funcionales, debido a que opera a temperaturas superiores a los 100 °C. Para salvar este inconveniente, a partir del año 1937 se introducen los secaderos por pulverización, comúnmente conocidos como Secaderos Spray. Actualmente, es la tecnología más usada a nivel industrial, y consiste en la atomización en una cámara de secado con aire caliente. Las temperaturas del aire de entrada a la cámara son de alrededor de 120 y 250 °C y remueve el agua de las gotas durante el secado. La temperatura de vaporización del agua es de 65 y 75 °C y la temperatura de secado de las partículas nunca excede estos valores.

El secado en spray puede llevarse a cabo en instalaciones de diferente capacidad desde secadores simples de una etapa hasta secadores más complejos con multietapa. En la Figura 6.5 se presenta un secador de tres etapas. Este secadero consiste en una cámara de secado, un lecho fluidizado interno y uno externo, y presenta la ventaja de que, tratándose un diseño más compacto, permite un mayor ahorro energético.

El suero concentrado en lactosa cristalizada, ingresa a la cámara de secado a través del atomizador, el cual lo divide en finas gotas, de un determinado rango de tamaño. A menudo se usan atomizadores de disco rotatorio, accionados por un motor eléctrico de alta velocidad. El aire seco es suministrado a la cámara de secado a una temperatura de 225 °C. El secado de las gotas da como resultado partículas de polvo con una humedad del 6%. El aire que abandona la cámara de secado contiene pequeñas partículas o “finos”, los cuales son separados en el ciclón, y regresados al secadero donde participarán de un proceso de aglomeración.

A continuación, una corriente uniforme del polvo es transportada desde el lecho fluidizado interno de la cámara de secado hacia el lecho fluidizado externo. Este último consiste en una

carcasa con fondo perforado por donde ingresa el aire caliente y atraviesa una capa de polvo, al cual le reduce hasta 3-4% de humedad.

Finalmente, el producto así obtenido, es enfriado y empacado en bolsas herméticas que aseguran su buen almacenamiento (Wit, 2001).

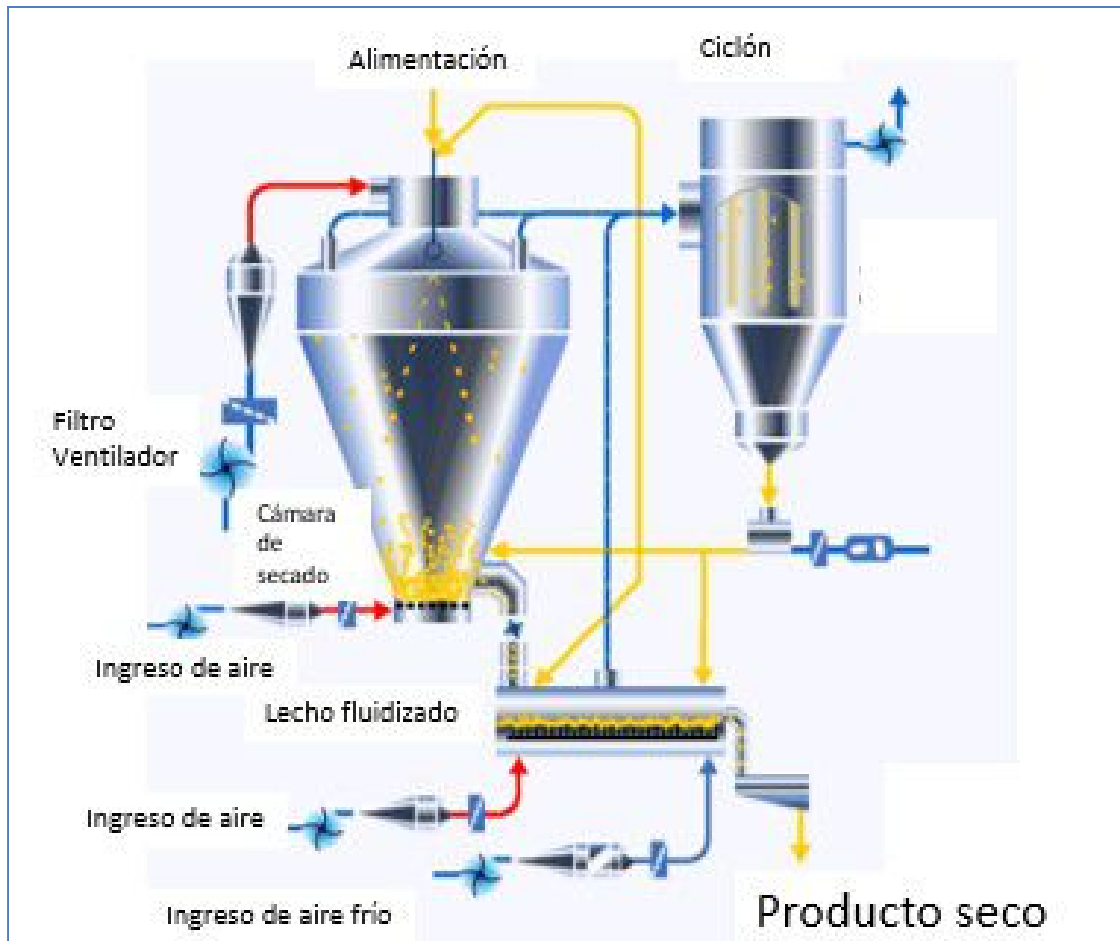


Figura 6.5: Esquema de un secador spray con lecho fluidizado (Modificado de YGGZ, 2017)

6.2.3 PROCESOS DE VALOR AGREGADO DEL SUERO

Los componentes valiosos del suero pueden ser concentrados o aislados por diferentes procesos, entre los que se incluyen tecnologías de membranas, electro diálisis, intercambio de iones y cristalización (Page et al., 2014).

6.2.4 Tecnologías de membranas

Hasta antes de los años 70, la proteína de suero era disponible sólo en forma desnaturalizada, insoluble en agua, arenosa, consistente en un polvo amarillo-marrón de uso limitado. El surgimiento de la tecnología de membranas, en las que se trabaja a temperaturas relativamente bajas, permitió la separación y el fraccionamiento de las proteínas de suero, prácticamente en su estado nativo y, por ende, conservando su solubilidad. Es por ello que, a partir del año 1965, en la industrialización del suero lácteo, como así también de diversos tipos de alimentos, las técnicas de membrana se han convertido en las más difundidas.

Estas tecnologías, destinadas a la separación de compuestos, se basan en el empleo de membranas semipermeables, mediante las cuales se efectúa la operación de filtrado por flujo cruzado, aplicando una presión controlada sobre el material a fraccionar. A partir de esta operación se obtienen dos corrientes: el permeado o filtrado, que contiene aquellos compuestos que atraviesan la membrana (normalmente se deshecha) y el retenido o concentrado, que se compone de las sustancias aprovechables que se desean mantener en el producto final (Figura 6.6) (Zall, 1992; Parzanese, 2017; Page et al., 2014; Wit, 2001).

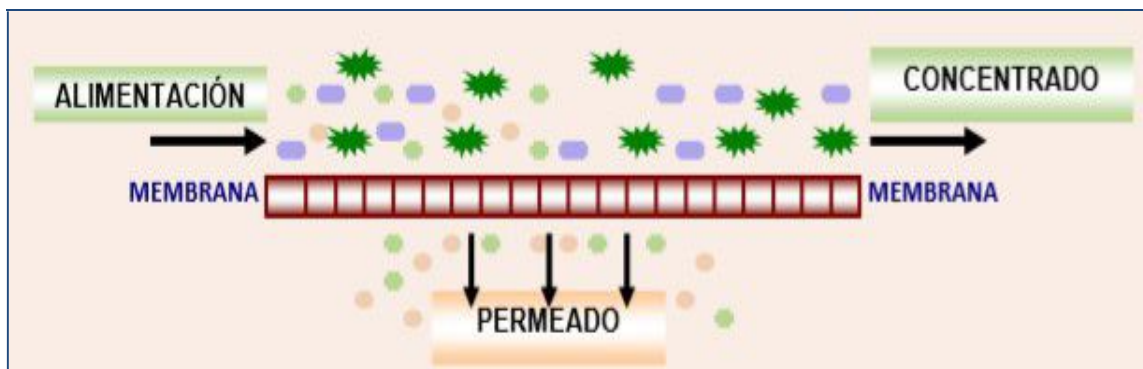


Figura 6.6: Esquema del fundamento de la tecnología de membranas (Parzanese, 2017)

La línea divisora entre permeado y retenido para una determinada membrana, conocida como MWCO (por sus siglas en inglés es Molecule Weight Cut Off), está determinada por el tamaño de sus poros, y representa el peso molecular mínimo de soluto que la misma puede retener. Así, según esta propiedad, se distinguen cuatro tipos de operación por membrana: ultrafiltración (UF),

microfiltración (MF), nanofiltración (NF), y ósmosis inversa (RO), como se muestra en la Tabla 6.2 (Page et al., 2014; Tunick, 2008).

Tabla 6.2 Tipos de tecnologías de membranas y sus características (modificado de Tunick, 2008)

Tipo	Tamaño de poro (nm)	Componentes retenidos	Peso molecular (KDa)
MF	20 - 4000	Bacterias, micelas de caseína, glóbulos grasos	100 – 500
UF	20 – 200	Proteínas de suero	1 – 100
NF	<2	Lactosa	0,1 - 1
OI	<2	Iones	<0,1

Si bien la MWCO para membranas de UF se encuentra entre 1 y 100KDa, para la separación del suero (cuyo inicio data del año 1971) se adopta un valor de 10 KDa. En este caso, la operación generalmente se realiza a temperaturas por debajo de los 55°C, con una presión de 300KPa y un tamaño de poro de la membrana de 200nm (Wagner, citado por Tunick, 2008). El retenido de suero consiste en proteína, grasa y sales insolubles, mientras que la lactosa, minerales solubles y agua se encuentran en el permeado.

A los fines de reducir la concentración de sales y lactosa, se ha introducido una técnica denominada Diafiltración (DF), que básicamente consiste en diluir el retenido, mediante la adición de agua y someterlo a una segunda UF. Pre tratamientos como el ajuste del pH y la pre concentración puede mejorar la tecnología.

La MF es similar a la UF, pero con MWCO de 200KDa. El tamaño de poro de la membrana varía de 0,05 a 10µm, permitiendo la separación de flora microbiana, de diferentes proteínas de suero, entre otros componentes (Wagner, citado por Tunick, 2008).

La Nanofiltración (NF), a veces llamada Ultra-ósmosis, es una técnica más reciente, que permite separar partículas muy pequeñas, cuyos diámetros están en el orden de los nanómetros

(10^{-9} m), con pesos moleculares en el rango de 100 – 1000 Da. Por consiguiente, sólo iones monovalentes como Na^+ , K^+ y Cl^- , etc., para los que presenta una alta permeabilidad (40-90%) y pequeñas moléculas orgánicas la urea y el ácido láctico pueden atravesar la membrana junto con el permeado acuoso. Por el contrario, los iones polivalentes, como por ejemplo Ca^{2+} y Mg^{2+} , de baja permeabilidad (5-20%), son mayormente retenidos (Gösta Bylund, 1995b; Mistry, 2011). Esta característica convierte a la NF en una efectiva técnica para deslactosar y desmineralizar el suero. En efecto, operando a una presión entre 1,5-4 MPa (normalmente 2-3 MPa), es posible remover el 40% de los minerales presentes y retener ~ 98-99% de lactosa, incrementando los sólidos totales desde 5 a 40% (Gernigon et al, 2011; Kelly, 2011).

Cabe mencionar que los minerales del suero suelen ser removidos debido a que su presencia puede contribuir negativamente al sabor del producto (Miller et al., 2007).

En la ósmosis inversa (OI), el suero es precalentado a 50-55°C y bombeado a alta presión (entre 2,7 a 10 MPa) a través de una membrana cuyo MWCO es solo 150 Da, lo cual permite la remoción de los minerales. Debido a que el diámetro de poro para este tipo de membrana está entre 0,4 y 0,6 nm, además de requerir una mayor presión de trabajo, presentan una mayor posibilidad de ensuciamiento o taponamiento (Gösta Bylund, 1995c; Spreer, 1998a; Lee et al., 2011).

Las membranas de OI son usadas con propósitos de concentración, y se puede asegurar que el permeado obtenido a través de esta tecnología es principalmente agua. De este modo, mediante la OI, es posible extraer dos tercios del agua, dejando un concentrado que puede ser secado o transportado más eficientemente (Tunick, 2008).

En la siguiente Figura se resumen las principales características de las diferentes técnicas de filtración por membrana.

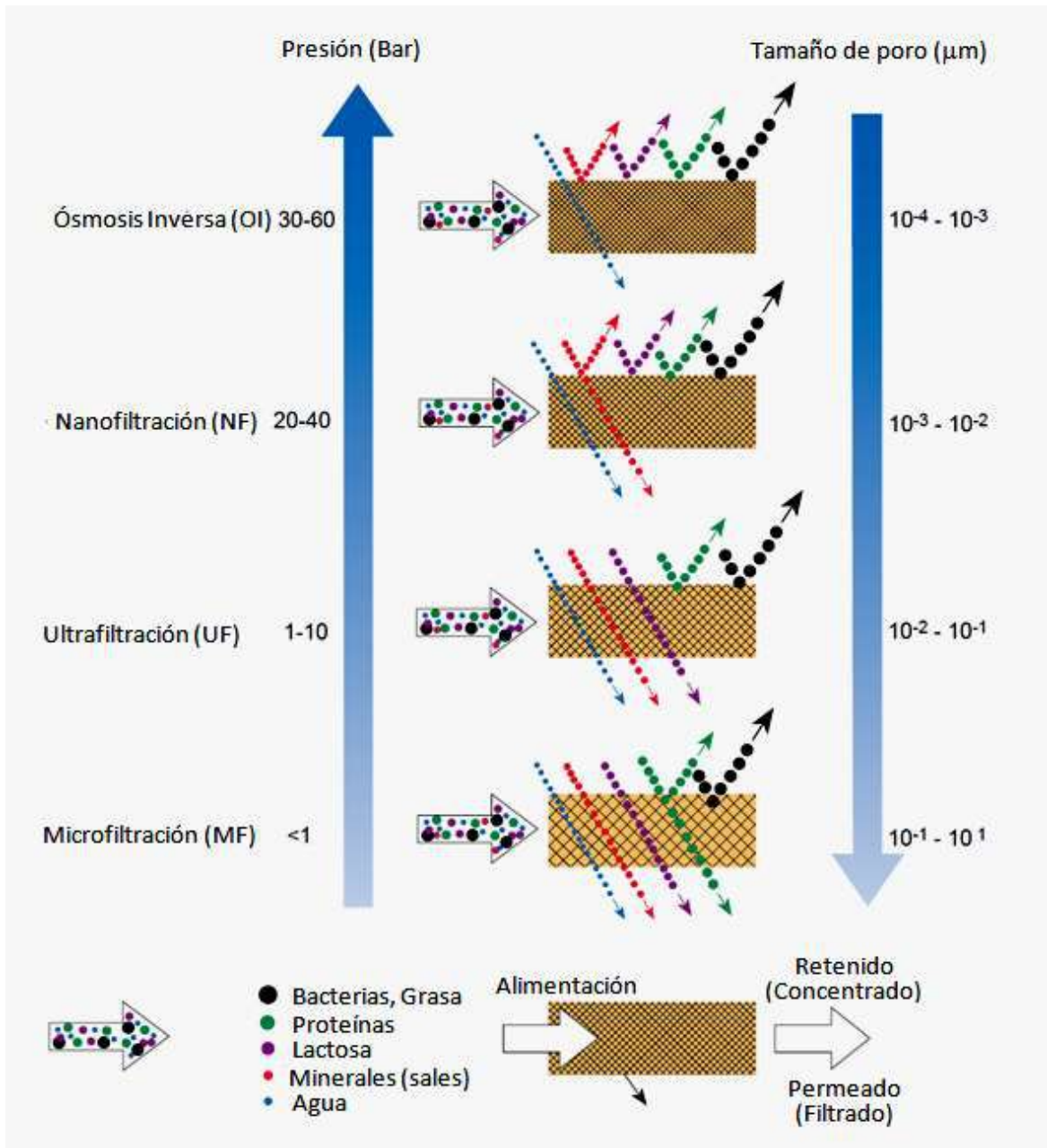


Figura 6.7: Principios fundamentales de las técnicas de filtración por membrana

Por lo general, el retenido obtenido a partir de una concentración por membrana se transporta a un secadero spray, a los efectos lograr un producto seco (<5% de humedad). Asimismo, en base a las distintas combinaciones de estos procedimientos, resulta posible obtener polvos con diferente contenido de proteína (Tabla 6.3) (Tunick, 2008).

Tabla 6.3: Composición típica de suero líquido y seco

Producto	Proteína	Lactosa (g L⁻¹ Suero)	Minerales
Suero dulce	6-10	46-52	2,5-4,7
Suero ácido	6-8	44-46	4,3-7,2
		g 100 g ⁻¹ polvo	
WPC-35	35	50	7,2
WPC	65-80	4-21	3-5
WPI	88-92	<1	2-3
UF permeado	1	90	9

Según Tetra Pak (2017), la implementación de OI ó la OI-NF es el primer paso para concentrar los sólidos del suero, desde un 6% al 18-25%, para continuar luego con un proceso de evaporación y finalmente una etapa de secado a fin de obtener el suero en polvo.

Después de la evaporación, el concentrado es rápidamente enfriado (30-40 °C), así inicia la nucleación de los cristales de lactosa, antes de ser enfriado y agitado en tanques de cristalización, el producto se mantiene por unas 4 a 8 horas para obtener un producto uniforme de pequeños cristales de lactosa, los cuales generarán una lactosa no higroscópica, que pasará al secadero spray, de esta manera se economiza el proceso.

6.2.5 Electrodialisis

Es otro método para desmineralizar el suero, en el que los componentes iónicos son transportados a través de membranas selectivas bajo la influencia de un potencial eléctrico, generado a partir de un campo entre un ánodo (cargado positivamente) y un cátodo (cargado negativamente), como se muestra en la Figura 6.8.

Las membranas Ion-selectivas se confeccionan de un material similar a las resinas de intercambio iónico con un tamaño de poro entre 10 y 20 Å, y se disponen apiladamente entre el ánodo y el cátodo, los cuales se encuentran alternados en pares de celdas.

Para que la operación resulte energéticamente eficiente, el suero debe ser concentrado de 20 a 30% de sólidos previo a la electrodiálisis.

El sistema puede operar en régimen discontinuo (batch) o continuo, dependiendo del grado de desmineralización. En este sentido, se ha indicado que, para que el producto resulte comercialmente aceptable, la desmineralización debe alcanzar un 50%.

Esta metodología permite permear solamente minerales, mientras que retiene proteínas y lactosa. No desnatura la proteína, y puede llegar a remover alrededor del 75% de minerales (Page et al., 2014).

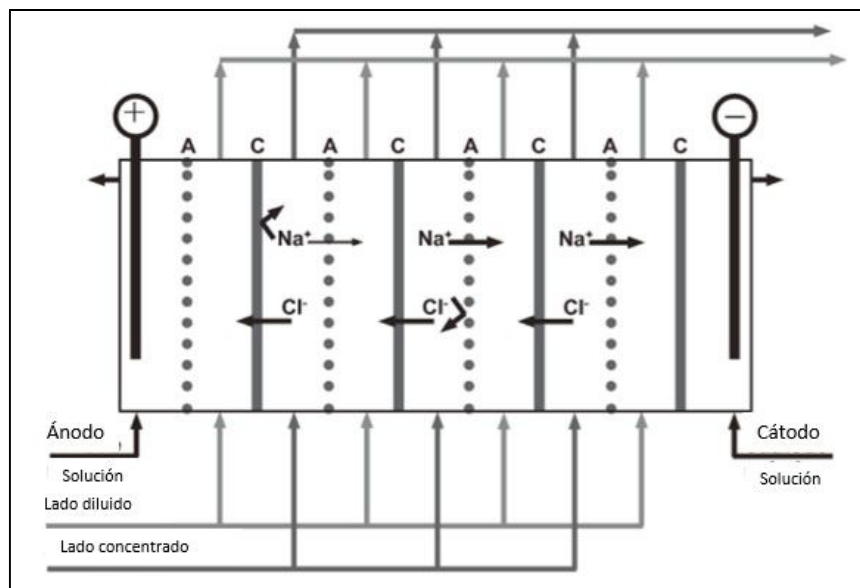


Figura 6.8: Proceso de electrodiálisis (modificado de Huffman y Barros-Ferreira, 2011)

Uno de los problemas más frecuentes que suele presentar el proceso de electrodiálisis, es el taponamiento de las membranas, lo que representa entre el 30 y 40% del costo de la corrida (Tamine, citado por Riera et al., 2015; Huffman y Barros-Ferreira, 2011).

6.2.6 Cromatografía de intercambio iónico

Es usada para obtener proteínas de suero de alta pureza. La separación se basa en la carga eléctrica de las proteínas, la cual es función del número y naturaleza de los grupos ionizables en la cadena polipéptica. Dado que la separación se realiza a un pH inferior al del punto isoeléctrico, las proteínas tienen una carga neta positiva y pueden ser retenidas por iones de intercambio catiónico. Por el contrario, a un pH superior al del punto isoeléctrico, tendrán una carga negativa y serán absorbidos por iones de intercambio aniónico.

Esta tecnología no desnatura las proteínas, permite obtener un alto grado de pureza, y es capaz de remover alrededor del 98% de minerales (Page et al., 2014). Sin embargo, debe tenerse en cuenta que valores de pH, tanto elevados como bajos, pueden alterar la estructura terciaria de las proteínas de suero, produciendo un despliegue de la misma (generalmente reversible) y propiciando la interacción de los grupos sulfhidrilo y los enlaces disulfuro, que es irreversible.

Ambos inconvenientes pueden afectar la eficiencia de recuperación porque la proteína desplegada o desnaturada puede unirse de forma covalente e irreversible al intercambiador de iones (Figura 6.9). Por lo tanto, se deben evitar los pH extremos (citado por Howell, Huffman y Barros-Ferreira, 2011). Según estos autores, la separación de proteínas por cromatografía de intercambio iónico se produce en cuatro pasos:

- 1) Adsorción. La corriente de suero se ajusta con el pH, se diluye y se mezcla o pasa a través del tanque lleno con un intercambiador de iones. Sólo las proteínas cargadas apropiadamente son adsorbidas.
- 2) Primer Lavado. El tanque se lava con suficiente agua para desplazar cualquier componente no absorbido de la solución de suero de leche que aún esté en el tanque.
- 3) Elución Se usa una solución salina, ácida o básica para desplazar las proteínas y regenerar concomitantemente el intercambiador de iones.
- 4) Segundo Lavado. El tanque se lava con suficiente agua para eliminar toda la solución de proteína

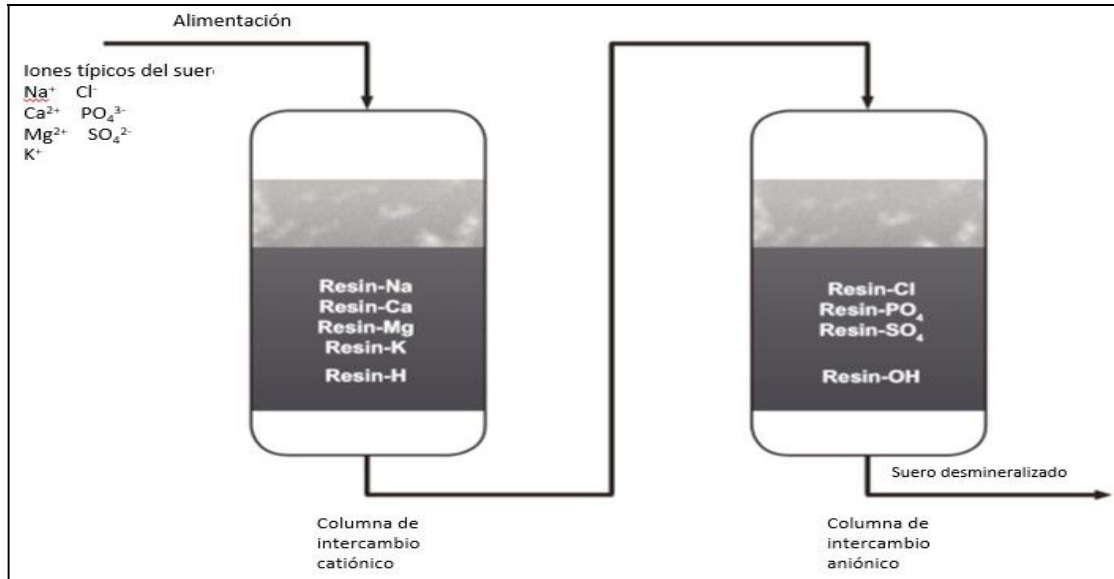


Figura 6.9: Proceso de intercambio iónico (modificado de Huffman y Barros-Ferreira, 2011)

6.2.7 Cristalización

Es un proceso lento que se realiza en batch, el cual es a menudo combinado con otras tecnologías, como por ejemplo refinamiento o decantación, con lo que se obtienen mejores rendimientos.

Este procedimiento no desnaturaliza las proteínas y se utiliza para la elaboración de suero no higroscópico, y para remoción o producción de lactosa.

El suero o permeado se concentra al menos en un 50% de sólidos totales por evaporación. Dado que a esta concentración la lactosa está sobresaturada, cristalizará fácilmente a medida que se disminuya la temperatura.

Una vez que el suero/permeado se ha enfriado lo suficiente, los cristales de lactosa pueden ser separados y procesados para obtención de lactosa de alta calidad, o bien se lo puede secar (conservando la lactosa cristalizada) para producir polvo de suero/permeado no higroscópico (Page et al., 2014).

6.2.8 Avances tecnológicos

Los métodos utilizados para producir proteínas de suero de leche proporcionan algunas de las convergencias más interesantes entre innovación y practicidad. Actualmente, se están estudiando variaciones únicas en la cromatografía a través del intercambio de iones, membranas de afinidad y adsorción bioselectiva, o un proceso llamado extracción micelar inversa para separar y purificar proteínas de suero específicas. Por ejemplo, los investigadores de la Universidad de Wisconsin, Madison, están logrando separaciones de proteínas usando la cromatografía de membrana.

Los métodos cromatográficos actualizados, inspirados en los procedimientos desarrollados originalmente para la industria biofarmacéutica (hace unos 25 años), ofrecen nuevas oportunidades para purificar proteínas importantes como la lactoferrina y la β -lactoglobulina cuando se aplican al suero de leche (Page et al.,2014).

Por otro lado, los investigadores rusos Lazarev, Pastushkova y Chugunova (2016), consideran que procedimientos que emplean tecnologías de membranas, no han tenido una amplia difusión, debido principalmente a la insuficiencia de los fundamentos teóricos y experimentales en el ámbito del procesamiento de alimentos.

En la Universidad de California, Davis, se está trabajando sobre otra prometedora técnica de separación de proteína de suero de leche, en la que se utilizan disolventes micelares inversos para lograr aislamientos específicos de proteínas. Los métodos micelares inversos ofrecen el potencial para la extracción continua de proteínas específicas a partir de una mezcla acuosa, logrando una eficiente concentración y purificación simultáneas de las mismas.

El siguiente paso en el avance de las aplicaciones de proteína de suero, es trabajar sobre su funcionalidad, a los efectos de incrementar su aptitud para nuevos usos.

Actualmente, los investigadores están expandiendo el aprovechamiento de las proteínas de suero de leche con una gran cantidad de manipulaciones físicas y químicas. Entre los adelantos más salientes, se pueden mencionar:

- ✓ Mediante extrusión, se pueden obtener proteínas de suero de leche texturizadas, que pueden competir con los ingredientes proteínicos vegetales texturizados existentes (Page et al., 2014).
- ✓ Se ha desarrollado un polímero de proteína de suero que proporciona espesamiento, gelificación y estabilidad de congelación-descongelación, atributo que normalmente se logra con los hidrocoloides.
- ✓ La α -lactoalbúmina podría desempeñar un papel importante en la formación de nuevos tipos de microemulsiones biocompatibles para aplicaciones farmacéuticas, alimentarias y cosméticas.
- ✓ En base al estudio de la funcionalidad de las sueroproteínas (aptitud para formar un film, elevada solubilidad, capacidad emulsificante y secante y baja viscosidad en soluciones concentradas), investigadores de la Universidad de California, Davis, han logrado desarrollar y patentar una tecnología que utiliza dichas proteínas como agentes microencapsulantes. La microencapsulación, es una técnica mediante la cual pequeñas gotitas de líquido o partículas de sólido, son cubiertas con un fino film de agente microencapsulante, al cual se conoce como pared. De este modo, el material microencapsulado o centro, puede protegerse contra la evaporación o pérdida de volátiles, oxidación u otro tipo de deterioro, y ser luego liberado bajo las condiciones deseadas, lo cual facilita su manipulación. Por este medio se pueden vehicular ingredientes alimentarios, tales como saborizantes, vitaminas, aceites esenciales; productos farmacéuticos u otros compuestos activos (Young et al., 1993; Young et al., 1993a; Mahmoud y Savello, 1993).

Dadas las capacidades funcionales únicas y el valor nutritivo de las proteínas del suero de leche, es lógico pensar que las aplicaciones con nutraceuticos y productos farmacéuticos pueden ser sólo el comienzo (Page et al., 2014).

6.3 PRODUCTOS DE SUERO Y SUS TECNOLOGÍAS

Existen algunos parámetros generales de calidad que debe cumplir el suero para su utilización como materia prima, en la elaboración de ingredientes y productos de consumo directo (Muset y Castells, 2017). Si bien, algunos parámetros pueden variar, dependiendo del tratamiento posterior, en general un suero dulce debería cumplir con los siguientes requerimientos:

- pH entre 6,0 y 6,6
- Acidez 1-2 g ácido láctico L⁻¹
- Contenido de proteína mínimo 0,7 g100g⁻¹.
- Materia grasa 0.05%.
- Partículas de queso o finos de caseína < 0,02%
- Nitrato < 3 ppm
- Nitrito < 1ppm
- Ausencia de colorantes
- Libre de antibióticos
- Peróxido negativo
- Recuento total < 1000 ufc ml⁻¹
- Coliformes < 50 ufc ml⁻¹
- *Bacillus cereus* < 1ufc ml⁻¹

Las alternativas tecnológicas existentes para industrializar suero de quesería son varias dependiendo del producto que deseamos obtener (Figura 6.10) (Castells, 2017)

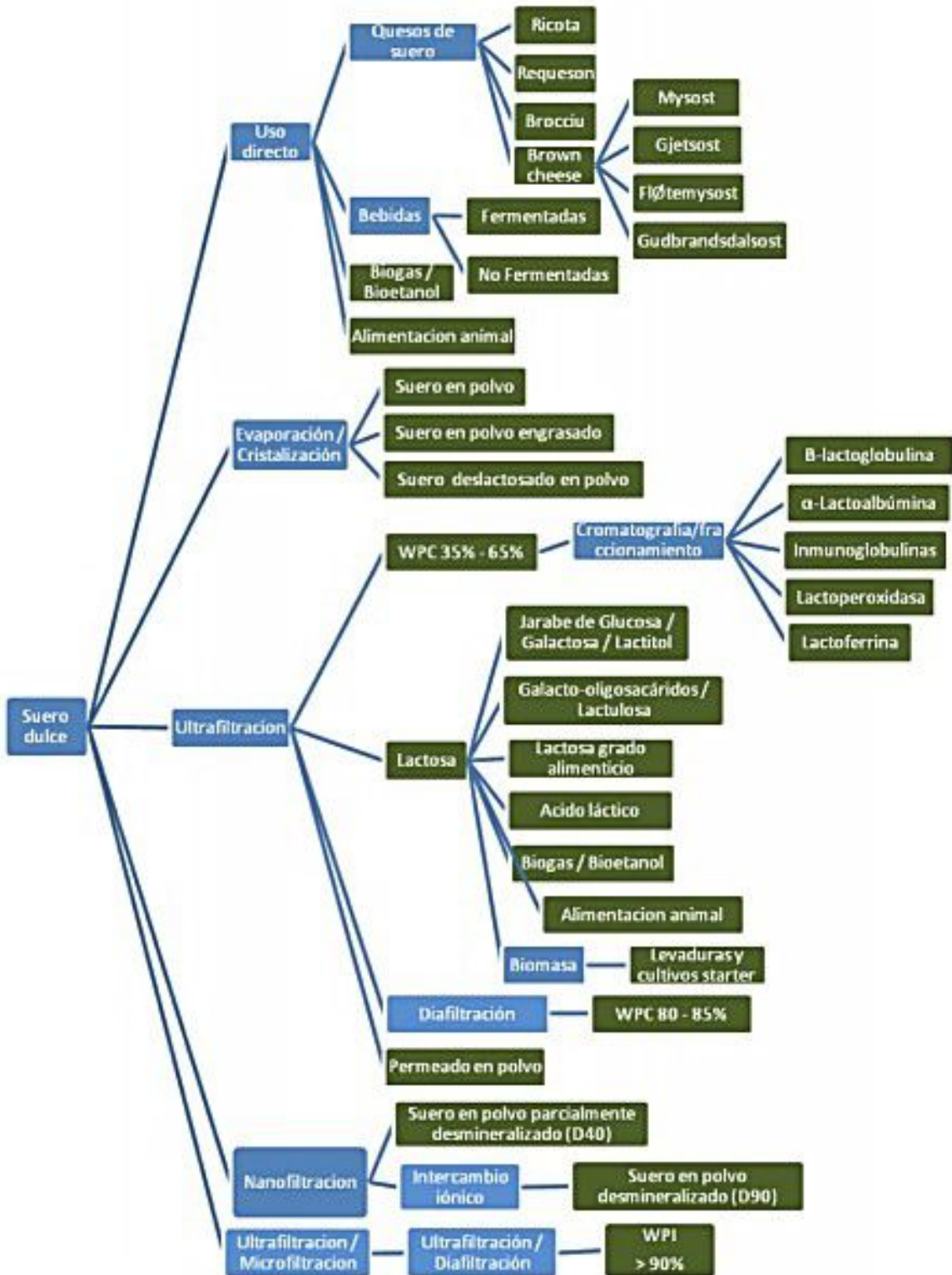


Figura 6.10: Alternativas para la industrialización de suero de quesería

6.3.1 Queso de Suero

Los quesos de suero son elaborados prácticamente en todo el mundo y son conocidos con nombres diferentes, como por ejemplo Ricotta o Requesón. La Ricotta, cuyo origen es italiano, es el más conocido y producido a nivel mundial, en especial en América del Norte (Estados Unidos) y Europa Occidental, donde ha ganado gran popularidad. Se trata de un queso suave color crema, sin olor, de sabor dulce y sin madurar (Castells et al., 2017; Fox et al., 2000a). Su composición media (expresada en % P/P), es: 73,2 de humedad, 11,3 de proteína, 10 de materia grasa y 0,4 de NaCl.

El queso ricotta es de origen italiano, su nombre deriva del término italiano *rocottura*, que significa recalentado. Originalmente proviene del queso *Mozzarella Provolone*. Esta alternativa no requiere de grandes instalaciones o equipos, ni gastos de elaboración. Su obtención se basa en la precipitación de las proteínas del suero mediante el uso de calor y ácidos orgánicos, entre los que pueden mencionarse el ácido acético, láctico, tartárico y/o cítrico. El queso Ricota es de color blanco, sin olor, de sabor dulce y consistencia débil. Es tipo de queso posee una corta vida útil (hasta 7 días a 4°C), sin embargo, con agregado de hasta un 3% de sal, permite extender su vida útil considerablemente.

Una estrategia para producir ricota es partir de un suero con acidez entre 10 y 11°D, el cual se termiza hasta alcanzar 60 – 65 °C, se adiciona 5% de leche (incrementa el rendimiento en un 5%), posteriormente se calienta hasta 85 °C (aparecen flóculos). A continuación, se adiciona ácido cítrico o acético hasta alcanzar un pH de 4,3 y se calienta lentamente hasta 90°C. Aflora la ricota, a la cual se la compacta y seca, luego se la extrae del suero de ricotta y se coloca en molde, para finalmente desueralarla, enfriarla y envasarla (Meinardi, 2015; Porras, 1999).

Un problema serio es la contaminación, lo que hace difícil mantener su calidad. Otra estrategia es hacerlo sin la incorporación de leche, pero el rendimiento es menor (Meinardi, 2015).

La elaboración de ricota no resulta una solución completa al uso del suero, ya que supone la generación de otro subproducto, como es el suero de ricota, que aún contiene valores altos de

materia orgánica debido a la gran concentración de lactosa y ácido láctico remanente. Encontrar un uso económicamente factible al suero de ricota es aún un desafío. La generación de biogás puede ser una alternativa viable dependiendo de la escala, la inversión y los costos relativos de la energía (Castells et al., 2017).

6.3.2 Suero en polvo dulce

Los polvos de suero han sido producidos por muchos años y tienen numerosas aplicaciones en la industria de alimentos, como por ejemplo en productos de panadería, cárnicos y helados.

A través de variaciones en los procesos de producción, se pueden obtener distintos tipos de sueros en polvo, tales como Suero en polvo no higroscópico, Suero en polvo desmineralizado, Suero en polvo deslactosado y deslactosado/desmineralizado. Indudablemente, la implementación de estos procedimientos expande su rango de aplicación, pero también incrementan su costo (Fox et al., 2017a).

El Código Alimentario Argentino (2014) define al Suero de Queso en Polvo, como el *“producto obtenido por deshidratación del suero proveniente de la elaboración del queso, previa pasteurización”*, debiendo responder a las siguientes características y exigencias:

- a) Se presentará como un polvo blanco amarillento, de sabor salado-dulzón, soluble en agua tibia.
- b) Humedad: Máx. 4,5% p/p.
- c) Grasa de Leche: Máx. 2,0% p/p.
- d) Proteínas de Leche: Mín. 10,0% p/p.
- e) Cenizas (500-550°C): Máx. 9,0% p/p.
- f) Glúcidos reductores totales, expresados en lactosa anhidra: Min. 70,0% p/p.
- g) Ácido Láctico: Máx. 2,2% p/p, (CAA, 2014).

El suero de leche en polvo dulce se obtiene mediante el secado de suero de leche fresca (derivado de la fabricación de quesos como Cheddar, Mozzarella y Suiza) que ha sido pasteurizado y al que no se han añadido conservantes (Figura 6.11).



Figura 6.11: Esquema del proceso de elaboración de suero en polvo no higroscópico (modificado de Page et al., 2014).

Este polvo contiene todos los componentes del suero de leche fresca, en la misma proporción relativa, a excepción, obviamente, del agua.

La lactosa representa cerca del 70% de los sólidos del suero y es difícil de cristalizar. Esto representa un serio inconveniente, por cuanto si no se promueve una adecuada cristalización de dicho azúcar, el polvo de suero se vuelve higroscópico, haciéndolo inestable en el almacenamiento. Es por ello que, para la obtención de suero en polvo no higroscópico, previo a la etapa de secado, se lo concentra hasta un 50-60% de sólidos, y se siembra con cristales de

lactosa para inducir la cristalización (Fox et al., 2017c). El producto así obtenido, cuya vida útil se estima en 6-12 meses, debe transportarse y almacenarse en un ambiente fresco y seco, a temperaturas inferiores a 27 °C y una humedad relativa inferior al 65% (Page et al., 2014).

6.3.3 Suero en polvo reducido en lactosa

El suero en polvo reducido en lactosa, debe tener una concentración en dicho azúcar, que no exceda el 60%. Para su obtención, se realiza una eliminación selectiva o hidrólisis de la lactosa presente en el suero de leche tal cual. En el primer caso, la reducción de lactosa se lleva a cabo mediante técnicas de separación física tales como precipitación o filtración, mientras que en el segundo se produce una hidrólisis enzimática, cuyos productos resultantes son glucosa y galactosa (Figura 6.12).

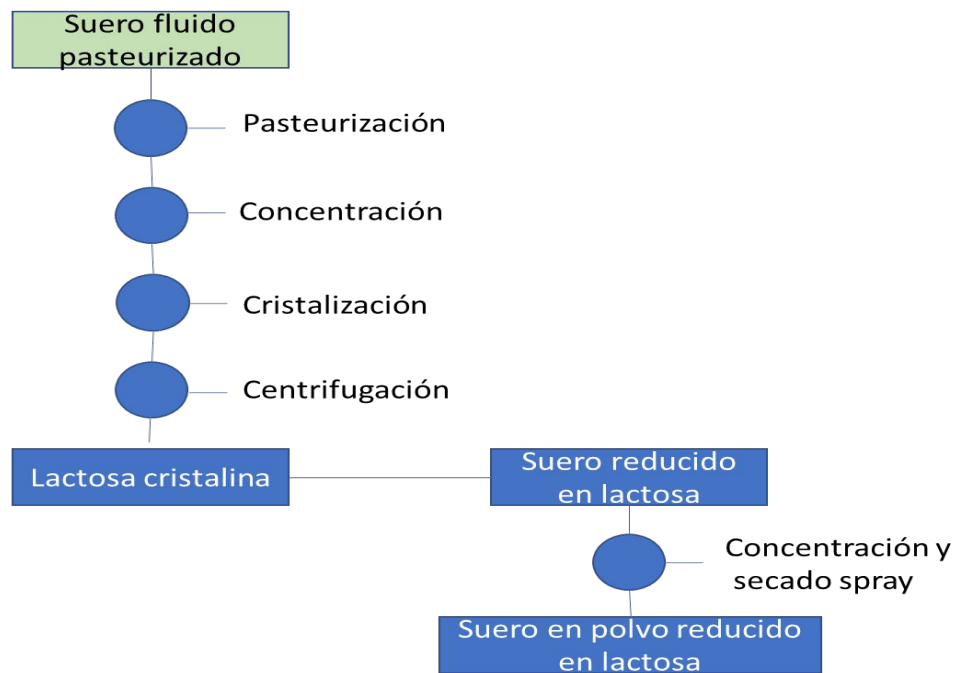


Figura 6.12: Diagrama de elaboración de suero en polvo reducido en lactosa (modificado de Page et al., 2014).

Al igual que el suero en polvo dulce, el almacenamiento y transporte del suero en polvo reducido en lactosa, debe realizarse en un ambiente fresco y seco, a temperaturas inferiores a 27

° C y una humedad relativa inferior al 65%, debiendo usarse dentro de 6-9 meses (Page et al., 2014).

Por otro lado, para muchas aplicaciones alimenticias, es deseable el uso de un producto de suero con contenido de proteína superior al normal, lo cual puede lograrse por los diferentes procesos de producción de proteína de suero descritos o, alternativamente, por cristalización parcial de la lactosa. En este último caso, el suero concentrado se siembra con lactosa para inducir su cristalización y los cristales formados se remueven por centrifugación o filtración. El licor madre puede, o no, ser desmineralizado y secado en spray para obtener un polvo rico en proteína de suero (Fox et al., 2017a).

6.3.4 Suero en polvo desmineralizado

El suero de leche desmineralizado (también llamado suero de minerales reducidos) se obtiene al eliminar una porción de los minerales del suero de leche pasteurizado. Los niveles típicos de desmineralización son del 25%, 50% y 90%. El producto seco no puede exceder el 7% de cenizas. El suero desmineralizado se produce mediante técnicas de separación tales como intercambio iónico, diafiltración o electrodiálisis (Figura 6.13). La acidez del suero de leche desmineralizado se puede ajustar mediante la adición de ingredientes seguros y adecuados, tales como ácidos o sales básicas, dependiendo del caso. El almacenaje y transporte debe realizarse en un ambiente fresco y seco a temperaturas inferiores a 27 ° C y una humedad relativa inferior al 65%, y el producto debe utilizarse dentro de 9-12 meses (Page et al., 2014).

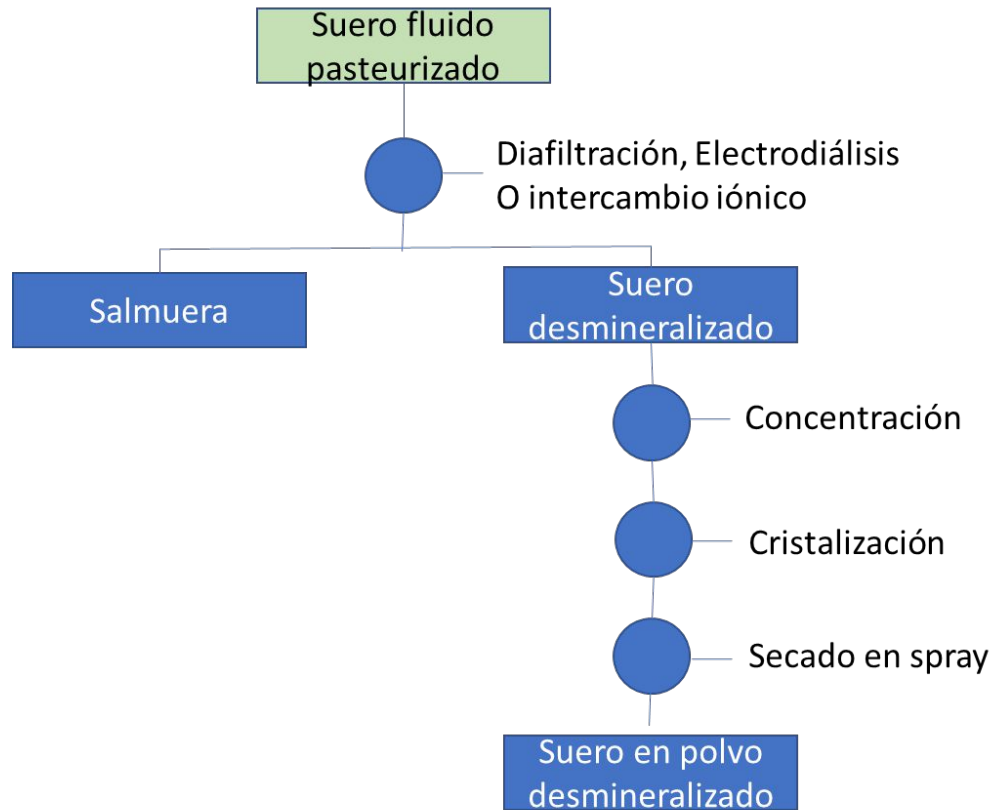


Figura 6.13: Suero en polvo desmineralizado (modificado de Page et al., 2014).

El suero en polvo desmineralizado es frecuentemente utilizado para el desarrollo de fórmulas infantiles. La leche humana contiene más lactosa (~7%) y menos caseína que la leche bovina (~1% de proteína total), lo cual eleva la relación proteína de suero: caseína al 60:40, en comparación con el 20:80 que presenta esta última. Por ello, la mayoría de las formulaciones infantiles, basadas en leche bovina, se maternizan ajustando su contenido de lactosa y su relación entre las proteínas del suero: caseína, a los valores de la leche humana.

Esta corrección suele hacerse con la adición de suero de leche bovino y leche descremada. Sin embargo, debido a que la concentración de sales en la leche bovina es 3-4 veces más alta que la leche humana, lo que representa una carga renal alta para el bebé, se emplean técnicas de electrodiálisis y/o intercambiadores de iones para reducir la cantidad de iones en el suero. (Fox et al, 2017c).

6.3.5 Proteína de suero concentrada (WPC) y Proteína de suero aislada (WPI)

La ultrafiltración (UF) del suero permite una concentración selectiva de la proteína, la cual cuando ésta es secada, se la conoce como proteína de suero concentrada (WPC). El WPC puede contener entre el 20-89% de proteína, aunque el WPC con 35% de proteína, conocido como WPC-35, es el más común.

Mediante una combinación de UF y diafiltración (DF) es posible remover los minerales y la lactosa desde el retenido, lo que permite la obtención de WPC con el 50% de proteína (Kelly, citado por Tunick, 2008; Walstra et al, 2006).

Debido a que la cantidad de retenido en la microfiltración es pequeña, la técnica más común para la recuperación de proteína es la UF.

Por otra parte, cabe mencionar que la materia grasa separada, puede emplearse para la estandarización de la leche. (Walstra, Wouters y Geurts, 2006).

Para controlar el ensuciamiento de la membrana y reducir el potencial de bloqueo de los poros, la microfiltración se ejecuta a velocidades de flujo cruzado elevadas.

En los sistemas de membranas cerámicas, se opera bajo presiones inferiores a por debajo de 1.5 bar, manteniéndose una presión transmembrana uniforme. Si bien las membranas cerámicas presentan uniformidad en el tamaño de poro (lo cual permite una buena selectividad y permeabilidad del suero) y un tiempo de vida útil superior a 10 años, su costo resulta unas diez veces mayor al de las membranas poliméricas enrolladas en espiral (Huffman y Barros-Ferreira, 2011)

Industrialmente el WPC producido puede distinguirse como de baja proteína (entre 25 y 45%), de proteína media (entre 45 y 60%) y alto en proteína (generalmente entre 60 y 80%) y el proceso de obtención cada uno de ellos puede ser distinto (Figura 6.14). (Wit, 2001).



Figura 6.14: Diagrama del proceso de obtención de WPC (modificado de Parzanese, 2017)

En la Tabla 6.4 se presenta la composición de los distintos productos proteicos derivados del suero de quesería.

Tabla 6.4 Composición de polvos del permeado y UF-WPC's (Wit, 2001).

Componente	Permeado	WPC-35	WPC-60	WPC-80
Proteína total	3,3	36,2	63,0	81,0
Proteína verdadera	0	29,7	59,4	75,0
NPN	3,3	6,5	3,6	6,0
Lactosa	81,3	46,5	21,1	3,5
Minerales (cenizas)	8,2	7,8	3,9	3,1
Lípidos	0	2,1	5,6	7,2
Ácido láctico	3,2	2,8	2,2	1,2
Humedad	4	4,6	4,2	4,0

Los aislados de sueroproteínas (WPI), menos comunes que los WPC, son aquellos en los que se ha removido toda la lactosa, y su contenido proteico es de, al menos, el 90% al menos, 90% de proteína.

Por lo general, para su obtención, los equipos de filtración por membrana, se combinan con columnas de intercambio iónico, en las que los componentes son separados de acuerdo a su carga iónica, independientemente de su tamaño molecular (Foegeding y Luck, citado por Tunick, 2008).

En la Figura 6.15 se presenta un esquema con las diferentes etapas que componen el proceso de elaboración de aislado de suero en polvo (modificado de Page et al., 2014).

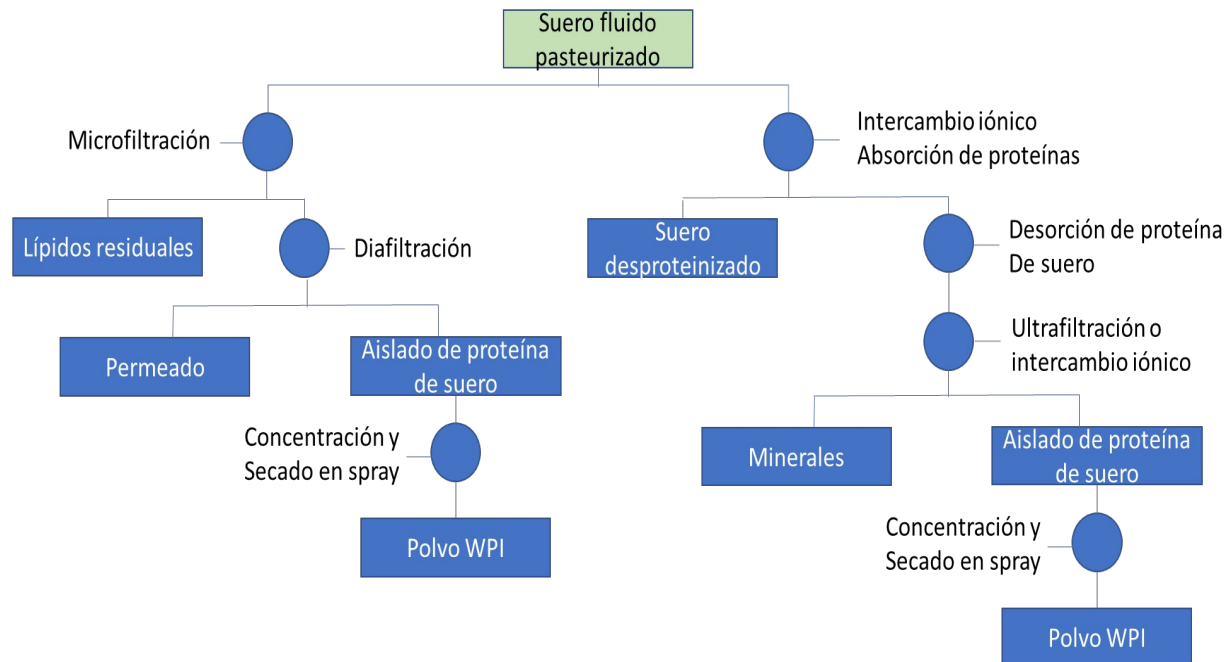


Figura 6.15: Esquema de elaboración de aislado de suero en polvo (modificado de Page *et al.*, 2014).

- Ultrafiltración I Alimentación: corriente de concentrado de suero tipo WPC 35.
- Microfiltración Alimentación: corriente de salida de la etapa de Ultrafiltración I.
- Ultrafiltración II Alimentación: corriente de salida de la etapa de Microfiltración.

En este sentido, para la elaboración de aislados de proteína de suero, es recomendable que, aquellas plantas que producen concentrados de tipo WPC 35, incorporen este producto directamente a las etapas de Microfiltración y posterior Ultrafiltración II, a los efectos de transformar este producto en uno de mayor valor agregado, como es el caso de los WPI.

La etapa final del proceso de obtención de WPI es el secado del concentrado obtenido en la Ultrafiltración II, para lo cual se utilizan equipos de Secado Spray. El total de WPI producido se puede estimar en aproximadamente 0,23 Kg de WPI por cada 45,36 Kg de suero de alimentación (Parzanese, 2017).

En cuanto al aspecto, tanto los WPC como los WPI son un producto, blanco con flavor típico de los lácteos (Tunick, 2008; Tsakali, 2010).

Es importante destacar que, a través de nuevas tecnologías aplicadas a los WPI, en las que se implementan tratamientos térmicos, con ácidos o con proteasas específicas, es posible obtener hidrolizados de proteínas de suero, incluyendo una gran variedad de compuestos bioactivos como aminoácidos, péptidos y diversas fracciones de proteicas.

Estudios recientes han evidenciado que los compuestos bioactivos provenientes del suero de leche, tienen propiedades antimicrobianas y antivirales, estimulan el sistema inmune, poseen actividad antioxidante, puede ayudar a prevenir el cáncer y enfermedades cardiovasculares; mejoran el desempeño de las personas físicamente activas, entre otros beneficios para la salud (Miller et al., 2007).

Las ventajas exhibidas, tanto por los WPC y los WPI, en sus aplicaciones alimentarias, estriban en su alto contenido de proteína y aminoácidos; bajo en calorías, grasa, y contenido de sodio, libre de patógenos, compuestos tóxicos y factores antinutricionales, a lo que se suman otras propiedades como su óptima capacidad emulsionante (compatible con otros ingredientes), rápida disponibilidad, y la percepción de que es un producto natural.

La estabilidad térmica de los concentrados de proteína de suero en los sistemas alimentarios está influenciada por una variedad de factores tales como el pH, la duración y la intensidad del tratamiento térmico, la cantidad de calcio y la presencia de otros ingredientes (Huginin, citado por Page et al., 2014). Específicamente, los factores de mayor influencia en la estabilidad térmica

son: temperaturas superiores a los 75 ° C; acidez, en el rango de pH 3.5 - 6.; concentración de proteína mayor al 5%; presencia de iones calcio y magnesio y elevada concentración de lactosa, azúcar y grasa.

Así, por ejemplo, en las bebidas tratadas con ultra-alta temperatura (UAT), las proteínas del suero se pueden desnaturalizar y flocular si el proceso no se controla y la fórmula se ajusta según sea necesario. No obstante, los fabricantes tienen la posibilidad de modificar el proceso de producción para aumentar la estabilidad térmica de las proteínas de suero de leche. Una prueba de estabilidad térmica típica para concentrados de proteína de suero resistentes al calor desarrollada por “Glanbia Nutritionals USA”, consiste en preparar una solución de 100 ml de WPC al 8%, calentar a 70°C, enfriar a temperatura ambiente, autoclavar a 125°C, durante 10 minutos, enfriar a temperatura ambiente, filtrar la solución y medir los sólidos en el filtrado. El compuesto se considera termoestable si más del 95% de los sólidos pasan a través del filtro (medido como % de sólidos en el filtrado / sólidos originales). En general estos polvos deben ser almacenados a temperaturas inferiores a 27°C con una humedad menor al 65% por un tiempo de 9 a 12 meses (Page et al., 2014).

6.3.5.1 Propiedades funcionales de WPC

Los concentrados de proteínas de suero (WPC) han sido usados como ingredientes alimentarios gracias a su valor nutricional, y, a más de ello, por las propiedades funcionales que éstos reúnen, a través de las cuales se puede mejorar la calidad y la aceptabilidad de los alimentos en los que son utilizados. En este sentido, las propiedades funcionales más comunes reconocidas en los WPC, son: solubilidad, viscosidad, capacidad emulsificante y espumante, absorción de agua, gelificación y formación de fibras (Zall et al.,1992):

- a) Solubilidad:** las proteínas de suero son altamente solubles, sobre todo cuando se las compara con caseinatos de sodio y con la proteína de soja. La solubilidad de la proteína de suero depende de su capacidad para ligar agua y además de su estado físico. Esta propiedad funcional es un requisito primordial para la formación de espumas, emulsiones, así como también para su inclusión en bebidas y otras aplicaciones. Pelegrine y Gasparetto (2005), estudiaron el efecto del pH y la temperatura sobre la solubilidad de la proteína de suero y

determinaron que estas dos variables tienen gran interacción, siendo así, que la solubilidad mínima es cuando el pH es 4.5, además es más insoluble a medida que aumenta la temperatura (Figura 6.16).

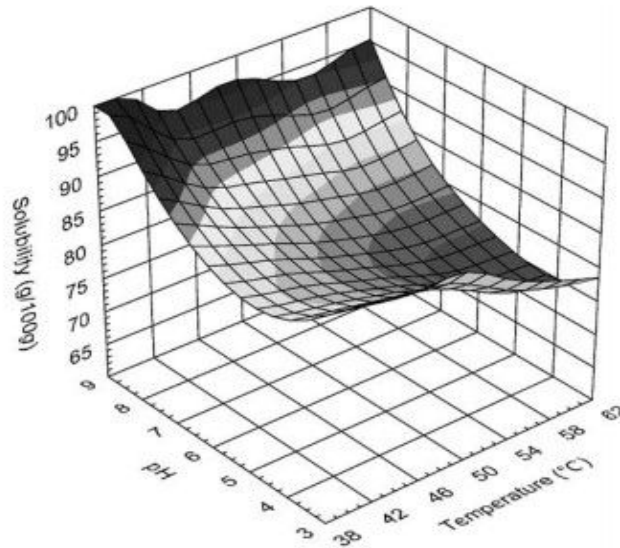


Figura 6.16: Gráfico de superficie de respuesta para la solubilidad de proteína de suero afectada por el pH y temperatura

- b) **Emulsión:** Al igual que las caseínas, las sueroproteínas son cadenas poli-iónicas, es decir que en su estructura primaria contienen residuos polares y no polares, cuya distribución no es uniforme. Este desbalance, hace que la molécula se presente regiones hidrofóbicas e hidrofílicas, lo cual le confiere la propiedad de disponerse en la interfase grasa/agua y, por ende, le permite formar emulsiones macroscópicas estables. Cabe señalar que, una desnaturalización parcial, favorece esta propiedad, dado que puede incrementar el número de grupos activos expuestos (Fox et al., 2015a).
- c) **Viscosidad y capacidad de ligación de agua.** La viscosidad es la propiedad por la cual los fluidos ofrecen resistencia a deformarse (fluir) cuando se los somete a un esfuerzo de corte. Esta magnitud depende del tamaño, forma y carga eléctrica de las moléculas y, en el caso de las soluciones, también está influenciada por la concentración, el pH y el medio ambiente iónico. La capacidad de ligar agua y la viscosidad están directamente relacionadas; cuando se calienta la proteína, se rompen los enlaces que mantienen la estructura globular, generándose puntos de unión, lo que favorece la capacidad de ligar

agua (Page et al., 2014). En general, los WPC exhiben baja viscosidad a una concentración del 45%, sin embargo, a medida que aumenta la concentración de proteína, la viscosidad aumenta considerablemente (Figura 6.17). Este es un aspecto importante, por cuanto, los distintos procesos de manufactura están influenciados por esta propiedad. (Alizadehfard y Wiley, 1994)

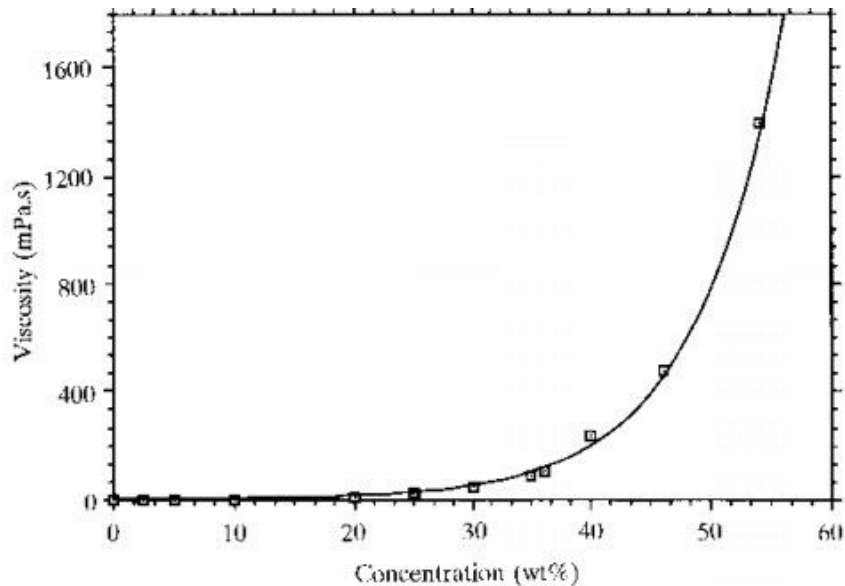


Figura 6.17: Efecto de la concentración de proteína sobre la viscosidad ($T=20^{\circ}\text{C}$, $\gamma = 500 \text{ l s}^{-1}$ y $\text{pH} = 6.5$)

Espumado. esta propiedad es similar a la emulsión, pero en este caso la función de las proteínas es estabilizar el aire. Los factores que influyen en esta propiedad son: la presencia de sacarosa añadida, el contenido de grasa residual, el tiempo de batido, el nivel de sólidos, el pH, la desnaturalización térmica, la fuerza iónica, la adición de surfactantes y el potencial redox. El WPC se usa, pero no es tan estable como el caseinato. El almacenamiento en frío perjudica las propiedades de batido. Esta propiedad es muy dependiente del grado de desnaturalización (Fox et al., 2017; Jovanovic y Barác y Macej, 2005; Page et al. 2014).

Gelificación. La capacidad de formar geles, es una de las propiedades más interesantes de los WPC, por su capacidad de retener el agua tras una desnaturalización. La concentración óptima para gelificar de los WPC es 15% (mínimo 50% de sólidos como proteína), mientras que por debajo del 10% la formación del gel no se produce. Asimismo, se ha demostrado que, a pH neutro y alcalino, se obtienen geles con mayor firmeza. Generalmente el WPC tiene la capacidad

de gelificar a 60 – 90 °C en concentraciones de 80 – 120 g L⁻¹. El proceso de gelificación está influenciado por la temperatura y por el tiempo de calentamiento, pH y fuerza iónica, concentraciones de sales, lípidos y azúcares (Jovanovic y Barác y Macej, 2005; Page et al, 2014).

6.3.5.2 Componentes presentes en los WPC que revisten una singular importancia

A más de la α -lactoalbúmina y la β -lactoglobulina, existen otros componentes de gran importancia como son:

a) Lactoferrina

Como ya se mencionó, lactoferrina (Lf) es una glicoproteína globular, que se sintetiza en las células epiteliales de la glándula mamaria, pero también en otras glándulas exocrinas, y en consecuencia se encuentra en otras secreciones externas, por ejemplo, saliva, fluido pancreático, lágrimas, sudor y semen (Tabla 6.5).

Tabla 6.5 Concentración de Lactoferrina en diversas secreciones biológicas

Secreción Biológica	Concentración (mg ml ⁻¹)
Humana	
Calostro (1-5 días)	4,6 (0,6-16)
Leche (0,5-6 meses)	1,5 (0,3-4,2)
Leche (> 6 meses)	0,7 (0,1-3,5)
Líquido lacrimal	2,2
Plasma seminal	0,4-1,9
Líquido sinovial	0,01-0,08
Saliva	0,007-0,010
Bovina	
Calostro	1,5 (0,2-5,2)
Leche	0,1 (0,07-0,12)

Lf bovina es una proteína globular, que consiste en una cadena polipeptídica simple, formada por 689 aminoácidos, que contiene ~7,5% de restos de carbohidratos (glucosa, manosa, N-acetilglucosamina, N-acetilneuramínico), cuyo peso molecular está comprendido entre 80 y 84 KDa, dependiendo del grado de glicosilación. La secuencia aminoacídica de la Lf bovina presenta un grado de homología del 69% con la Lf humana, la cual contiene 691 aminoácidos.

Es una proteína bilobulada, que presenta dos dominios identificados por lóbulo: Lóbulo N (residuos 1–333) y Lóbulo C (residuos 345–692), cuyos extremos se encuentran conectados por una corta Hélice α , tal como puede apreciarse en la Figura 6.18. A su vez, también posee un 5% de restos de cisteína, cuya ubicación permite la formación de puentes disulfuro que refuerzan la estructura terciaria. Cada lóbulo puede ligar un ión Fe^{3+} (o sea, 2 moles $\text{Fe}^{3+}/\text{mol}$), con la participación de los restos Asparagina (Asp), Tirosina (Tir) e Histidina (His), con la concomitante incorporación de bicarbonato (HCO_3^-) o carbonato (CO_3^{2-}) (Figura 6.19).

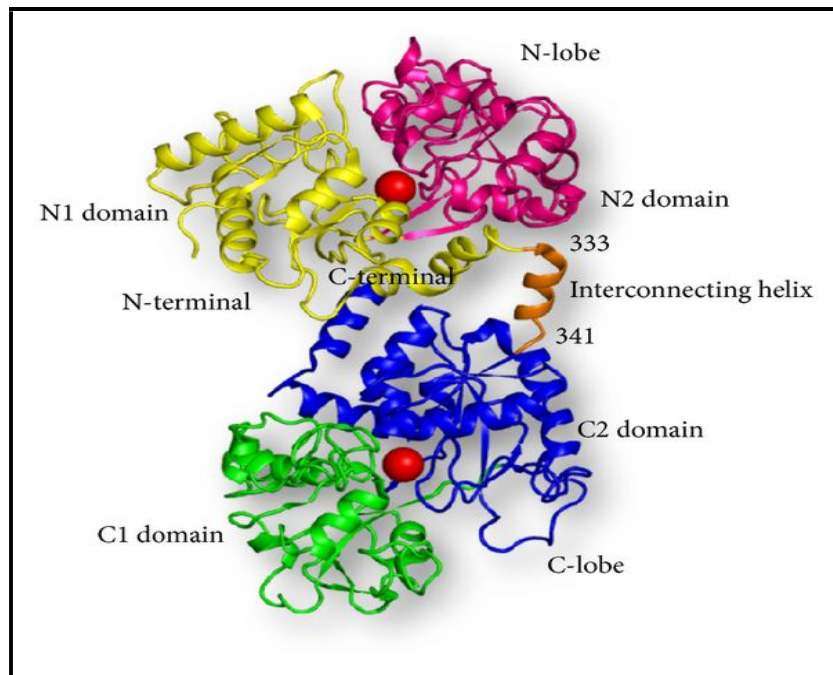


Figura 6.18: Diagrama esquemático de la molécula de lactoferrina bovina. Los dominios correspondientes al Lóbulo N: N1 y N2 están coloreados en amarillo y rosa, respectivamente, mientras que los dominios C1 y C2, correspondientes al Lóbulo C, están coloreados en verde y azul, respectivamente. La hélice de interconexión entre los lóbulos está coloreada en naranja. Los dos átomos de hierro se muestran como esferas rojas.

Cabe aclarar que, además de Fe^{3+} , Lf puede unirse a otros iones como Fe^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} y Mn^{2+} (González-Chávez et al., 2009)

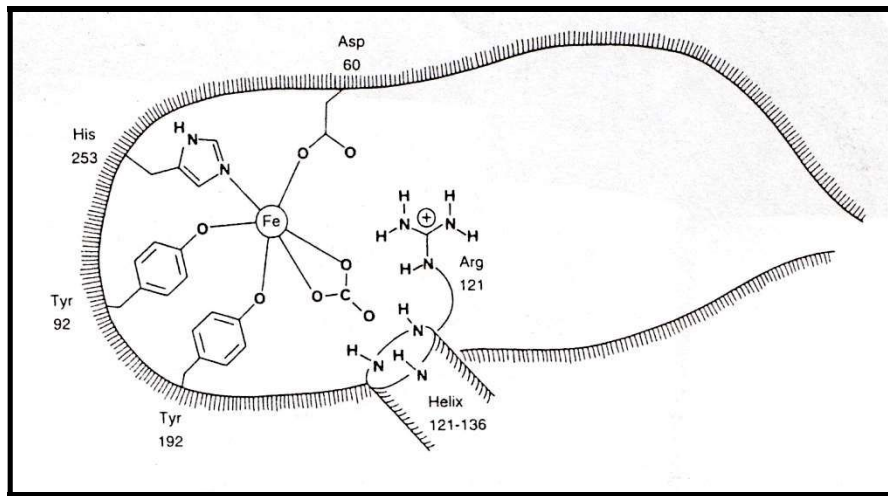


Figura 6.19: Representación esquemática del sitio de unión al hierro de lactoferrina. La numeración corresponde a la disposición del Lóbulo N, que es igual a la del Lóbulo C

La afinidad de Lf por los Fe^{3+} , es muy alta ($K_d \sim 10^{-30}$), y de esta propiedad deriva una de sus principales funciones biológicas, la cual consiste en transportar y suministrar hierro al cuerpo (González-Chávez *et al.*, 2009; Korhonen and Marnila, 2011; Sreedhara *et al.*, 2010; Fox *et al.*, 2015).

Debido a la reversibilidad de la unión al Fe^{3+} , LF puede existir en forma asociada a dicho ión, conocida como Holo-Lf, o exenta de éste, denominada Apo-Lf. Ambas formas exhiben una conformación tridimensional diferente, por cuanto, la presencia del Fe^{3+} , permite que la Holo-Lf tenga una estructura más cerrada y, por ende, más resistente a proteólisis que la Apo-Lf (González-Chávez *et al.*, 2009).

Asimismo, cabe mencionar que, en virtud de la naturaleza electrostática de la unión Lf-Fe^{3+} , ésta resulta fuertemente dependiente del pH, por lo que, una acidificación del medio reduce significativamente el contenido del metal (a pH 2, la disociación es completa) (Sreedhara et al., 2010).

Lf es una proteína básica, cargada positivamente, con un punto isoeléctrico (pI) muy elevado en el orden de 8,0 8,5 (Van der Strate et al., 2001), aunque otros autores sugieren un pI de 9,4 para Lf bovina y 9,5 para la Lf humana (Korhonen and Marnila).

Si bien se trata de un componente minoritario, en los últimos años, esta sueroproteína ha ido cobrando mayor interés, no sólo como fuente de aminoácidos sino también porque, por su capacidad de ligar iones férricos, le confiere un alto potencial terapéutico, por cuanto constituye un factor regulador con amplias funciones biológicas que han sido bien documentadas (González-Chávez et al., 2009; García-Montoya et al., 2012; Rybarczyka et al., 2017).

Entre los múltiples beneficios para la salud, se pueden mencionar:

- a- Posee actividad bactericida y bacteriostática. Es uno de los roles benéficos más reconocidos, atribuido a sus propiedades depuradoras de hierro, dado que anula (o reduce) su disponibilidad, la cual es esencial para muchos microorganismos. Sin embargo, a través de estudios subsiguientes, se ha demostrado que el mecanismo antimicrobiano de la lactoferrina es más complejo que la simple privación nutricional y, en este sentido, se han considerado que también pueden intervenir otros efectos tales como desestabilización de la pared celular, modulación del sistema inmune (induce la maduración de linfocitos T y B, y estimula la actividad de células NK), acción sinérgica con la lisozima y antibióticos, etc. (Shin et al., 2000; Baró et al., 2001; Rodríguez-Franco et al., 2005; Madureira et al., 2007; Korhonen y Marnila, 2011). De este modo, a través de su actividad antimicrobiana y antiviral, lactoferrina previene infecciones en la glándula mamaria y en el tracto gastrointestinal.
- b- Ayuda a la implantación y preservación de la flora intestinal útil (principalmente *Bifidobacterium*).
- c- Contrarresta los efectos de un exceso de hierro libre tales como: daños oxidativos en ácidos Nucleicos, desarrollo de artritis, riesgo de infecciones (diarreas), molestia gastrointestinal (constipación), hemosiderosis, reducción de otros minerales biodisponibles, etc.
- d- Ejerce una acción antioxidante, controlando la formación de radicales libres, etc. (Baró et al., 2001; Rodríguez-Franco et al., 2005; Korhonen y Marnila, 2011).

- e- Actúa como molécula antiinflamatoria: modula la respuesta inflamatoria reduciendo la liberación de las citocinas, interleucinas y prostaglandina E que son las responsables de los procesos inflamatorios.
- f- Ejerce acción antioxidante: controla la formación de radicales libres propiciada por el exceso de hierro. Esto representa un aporte sumamente importante, dado la formación indeseada de radicales libres como los superóxidos (O_2^-) ó hidroxilo ($\cdot OH$), se encuentran entre las principales causas del daño de la piel, caracterizado por la aparición de arrugas y otros síntomas de envejecimiento (Page et al., 2014).

Por otra parte, además de los roles benéficos para la salud mencionados, recientemente, se ha suscitado un creciente interés por la utilización de lactoferrina como un agente emulsionante (Sarkar et al., 2009; Sarkar et al., 2010). En efecto, el punto isoeléctrico, inusualmente alto ($pI > 8$) de Lf, da lugar a que, a pH neutro, su estructura tienda a ser catiónica (a diferencia del resto de proteínas globulares lácteas, que son aniónicas (Steijns y van Hooijdonk, 2000), le confiere una importante capacidad emulsionante, al permitirle formar gotitas cargadas positivamente (Tokle y McClements, 2011), como se esquematiza en la Figura 5.19.

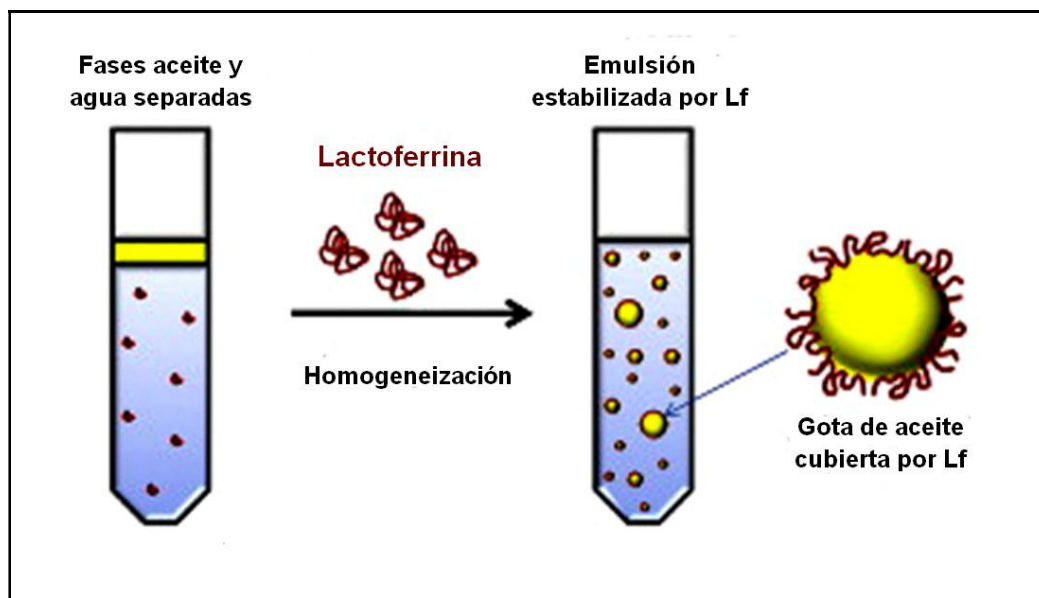


Figura 6.20: Capacidad emulsionante de Lactoferrina. Las gotitas de aceite recubiertas por lactoferrina se forman homogeneizando la mezcla de aceite, agua y proteína.

Una de las aplicaciones prácticas derivada de esta propiedad, es que Lf puede ser utilizada para vehicular y proteger componentes bioactivos, como, por ejemplo, ácidos grasos $\Omega 3$, vitaminas liposolubles, etc., con la ventaja de que las gotitas catiónicas son más estables a la oxidación lipídica que las aniónicas, porque no atraen iones metálicos (con carga positiva) que catalizan la oxidación superficial de las mismas (Mei et al., 1998; Mei et al., 1999). (Tokle y McClements, 2011).

Actualmente, lactoferrina se produce comercialmente utilizando membranas de flujo cruzado de intercambio catiónico, aunque también se puede aislar por cromatografía y otros métodos (Figura 6.21).

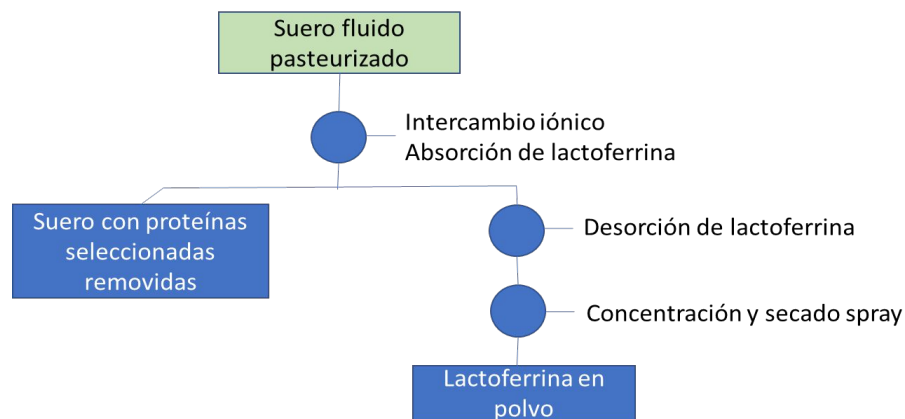


Figura 6.21: Esquema de elaboración lactoferrina en polvo (modificado de Page et al., 2014).

6.3.6 Lactosa

El procedimiento más común de obtener lactosa en estado sólido es mediante la cristalización de una solución sobresaturada en dicho azúcar. Sin embargo, según las condiciones en que se realice esta operación, la estructura obtenida será diferente. En este sentido, las formas más comunes corresponden a:

6.3.6.1 α -Lactosa monohidratada

Cuando la cristalización se realiza a temperaturas inferiores a 93,5 °C, se obtienen cristales de α -Lactosa monohidratada, es decir que cada molécula está asociada a una molécula de agua, la cual no se elimina durante los procesos normales de secado. Este tipo de lactosa se usa en la industria farmacéutica como excipiente (Kreczmann et al,2015; Wit, 2001).

6.3.6.2 β -Lactosa

Cuando la temperatura de cristalización está por encima de los 93,5 °C, se forman exclusivamente cristales de β -Lactosa, los cuales, comparados con los cristales de β -Lactosa monohidratada, son más frágiles y no contienen agua en su estructura cristalina.

La pureza isomérica (o concentración de cada isómero de lactosa) es de aproximadamente 80% de α -Lactosa y el 20% restante es β -Lactosa anhidra. Este tipo de lactosa se utiliza principalmente como material de relleno aglutinante para la elaboración de comprimidos (Kreczmann et al., 2015; Wit, 2001).

6.3.6.3 Lactosa amorfa

Cuando una solución de lactosa altamente concentrada se seca muy rápidamente, como por ejemplo mediante un secado Spray (por pulverización), se obtiene una masa de lactosa en estado vítreo, altamente higroscópica. Este estado vítreo, es una forma de lactosa amorfa, que contiene tanto α como β -Lactosa en proporción variable (Alais, 1988). Una de las principales aplicaciones que encuentra la lactosa amorfa es para la formación de polvos comprimidos por compresión directa y en mezcla con lactosa cristalina, se usa para la producción de lactosa grado farmacéutico (Kreczmann et al., 2015; Wit, 2001).

6.3.6.4 Lactosa grado Alimenticio

La lactosa de calidad alimentaria se produce a partir de la concentración del suero de leche o bien, del permeado resultante de la obtención de sueroproteínas por filtración, a los efectos de producir una sobresaturación en lactosa, para luego, retirar y secar los cristales formados.

Los procesos especiales de cristalización, así como la molienda y el tamizado fraccionado, producen tipos de lactosa que difieren en la distribución del tamaño de partícula (Figura 6.22).

Hoy en día, la industria ofrece diversos tipos de lactosa, cuyo campo de aplicación resulta muy amplio. Estos productos contienen, como mínimo, un 98% (en base seca) de lactosa, conformada por cristales que pueden ir desde superfinos a extra gruesos, anhidros, monohidrato o mezcla de ambos, con un tenor de cenizas sulfatadas no superior al 0,3%, ambos en seco. El pH de una solución al 10% no es inferior a 4,5 o superior a 7,5.

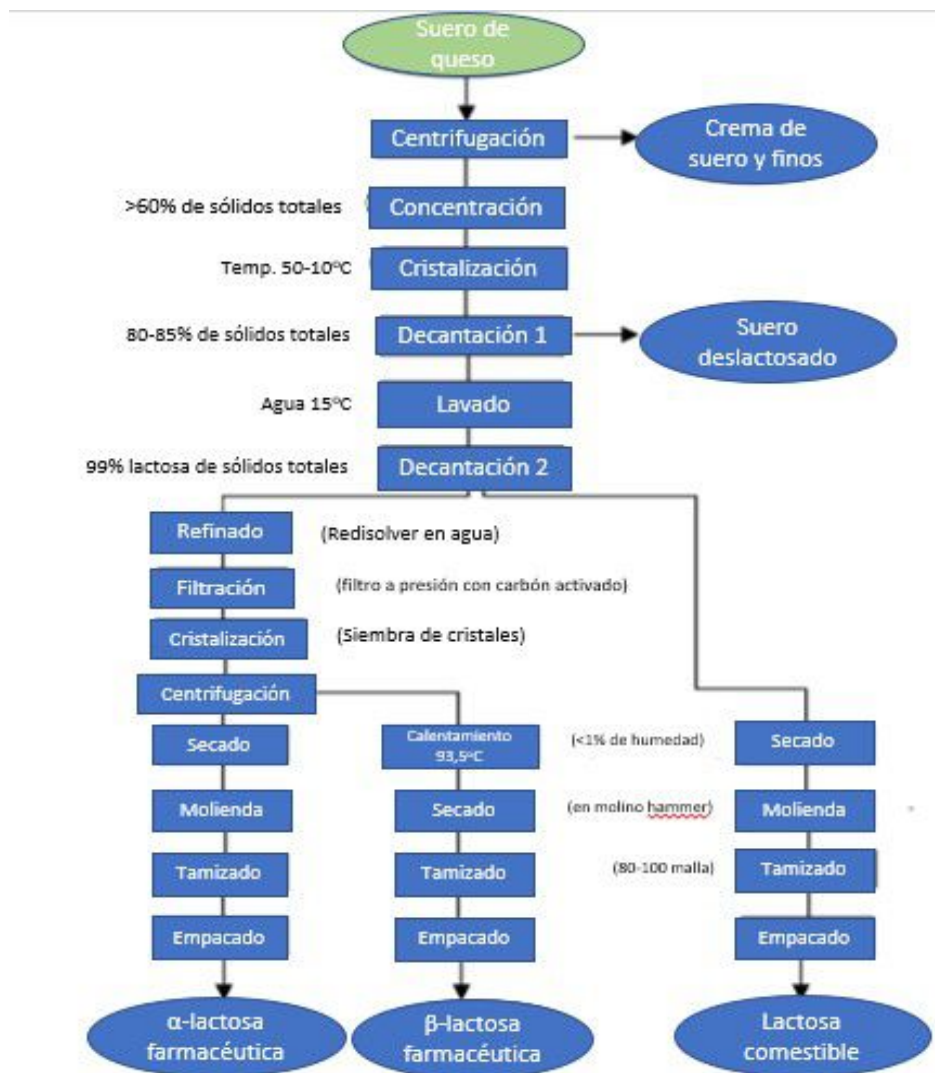


Figura 6.22: Esquema de elaboración de lactosa grado alimenticio y farmacéutico (modificado de Page et al., 2014; Wit, 2001).

- *Propiedades funcionales de la lactosa grado alimenticio*

- a) **Dulzura.** La lactosa tiene aproximadamente el 25% de la dulzura de la sacarosa. Los beneficios de la lactosa incluyen: un sabor dulce limpio sin sabor residual, mayor contenido de sólidos, viscosidad y cualidades de textura mejoradas sin hacer que el producto sea demasiado dulce, proporcionar una fuente de energía en fórmulas para bebés, donde demasiada dulzura es indeseable. No obstante, deben tenerse en cuenta los efectos sinérgicos entre la lactosa con otros ingredientes alimentarios, dado que estos pueden provocar una potenciación del dulzor o bien una supresión del mismo. Entre los atributos más beneficiosos, se pueden mencionar el enmascaramiento del sabor amargo de la sacarina o la prolongación en el tiempo del dulzor del xilitol en el chicle (Page et al., 2014).
- b) **Solubilidad.** La lactosa es menos soluble que la sacarosa (~70%, a 25 °C), la fructosa y la dextrosa. Aunque la solubilidad relativamente baja de la lactosa puede limitar su uso en ciertas aplicaciones, puede resultar una ventaja en muchas otras, tales como productos instantáneos y productos para microondas (Hunziker y Nissen, 1926; Fox, 2009, Walstra, 2006).
- c) **Cristalización.** La lactosa altera el comportamiento de cristalización de otros azúcares y, por ello, se la usa ampliamente para controlar la cristalización en formulaciones de alimentos. Por ejemplo, con la adición de lactosa, los cristales de sacarosa se vuelven más pequeños, a la vez que se reduce tendencia a combinarse, lo cual evita la formación de arena y produce una masa cristalina más suave y lisa.
- d) **Browning (amarronado o pardeamiento).** El calentamiento de la lactosa, a altas temperaturas, desencadena complejas reacciones químicas que conducen a la

producción de compuestos de color marrón. Estas reacciones pueden ser de Maillard o de caramelización.

- *Reacción de Maillard.* La reacción de Maillard es la descripción general de una serie de reacciones derivadas de la interacción de grupos amino libres de aminos, aminoácidos, péptidos y proteínas con grupos carbonilo, particularmente presentes en azúcares reductores. En la leche, la lactosa, como un azúcar reductor, puede participar en la reacción de Maillard, lo que conduce al fenómeno denominado “pardeamiento no-enzimático” (O'Brien 1997, 2009; Nursten 2011). En esta reacción, el carbonilo de la lactosa interactúa con un grupo amino (en alimentos, principalmente el grupo ϵ -NH₂ de lisina de proteínas) para formar una glucosamina (lactosamina). A continuación, la glicosamina puede sufrir lo que se conoce como “reordenamiento de Amadori” para formar un 1-amino-2-ceto azúcar (compuesto de Amadori). Luego, dependiendo del pH, el compuesto Amadori puede ser degradado según dos vías diferentes, a través de las cuales se produce una variedad de compuestos con grupos activos alcohol, carbonilo y dicarbonilo y, a partir de los que, finalmente, se forman polímeros de color marrón llamadas melanoidinas. Si bien muchos de los productos intermedios son insípidos, los dicarbonílicos pueden reaccionar con aminoácidos, a través de la vía de degradación de Strecker, para producir otra familia de compuestos de gran sabor (O'Brien 1997, 2009; Fayle y Gerard, 2005; Nursten, 2011; Fox et al., 2015d). Cabe destacar que, si bien la reacción de Maillard tiene efectos deseables en muchos alimentos, tales como, café, corteza del pan, tostadas, papas fritas, etc., en los que contribuye al aroma, sabor y apariencia de los mismos, no ocurre igual en los productos lácteos, en los que, a excepción del dulce de leche, consecuencias como generación de color marrón, desarrollo de sabores desagradables, ligera pérdida de valor nutritivo (lisina) o reducción de la solubilidad en leche en polvo, resultan totalmente indeseables (Fayle y Gerrard, 2005; Zalazar y Perotti, 2011; Rodríguez et al., 2012).

- *Reacción de caramelización.* A temperaturas superiores a las requeridas para Maillard, sustancias como azúcares, polisacáridos, ácidos polihidroxicarboxílicos, reductonas, compuestos α -dicarbonilo o quinonas sufren oxidaciones que llevan a la formación de compuestos de color marrón, aún en ausencia de compuestos amino y/o catalizadores. Por ejemplo, glucosa se descompone solo por encima de 150°C, lo cual se conoce como caramelización (Nursten, 2011). La caramelización de la lactosa es la oxidación que ésta experimenta cuando se la trata a 150-160°C, condición en la que, adquiere un color amarillo, que se torna marrón a 175°C, lo que representa una propiedad beneficiosa en la producción de dulces de tipo caramelo.

En base a lo expuesto, se concluye que la lactosa es muy importante para inducir un pardeamiento controlado en productos horneados, cárnicos de confitería y alimentos para microondas. Un ejemplo interesante, son los panes especiales, en los que la lactosa produce un color marrón dorado que no se decolora ni se desvanece durante el almacenamiento (Page *et al.*, 2014).

6.3.6.5 Derivados de la lactosa

La prohibición de eliminar el suero de quesería, o permeados de UF, por evacuación directa en corrientes de agua, con miras a reducir los problemas de polución, ha suscitado, desde hace tiempo, la búsqueda de nuevas formas de utilizar la lactosa, en especial, porque su mercado es relativamente limitado. Si bien, durante muchos años, se ha considerado que la alternativa más conveniente es su hidrólisis en glucosa y galactosa, actualmente se han introducido otras modificaciones, que han despertado un creciente interés (Fox *et al.*, 2017). Así, en base a tratamientos enzimáticos, químicos o físicos, a partir de la lactosa, pueden obtenerse una gama de derivados útiles como, por ejemplo:

- *Lactulosa.* Corresponde al isómero de la lactosa, en el que el resto de glucosa, pasa a fructosa (forma furanosa), mediante un tratamiento alcalino suave (Figura 6.23).

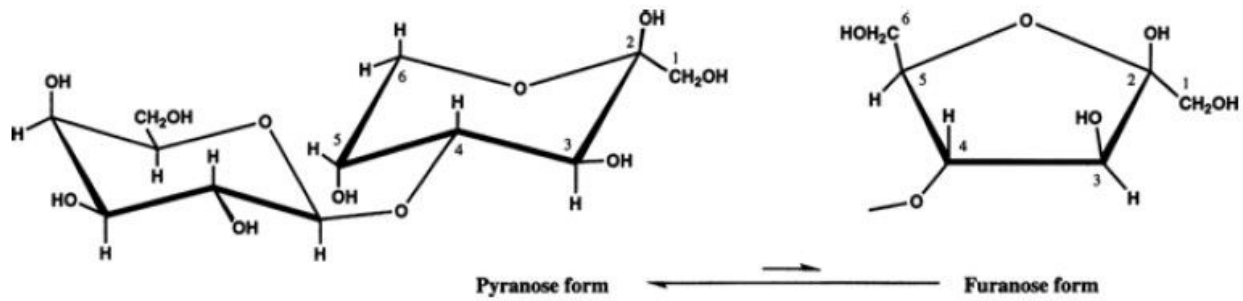


Figura 6.23: Estructura química de la lactulosa

La lactulosa no es hidrolizada por la β -galactosidasa en el intestino humano y pasa al intestino inferior donde puede actuar como laxante o promover el crecimiento de bifidobacterias que tienen efectos beneficiosos sobre la ecología microbiana del intestino (Figura 6.24).

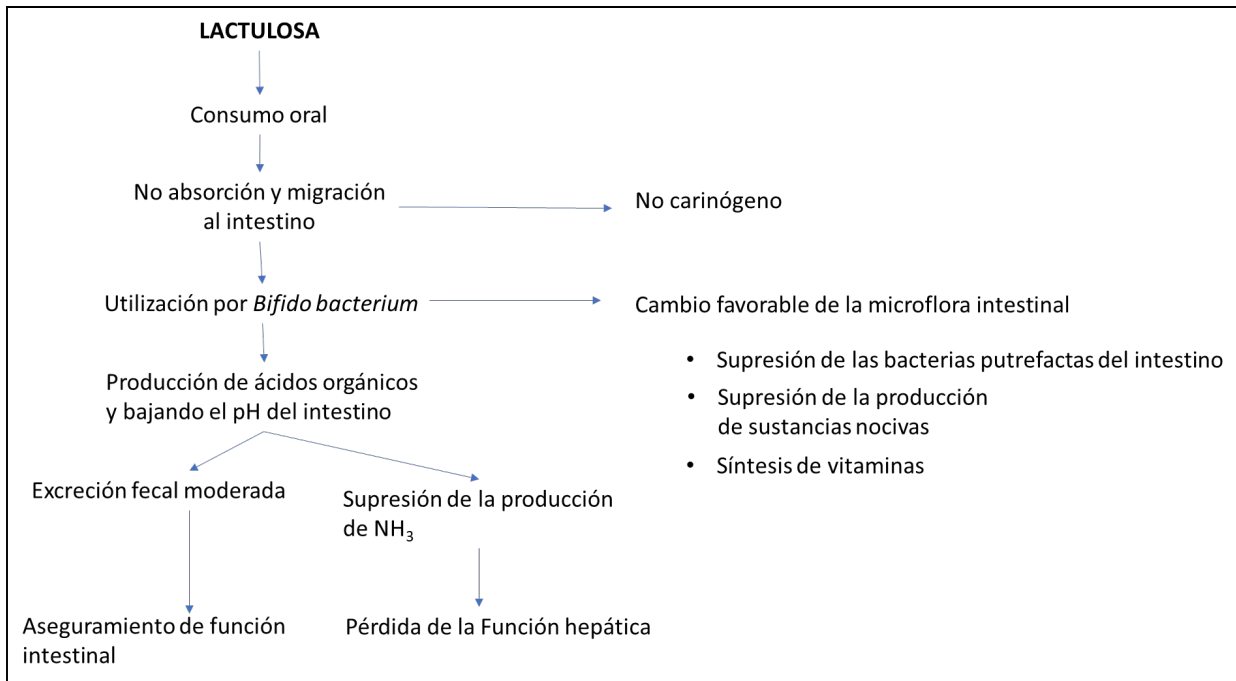


Figura 6.24: Importancia de la lactulosa en la salud

- *Lactitol*. La reducción, a través de métodos químicos o electrolíticos, del grupo carbonilo de lactosa conduce a la formación de un alcohol denominado lactitol (Figura 6.25).

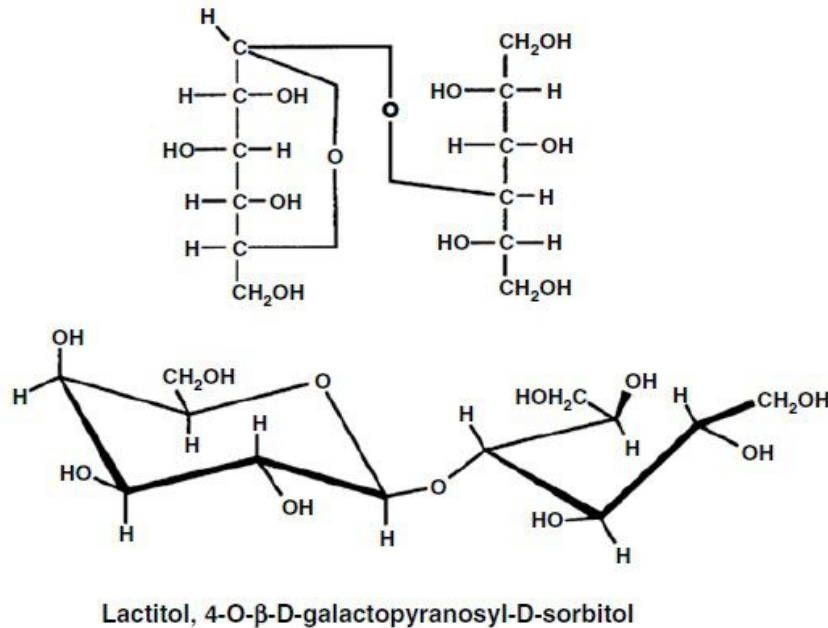


Figura 6.25: Estructura química del lactitol (Fox et al., 2017).

Dado que este compuesto no se hidroliza en el intestino humano, se lo puede emplear como edulcorante no nutritivo. Asimismo, también se han reportado que lactitol disminuye la absorción de sacarosa, reduce los niveles de colesterol en la sangre y el hígado y es anticariógeno. Encuentra aplicación en alimentos bajos en calorías (confituras, mermeladas, chocolate, productos horneados); no es higroscópico y se puede usar para recubrir alimentos sensibles a la humedad, por ejemplo, caramelos (Fox et al., 2015). El lactitol puede esterificarse con uno o más ácidos grasos para producir un rango de emulsionantes de calidad alimentaria, análogos a los sorbitanos (ésteres de sorbitol).

Ácido lactobiónico. Este derivado se produce por oxidación del grupo carbonilo libre de lactosa (Figura 6.26), reacción que puede producirse por vía química, electrolítica, enzimática o bien por fermentación. A su vez, el ácido lactobiónico puede convertirse en su lactona (tras la pérdida de una molécula de agua), la cual cristaliza fácilmente.

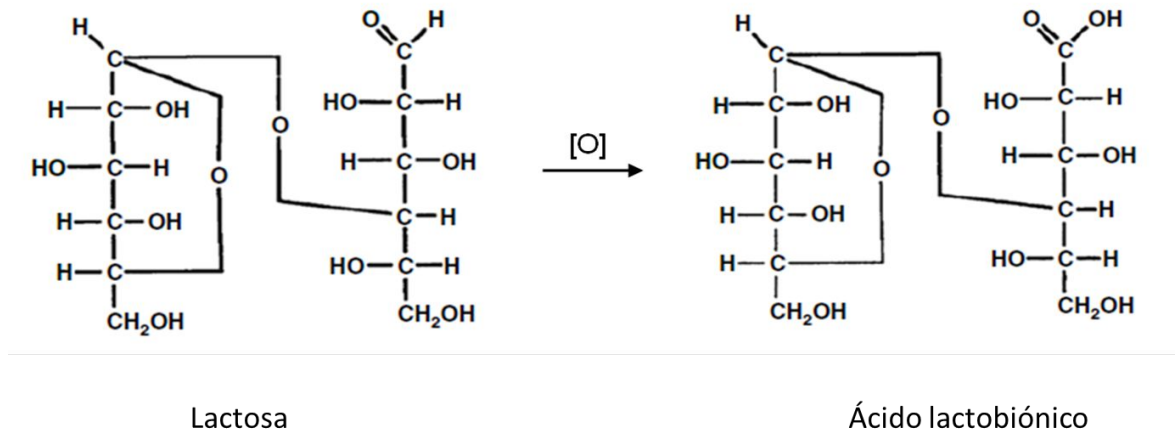


Figura 6.26: Estructura química del Ácido lactobiónico

Ambos derivados tienen una serie de aplicaciones alimentarias e industriales, pero los volúmenes utilizados son pequeños. El ácido lactobiónico tiene un sabor dulce, que es una propiedad muy inusual para un ácido, y por lo tanto puede usarse como un acidulante sin un sabor ácido concomitante. Evita la hinchazón de los órganos del cuerpo y se usa en el transporte y almacenamiento de órganos para la cirugía de trasplante. La lactona se puede usar como un acidulante para alimentos sólidos, con la que se puede mezclar fácilmente.

Tagatosa: Este monosacárido es el análogo ceto de la galactosa (Figura 6.27). Se produce naturalmente, a niveles bajos, en algunas plantas, leche severamente calentada y leche en polvo almacenada.

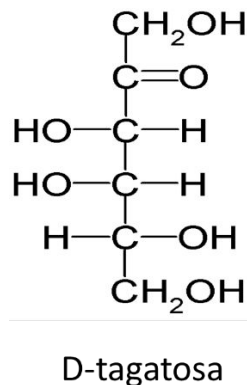


Figura 6.27: Estructura química de la D-tagatosa

D-tagatosa se puede producir tratando lactosa, hidrolizada por β -galactosidasa, con álcali débil, por ejemplo, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, que convierte galactosa en tagatosa, la cual puede purificarse por desmineralización y cromatografía. La tagatosa, tiene un sabor dulce de buena calidad (es casi tan dulce como la sacarosa) que puede mejorar el de otros edulcorantes. Si bien su absorción en el intestino delgado es baja, puede transformarse en ácidos grasos de cadena corta que sí se absorben y proporciona aproximadamente el 35% de la energía de azúcares metabolizados de la manera normal. Asimismo, se ha informado que este azúcar sirve como prebiótico y tiene poco efecto sobre el nivel de glucosa en sangre. Finalmente, cabe señalar que, como un aditivo alimentario, tagatosa está considerada como una sustancia GRAS (acrónimo de Generally Recognized As Safe), o sea Generalmente Reconocido como Seguro (Schaafsma, 2008; Seki y Saito, 2012; Fox et al., 2017).

6.3.7 APLICACIONES DE LOS DERIVADOS DE SUERO

En el pasado, el suero fue considerado como una cura para diversos tipos de enfermedades y, en virtud de ello, ha sido usado en baños termales o bien como medicina. Sin embargo, el incremento en la producción de suero y polvos de suero, cuyo costo es inferior al de la leche descremada en polvo, estimuló su uso como suplemento nutricional en la alimentación de animales. La introducción de las técnicas de separación y aislamiento de los componentes de suero, amplió las posibles aplicaciones en productos alimenticios. Hoy en día, los usos potenciales del suero, tanto por sus propiedades funcionales como nutricionales, son muy numerosos (Wit, 2001).

En la Tabla 6.6 se pueden apreciar las aplicaciones más importantes que encuentran los diferentes productos derivados del suero lácteo, de acuerdo a sus propiedades.

Tabla 6.6: Aplicación de derivados de suero en varios alimentos (modificado de Page et al., 2014).

Categoría de producto	Función deseada	Suero en polvo dulce	Suero en polvo ácido	Suero desproteinizado	Suero desmineralizado	WPC-34	WPC-50	WPC-75	WPC-80	WPI	Lactosa
Panadería	Emulsificación					•	•	•	•	•	
	Control de temperatura						•	•	•	•	
	Desarrollo del calor Color y desarrollo del sabor	•		•		•					•
	Batido	•					•	•	•	•	
	Ligar agua			•		•	•	•	•	•	
	Flavor lácteo	•		•		•	•				•
	Flavor ácido		•								
	Gelificado				•			•	•	•	
	Solubilidad					•	•	•	•	•	
	Nutrición					•	•	•	•	•	
	Panes y empanadas	Adhesión					•	•	•	•	•
Desarrollo de color y flavor		•		•		•					•
Barrera grasa							•	•	•	•	
Bebidas	Solubilidad/estabilidad coloidal			•	•	•	•	•	•	•	
	Estabilidad a acidez				•	•	•	•	•	•	
	Estabilidad térmica				•	•	•	•	•	•	
	Unión de agua/viscosidad				•	•	•	•	•	•	
	Emulsificación					•	•	•	•	•	
	Flavor lácteo				•	•	•	•	•	•	
	Nutrición						•	•	•	•	
Queso,	Emulsificación			•		•	•	•	•	•	

procesado	Unión de agua										
	Flavor lácteo	•		•		•					
	Nutrición					•	•	•	•	•	
	Gelificación							•	•	•	
Confitería	Aereación				•		•	•	•	•	
	Solubilidad			•		•	•	•	•	•	•
	Emulsificación					•	•	•	•	•	
	Gelificación				•			•	•	•	
	Cristalización	•		•	•						•
	Desarrollo de color y flavor	•		•	•						•
	Flavor lácteo	•		•	•	•					
	Recubrimiento de bandeja										•
	Tabletas										•
	Nutrición					•	•	•	•	•	
Mezclas secas	Dispersabilidad	•		•		•	•	•	•	•	•
	No higroscópico	•		•		•	•	•	•	•	•
	Agente de relleno	•		•	•	•					•
Postres congelados	Emulsificación					•	•	•	•	•	
	Aereación					•	•	•	•	•	
	Solubilidad	•		•	•	•	•	•	•	•	
	Flavor lácteo	•		•	•	•					
	Ligar agua					•	•	•	•	•	
	Reemplazo de grasa							•	•	•	
	Nutrición					•	•	•	•	•	
Sustitución de productos lácteos	Solubilidad	•			•	•	•	•	•	•	
	Flavor lácteo	•		•	•	•					
	Emulsificación					•	•	•	•	•	

	Aereación					•	•	•	•	•	
	Nutrición					•	•	•	•	•	
Fórmulas infantiles	Nutrición				•	•	•	•	•	•	•
	Emulsificación					•	•	•	•	•	
	Solubilidad				•	•	•	•	•	•	•
	Flavor lácteo				•	•	•	•	•	•	•
Carnes picadas, salchichas y surimi	Emulsificación					•	•	•	•	•	
	Ligar agua						•	•	•	•	
	Ligar grasa						•	•	•	•	
	Solubilidad					•	•	•	•	•	
	Viscosidad inicial baja					•	•	•	•	•	
	Gelificación							•	•	•	
	Nutrición						•	•	•	•	
Aderezo de ensaladas	Estabilidad a acidez				•	•	•	•	•	•	
	Emulsificación					•	•	•	•	•	
	Nutrición				•	•					
	Flavor lácteo			•	•	•	•	•	•	•	
Salsas y sopas	Solubilidad				•	•	•	•	•	•	
	Emulsificación					•	•	•	•	•	
	Flavor lácteo			•	•	•					
	ligar agua/viscosidad1					•	•	•	•	•	
	Nutrición				•	•	•	•	•	•	
Yogur	Solubilidad				•	•					
	Ligar agua					•	•	•	•	•	
	Nutrición					•	•	•	•	•	

CONSIDERACIONES PARA GENERAR VALOR AGREGADO AL SUERO

Como se mencionó anteriormente, existen distintas opciones para generar valor agregado a partir del suero de quesería, sin embargo, no todas ellas son aplicables de manera fácil y mucho menos económica. Un estudio realizado por el INTI (2017) expone varios criterios a tener en cuenta al momento de analizar una propuesta, como son: el volumen y la calidad del lactosuero producido; la elaboración de ingredientes u otros productos y su mercado potencial y, por último, la tecnología y la inversión necesaria. Asimismo, el volumen disponible determina la posible aplicación (tabla 6.7).

En la misma tabla se observa que la opción de mayor valorización (USD/ton de suero líquido) es la producción del queso Ricota, pero el rendimiento es bajo, y se debe tener en cuenta que habrá que darle un destino final al suero generado. La fabricación de bebidas fermentadas presenta un rendimiento elevado y a su vez un precio de venta alto. Para el caso de los ingredientes, esta opción implica en primer lugar disponer de una escala mínima de producción estimada en centenares de miles de litros diarios de lactosuero dependiendo del producto final. Además, las inversiones asociadas a dichos procesos son significativas. Incluye la escala de volumen potencial y el ingreso bruto de cada una de las opciones, como guía inicial para toma de decisiones. Estos ingresos están calculados en base a costos del año 2014 y, en algunos casos, para distintos tipos de volúmenes.

Tabla 6.7: Volumen potencial e ingreso bruto de distintas opciones de utilización de suero de quesería (estimados en el 2014).

Aplicación	Rango de volumen de suero para la aplicación (L/día)	Valores de mercado (USD/ton)	Rendimiento industrial aproximado (kg/100Kg de suero líquido)	Ingreso bruto por venta (USD/ton suero líquido)
Alimentación Animales propios (agua de bebida a cerdo en fases de crecimiento y ceba)	20L/ cerdo de 30-70kg) y 32L/cerdo de 70-100Kg)	no aplica	100	ahorro equivale al reemplazo de alimentación suministrada por lactosuero
Suero dulce líquido enfriado (puerta de planta)	>10.000	9	100	9
Suero dulce líquido desmigado, desnatado, pasteurizada y enfriado	>30.000	20	100	20
Suero dulce líquido concentrado al 18-20% y desmineralizado	>50.000	500 USD/ton materia seco	29	30
Ricotta sin agregado de leche	Sin límite inferior, depende del acceso al mercado	3000	4	120
Con agregado de leche			6	180
Bebida fermentada y no fermentada (70% suero líquido)	estimado >5.000	900 - 1.100	140	60-80
NHWP	>300.000	1.200	6	72
D40WP	>300.000	1.400	5.8	81
D90WP	>600.000	2.500	4.8	120
WPC35	>600.000 incluye producción /valorización de la lactosa	2.700	1.6	43
WPC80	>600.000 incluye producción /valorización de la lactosa	9.000	0.6	64
Lactosa	>600.000 incluye producción /valorización de la WPC	1.800	2.8	50

NHWP: Suero en polvo no higroscópico; DWP: suero desmineralizado; WPC: Proteína de suero concentrada

CONCLUSIONES

7 CONCLUSIONES

Se observó que existe una tendencia que va en aumento de la producción y consumo de lácteos a nivel mundial, sobre todo en los países en vías de desarrollo. Latinoamérica será de las regiones en la cuales dicho incremento será más notable, por lo cual será necesario una mayor transformación de la leche en subproductos, como por ejemplo en queso, y por ende mayor cantidad de suero remanente. Existen tecnologías para la industrialización del suero en distintos subproductos como WPC, WPI, lactosa, lactulosa, etc., pero no todas estas son fáciles de aplicar. Existe también un desconocimiento de los beneficios que representan los componentes del suero, desde el punto de vista nutricional o funcional, e incluso económico. No obstante, lo que está muy claro es el daño medioambiental que genera el suero como desecho.

En el caso particular de Ecuador, se evidenció que es necesario mejorar la calidad y productividad de la leche, y posteriormente la producción de sus quesos, que en muchos casos se realiza de forma muy empírica. A su vez, es necesario dar valor agregado al suero remanente, mediante alternativas distintas a la elaboración de bebidas lácteas. Por lo cual, la necesidad de encontrar alternativas que incentiven la sustitución estratégica de importaciones, y la innovación y el desarrollo de nuevos productos es la visión actual desde el punto de vista gubernamental y productivo.

Esta recopilación ordenada y actualizada de la información obtenida a partir distintas fuentes bibliográficas, y de los conceptos vertidos por los docentes a lo largo del cursado de la Carrera de Especialización, constituye una valiosa guía y soporte técnico para la toma de decisiones de los diversos actores que involucran la cadena láctea de Ecuador.

BIBLIOGRAFÍA

8 BIBLIOGRAFÍA

1. AGRIMONITOR-BID. (2017). *Product Support Estimates (PSE) country-level database for Latin American and Caribbean countries*. Recuperado de <https://mydata.iadb.org/es/Agriculture-and-Rural-Development/IDB-Agrimonitor-PSE-Agricultural-Policy-Monitoring/2dqw-u35p#column-menu>
2. Agencia de Regulación y Control fito y zoosanitario – AGROCALIDAD. (2018). *Resolución 0180, Comercialización, uso y movilización de suero de quesería*. Recuperado de <http://www.agrocalidad.gob.ec/>
3. Alais, C. (1985). *Science du lait: principes des techniques laitieres*. Cuarta edición. Editorial Reverté S.A. España.
4. Alais, C. (1988). *Science du lait: principes des techniques laitieres*. Compañía Editorial Continental. México.
5. Alizadehfard, M. y Wiley, d. (1994). Viscosity of Whey Protein Solutions. *International Journal of Polymer Science and Technology*. Vol 4 No 2.
6. Alvarado, C.C, Guerra, M. (2010). Lactosuero como Fuente de Péptidos Bioactivos. *Anales Venezolanos de Nutrición*. Volumen 23 (1): 42-49
7. Anon. (22/05/2017). *Proteínas de la leche*. México. Departamento de físico-química UNAM. Recuperado de http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/grasayproteina_1796.pdf [Accessed 22 May 2017].
8. Rodríguez, A., Piagentini, A., Rozycki, S., Lema, P., Pauletti, M., Panizzolo, L.A. (2012). Evolución del desarrollo del color en sistema modelo de composición similar al dulce de leche. Influencia del tiempo de calentamiento y del pH. *Revista del Laboratorio Tecnológico del Uruguay No. 7. INNOTEC – 39*
9. Atra, R., Vatai, G., Bekassy-Molnar, E., y Balint, A. (2005). Investigation of ultra-and nanofiltration for utilization of whey protein and lactose. *Journal of food engineering*, 67(3), 325-332.
10. Badui, S. (1990). *Química de los alimentos*. México: Alhambra Mexicana S.A.

11. Bansal, N., Drake, M.A., Piraino, P., Broe, M.L., Harboe, M., Fox, P.F., McSweeney, P.L.H. (2009) Suitability of recombinant camel (*Camelus dromedarius*) chymosin as a coagulant for Cheddar cheese. *International Dairy Journal* 19, 510–517.
12. Bansal, N., Fox, P.F, McSweeney, P.L. (2007). Factors affecting the retention of rennet in cheese curd. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 31;55 (22):9219-25.
13. Baró, L., Jiménez, J., Martínez-Férez, A, Boza, J.J. (2001). Componentes biológicamente activos de la leche materna. *ArsPharmaceutica*, 42:1; 21-38.
14. Banco Central del Ecuador-BCE. (2017). *Reporte de coyuntura Sector Agropecuario No. 89*. Banco Central del Ecuador- IV- 16. ISSN: 1390-0579.
15. Baró, L., Jiménez, J., Martínez-Férez, A., Boza, J.J. (2001). Componentes biológicamente activos de la leche materna. *ArsPharmaceutica*, 42:1; 21-38.
16. Bergamini, C. V., Wolf, I.V., Perotti, M.C., Zalazar, C.A. (2010) Characterization of biochemical changes during ripening in Argentinean sheep cheeses. *Small Ruminant Research* 94, 79-89
17. Bertola, N., Candiotti, M., Bevilacqua, A., Zaritsky, N., Hynes, E. (2010). Impact of primary proteolysis on texture and meltability of soft cheese. *Scienza e Tecnica Lattiero Casearia* 61 (5), 279-294
18. Bounous, G. (2000). Review: Whey Protein Concentrate (WPC) and Glutathione Modulation in Cancer treatment. *Anticancer Research* 20: 4785-4792 (2000).
19. Brew, K., y Grobler, I. A. (1992). α -Lactalbumin. In P. F. Fox (Ed.), *Advanced dairy chemistry* (Proteins, Vol. 1, pp. 191–229). London, UK: Elsevier Applied Science
20. Brew, K. (2003). α -Lactalbumin. In P. F. Fox & P. L. H. McSweeney (Eds.). *Advanced dairy chemistry* (Protein: Part A 3rd ed., Vol. 1, pp. 387–419). New York, NY: Kluwer Academic/Plenum.
21. Brew, K. (2013). α -Lactalbumin. In P. L. H. McSweeney & P. F. Fox (Eds.), *Advanced dairy chemistry* (Protein: Basic aspects 4th ed., Vol. 1A, pp. 261–273). New York, NY: Springer.
22. Broome, M.C., Powell, I.B. and Limsowtin, G.K.Y. (2011). Cheese: Starter Cultures: Specific Properties. En: *Encyclopedia of Dairy Science* (2° Edición) Ed. Elsevier Academic Press London, England, Vol 1, 559-566.

23. Candiotti, M. (1998). *Respuesta de las proteínas del suero de la leche bovina a la acción de diversas enzimas proteolíticas de uso industrial*. Tesis para obtener el título de Magister en Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Universidad Nacional de Litoral. Argentina, Santa Fe.
24. Candiotti, M.C., Hynes, E.R. Quiberoni, A., Palma, S.B. y Zalazar, C.A. (2002a). Reggianito Argentino cheese: Influence of *Lactobacillus helveticus* strains isolated from natural whey cultures on cheese making and ripening processes. *International Dairy Journal*, 12, 923-931.
25. Candiotti, M.C., Palma, S.B., Sabbag, N.G., Perotti, M.C., Bernal, S.M. y Zalazar C.A. (2002b). Estudio comparativo de distintas alternativas para la producción de quesos semiduros de pasta lavada bajos en grasa. *Grasas y Aceites*, 53 (4) 384-390.
26. Candiotti, M.C., Bergamini, C.V., Palma, S.B., Buseti, M., Meinardi, C.A. y Zalazar, C.A. (2009). Characterisation of proteolysis profile of Argentinean sheep cheeses made by two different production methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture (ISSN: 0022-5142)*, Vol 90, 36-42.
27. Castells, M., Gonzalez, M., Mattos, C., Juliano, P., Mellinger, S., Sepulveda, J., Jorcin, S., Krolow, C., Di Risio, J. y Lopez, T. (2017). Alternativas de valorización de sueros de quesería. En: *Valorización de Lactosueros*. Capítulo 2. ISBN 978-950-532-341-8.
28. CLAL (10/12/2017). *Dairy market: Prices of dairy products*. Recuperado de: <http://www.clal.it/en/index.php?section=lattosio>
29. Código Alimentario Argentino (CAA). (2014). *Alimentos Lácteos. A.N.M.A.T. Capítulo VIII. Artículo 553-642*. Recuperado de http://www.anmat.gov.ar/alimentos/normativas_alimentos_caa.asp
30. Chandan, R. (2006). Milk composition, physical and processing characteristics. En: Chandan, R., White, C., Kilara, A. y Hui, Y.H. *Manufacturing yogurt and fermented milks*. Blackwell publishing.
31. Chatterje, S., Sarkar, A. y Boland, M. (2014). The worldsupply of food and the role of the dairyprotein. En: Singh, H., Boland, M., Thompson, A. *Milk Proteins: From expression to food* (pp. 3-16). New Zeland: Elsevier
32. Christie, W. W. (1995). Composition and structure of milk lipids. In P. F. Fox (Ed.), *Advanced dairy chemistry – 2 – lipids* (2nd ed., pp. 1–36). London: Chapman & Hall.

33. CIL-ECUADOR (2014). *La leche del Ecuador, Historia de la lechería ecuatoriana*. Recuperado de <http://www.cilecuador.org/descargas/LA%20LECHE%20DEL%20ECUADOR.pdf>
34. Costabel, L., Bergamini, C., Pozza, L., Cuffia, F., Candiotti, M. y Hynes, E.R. (2015). Influence of chymosin type and curd scalding temperature on proteolysis of hard cooked cheeses. *Journal of Dairy Research*, 82 375–384.
35. Corradini, C. y Zalazar, C. (1990). La valoración analítica de los coagulantes de leche. *Revista Argentina de Lactología*, vol. 3, pp. 31-45.
36. Cuffia, F., Candiotti, M.C., Bergamini, C.B. (2015). Influence of brine concentration on the ripening of a soft sheep`s milk cheese. *Small Ruminant Research*, 132, 60–66.
37. Dalgleish, D.G. and Corredig, M. (2012). The Structure of the Casein Micelle of Milk and Its Changes During Processing. *The Annual Review of Food Science and Technology*, 3:449–67.
38. De Kruif, C.G., Holt, C. (2003). Casein micelle structure, functions and interactions. En: P.F. Fox and P.L.H. McSweeney: *Advanced Dairy Chemistry*. Kluwer Academic/Plenum Publishers.
39. Dejmek, P., y Walstra, P. (2004). The Syneresis of Rennet-coagulated Curd. En Fox, P.F., McSweeney, P.L.H., Cogan, T.M. and Guinee, T.P. *Cheese, Chemistry, Physics and Microbiology Volume 1. General Aspects*. Third edition. Edited by. Elsevier Academic Press. pp. 71-103.
40. Ecuavisa. (29/08/2018a). *Controlan uso de leche en productos lácteos*. Ecuavisa. Recuperado de <https://www.ecuavisa.com/articulo/noticias/actualidad/412566-controlaran-uso-suero-leche-productos-lacteos>.
41. Ecuavisa. (11/10/2018b). *Polémica por el uso de suero de leche en la industria láctea*. Ecuavisa. Recuperado de <https://www.ecuavisa.com/articulo/noticias/nacional/423191-polemica-uso-suero-leche-industria-lactea>
42. Ecuador Inmediato. (28/ 08/2018). *Permitir uso de suero de leche es "firmar acta de defunción para lecheros", afirma Francis Abad*. Ecuador inmediato. Recuperado de http://ecuadorinmediato.com/index.php?module=Noticias&func=news_user_view&id=2818841827&umt=permitir_uso_suero_leche_es_firmar_acta_defuncion_para_lecheros_afirma_francis_abad_audio

43. El Universo. (20/12/2010). *Suero en vez de leche se usaría para hacer lácteos*. El Universo. Recuperado de <https://www.eluniverso.com/2010/12/20/1/1447/suero-vez-leche-usaria-hacer-lacteos.html>
44. ESPAC (2017). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria. Instituto Nacional de Estadísticas y Sensores – INEC. Recuperado de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webnec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2017/Presentacion_Principales_Resultados_ESPAC_2017.pdf
45. Fayle, S.E., Gerard, J.A (2005). *La reacción de Maillard*. Zaragoza: Acribia. ISBN:9788420010458
46. FAO. (2013). *Milk and Dairy products in human nutrition*. Roma. ISBN: 978-92-5-107863
47. FAO (2016). *Perspectivas alimentarias- Resúmenes de Mercado*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Octubre 2016. ISSN 1564-2801.
48. FAO. (2017). *Milk and Milk Products: Price and Trade Update*. Trade and Markets Division Food and Agriculture Organization of the United Nations.
49. FAO. (2018). *Leche y productos lácteos, peligros para la salud*. Recuperado de <http://www.fao.org/dairy-production-products/products/peligros-para-la-salud/es/>
50. FAOSTAT. (2017). *Producción mundial de leche de distintas especies*. Recuperado en: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QL>
51. FAOSTAT. (2018). *Producción mundial de suero, comercio exterior de lactosa y suero*. Recuperado de <http://www.fao.org/faostat/en/#data/TP/visualize>
52. Farrell, Jr. H. M., Malin, E. L., Brown, E. M., Qi, P.X. (2006). Casein micelle structure: What can be learned from milk synthesis and structural biology? *Current Opinion in Colloid and Interface Science 11: 135-147*.
53. FEPALE-Federación Panamericana de Lechería. (2014). *Situación de la cadena láctea en América Latina en el 2014*. Observatorio de la Cadena Láctea en América Latina y el Caribe de FEPALE.
54. Ferrandini, E., Castillo, M., López, M.B., Laencina, J. (2006). Modelos Estructurales de la micela de caseína. *Anales de Veterinaria de Murcia, 22, 5-18*.

55. Ferrandini, E. López, M. Laencina, J. Castillo, M. Roca, J. López, C. Rodriguez, M. (2007). *Cuajos en pasta naturales en la industria quesera*. Informe Técnico Departamento de Tecnología de Alimentos, Nutrición y Bromatología. Universidad de Murcia, España. (Murcia) 27-32
56. Fox, P.F. (2003). The major constituents of milk. En: Smit, G. *Dairy processing* (pp. 5-38). Estados Unidos, Boca Ratón, CRC Press.
57. Fox, P.F. (2009). Lactose: Chemistry and properties. En: McSweeney P. y Fox P. *Advanced dairy chemistry: volume 3: Lactose, water, salts and minor constituents* (pp. 5-12). Springer. Irlanda.
58. Fox, P.F. (2011a). Lactose: Chemistry, Properties. En *Encyclopedia of Dairy Science* (2^o Edition) Ed. Elsevier Academic Press London, England, Vol. 3, 173-181
59. Fox, P.F. (2011b). Cheese Overview. En *Encyclopedia of Dairy Science* (2^o Edición) Ed. Elsevier Academic Press London, England, Vol 1, 534-543.
60. Fox, P.F., McSweeney, P.L.H. (1998). *Dairy chemistry and biochemistry*. First Edition. Ed. Blackie Academic & Professional, London, UK. pp.1-20;146-239.
61. Fox, P.F., Guinee, T.P., Cogan, T.M. and McSweeney, P.L.H. (2000). Overview of Cheese Manufacture. En *Fundamentals of Cheese Science*. Chapter 2, pp. 10-17; 27-69. Aspen Publishers, Inc (USA).
62. Fox, P.F., Guinee, T., Cogan, T., McSweeney P. (2017a). *Fundamentals of Cheese science*. Estados Unidos: Springer ISBN 978-1-4899-7681-9. pp. 755-768
63. Fox, P.F., Guinee, T.P., Cogan, T.M. y McSweeney, P.L.H. (2017b). Enzymatic Coagulation of Milk. En *Fundamentals of Cheese Science Second Edition*. Chapter 7. Ed. Springer New York. pp.185-226.
64. Fox, P.F., Guinee, T.P., Cogan, T.M. y McSweeney, P.L.H. (2017c). Salting of Cheese Curd. En *Fundamentals of Cheese Science*. Second. Chapter 9, pp. 251-278. Aspen Publishers, Inc (USA)
65. Fox, P.F., Guinee, T.P., Cogan, T.M. y McSweeney, P.L.H. (2000a). Fresh Acid-Curd Cheese Varieties. En *Fundamentals of Cheese Science*. Chapter 16, pp. 363-379. Aspen Publishers, Inc (USA)

66. Fox, P.F., Guinee, T.P., Cogan, T.M. and McSweeney, P.L.H. (2000b). Biochemistry of Cheese Ripening. En *Fundamentals of Cheese Science*. Ed. Aspen Publishers, Inc. Gaithersburg, Maryland. Chapter 11. pp 236-281
67. Fox, P.F., Uniacke-Lowe, T., McSweeney, P. L. H., O'Mahony, J.A. (2015a) Milk Protein. En *Dairy Chemistry and Biochemistry*. 2nd Edition. Ed. Springer International Publishing Switzerland. Chapter 4, pp. 145-238.
68. Fox, P.F., Uniacke-Lowe, T. McSweeney, P.L.H. y O'Mahony, J.A. (2015b). Chemistry and Biochemistry of Fermented Milk Products. En *Dairy Chemistry and Biochemistry*. Second Edition. Chapter 13 Ed. Springer International Publishing Switzerland. pp 547-567
69. Fox, P.F., Uniacke-Lowe, T., McSweeney, P. L. H., O'Mahony, J.A. (2015c) Biologically Active Compounds in Milk. En *Dairy Chemistry and Biochemistry*. 2nd Edition. Ed. Springer International Publishing Switzerland. Chapter 11, pp 415-497.
70. Fox, P.F., Uniacke-Lowe, T., McSweeney, P. L. H., O'Mahony, J.A. (2015d) Lactose. En *Dairy Chemistry and Biochemistry*. 2nd Edition. Ed. Springer International Publishing Switzerland. Chapter 2, pp 21-68.
71. Gagnaire, V, Mollé, D, Herrouin, M, Léonil, J. (2001). Peptides Identified during Emmental Cheese Ripening: Origin and Proteolytic Systems Involved. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49: 4402–4413.
72. Gaiaschi, A, Beretta, B, Polesi, C, Conti, A, Giuffrida, MG, Galli, CL. (2000). Proteolysis of α_s -Casein as a marker of Grana Padano cheese ripening. *Journal of Dairy Science*, 83: 2733–2739
73. García-Montoya, I.A., Cendón, T.S., Arévalo-Gallegos, S., Rascón-Cruz, Q. (2012). Lactoferrin a multiple bioactive protein: An overview. *Biochimica et Biophysica Acta* 1820, 226–236
74. Gaucheron, F. (2011). Milk salts. Distribution and Analysis. En *Encyclopedia of Dairy Science* (2^o Edition) Ed. Elsevier Academic Press London, England, Vol. 3, 908-916.
75. Gauna, A. (2005). *Elaboración de quesos de pasta semidura con ojos*. Cuaderno tecnológico N° 3 Lácteos. Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI Lácteos).

76. Gernigon, G., Schuck, P., Jeantet, R., Burling, H. (2011). Demineralization. En *Encyclopedia of Dairy Science* (2° Edition) Ed. Elsevier Academic Press London, England, Vol. 4, 738-743
77. Geurts, T. J., Walstra, P. y Mulder, H. (1980). Transport of salt and water during salting of cheese. 2. Quantities of salt taken up and of moisture lost. *Netherlands Milk and Dairy Journal* 34 229–254.
78. González-Chávez, S.A., Arévalo-Gallegos, S., Rascón-Cruz, Q. (2009). Lactoferrin: structure, function and applications. Review. *International Journal of Antimicrobial Agents* 33, 301- 301.
79. Gösta, B. (1995). Cheese. Final removal of whey and principles of curd handling. En *Dairy Processing Hand Book*. Ed. Teknotext AB. Publisher Tetra Pak Processing Systems AB S-221 86 Lund, Sweden. Chapter 14, pp. 287-331.
80. Gösta, B. (1995b). *Whey processing*. En *Dairy Processing Hand Book*. Ed. Teknotext AB. Publisher Tetra Pak Processing Systems AB S-221 86 Lund, Sweden. Chapter 15, pp. 331- 352.
81. Gösta, B (1995c). Membrane filters. En *Dairy Processing Hand Book*. Ed. Teknotext AB. Publisher Tetra Pak Processing Systems AB S-221 86 Lund, Sweden. Chapter 14, pp. 123-132
82. Gripon, J.C., Desmazeaud, M.J., Le Bars, D. y Bergere, J. (1975). Etude du rol desmicro-organismes et des enzymes su cours de la maturation des fromages. II: Influence des presurecommerciale. *La Lait*, 55, 502-5016.
83. Guinee, T. y Brien, B. (2010). The quality of milk for cheese manufacture. En: Law, B. y Tamime, A. *Technology of Cheesemaking* (pp. 3-47). Society of dairy technology y Wiley-Blackwell. USA.
84. Guinee, T.P. y O’Callaghan, D.J. (2010). Control and Prediction of Quality Characteristics in the Manufacture and Ripening of Cheese. En *Technology of Cheese making*. Second Edition. Edited by Law, B.A. and Tamime, A.Y. Ed. Wiley-Blackwell (John Wiley & Sons, Ltd., Publication), Singapore. Chapter 8, pp. 260-329.
85. Guinee, T.P. and Sutherland, B.J. (2011). Salting of Cheese. En *Encyclopedia of Dairy Science* (2° Edition) Ed. Elsevier Academic Press London, England, Vol. 1, 595-606.

86. Guinee, T.P. (2004). Salting and the role of salt in cheese. *International Journal of Dairy Technology*. Vol 57, N° 2/3.
87. Guinee, T.P. y Sutherland, B.J. (2011). Salting of Cheese. En *Encyclopedia of Dairy Science* (2° Edition) Ed. Elsevier Academic Press London, England, Vol. 1, 595-606.
88. Hambling, S. G., McAlpine, A. S., y Sawyer, L. (1992). β -Lactoglobulin. In P. F. Fox (Ed.), *Advanced dairy chemistry* (Proteins, Vol. 1, pp. 141–190). London, UK: Elsevier Applied Science
89. Harboe, M., Broe, M. y Qvist, K. (2010). The production, action and application of rennet and coagulants. En: Law, B. y Tamime, A. *Technology of Cheesemaking* (pp. 98-125). Society of dairy technology y Wiley-Blackwell. USA.
90. Hardy, J. (1990). La actividad del agua y el salado de los quesos. En *El Queso*. Coord. Eck A. Editorial Omega. Parte I, Cap. 3, pp 35-57.
91. Hernández, M., Mafla, H. y Proaño, V. (2013). Articulación del sector lácteos campesino ecuatoriano al mercado. En: Aubron, C., Hernández, M., Mafla, H., Lacroix, P. y Proaño, V. *Producción campesina lechera en los países andinos: dinámicas de articulación de los mercados* p.129. Sistema de Investigación sobre la Problemática Agraria en el Ecuador (SIPAE). ISBN: 987-9978-9953-9-6.
92. Hunziker, O. F., Nissen, B. H. (1926). Lactose Solubility and Lactose Crystal Formation. *Journal of Dairy Science*, 9(6), 517–537. doi:10.3168/jds
93. Hynes, E.R., Aparo, L. y M.C. Candiotti, MC. (2004a). Influence of residual milk-clotting enzyme on α s1 casein hydrolysis during ripening of Reggianito Argentino Cheese. *Journal of Dairy Science*, 87, 565-573.
94. Hynes, E. R., Candiotti, M. C., Zalazar, C. A. y McSweeney, P. L.H. (2004b). Rennet activity and proteolysis in Reggianito Argentino hard cooked cheese”. *Australian Journal of Dairy Technology*, Vol 59, N° 3, 209-213.
95. Hynes, E.R., Delacroix-Buchet, A., Meinardi, C.A., Zalazar, C.A. (1999). Relation between pH, degree of proteolysis and consistency in soft cheeses. *Australian Journal of Dairy Technology*, 54, 24–27.
96. Hofmann, T. (1974) “Structure, Function, and Evolution of Acid Proteases”. En *Food Related Enzymes*. Edited by D. R. Whitaker. Published by American Chemical Society, Washington D. C.

97. Horne, D. S. (1998). Casein interactions: Casting light on the black boxes, the structure in dairy products. *International Dairy Journal*, 8: 171-177.
98. Horne, D.S. (2006) Casein micelle structure: Models and muddles. *Current Opinion in Colloid & Interface Science* 11, 148 – 153.
99. Horne, D.S. (2011) Casein, Micellar Structure. *En Encyclopedia of Dairy Science* (2º Edición) Ed. Elsevier Academic Press London, England, Vol 3, 772-778.
100. Huffman, L. y Barros-Ferreira, L. (2011). Whey-based ingredients. En: Chandan, R. y Kilara, A. *Dairy ingredients for food processing*. Wiley- Blackwell. Estados Unidos.
101. Huck, J. y Zalazar, C. (1971/72). Determinación de las condiciones óptimas de proceso para la producción industrial de cuajo en polvo. I. Estudios preliminares. *Revista de la Facultad de Ingeniería Química*, 40/41, pp. 185-194.
102. Hui, Y.K. Ed. (1993). Manufacture of Cheese. En *Dairy Science and Technology Handbook*. Volume 2. Product Manufacturing, Chapter 3, pp. 197-235. Wiley-VCH, Inc, USA.
103. Hynes, E.R., Aparo, L. y M.C. Candiotti, M.C. (2004). Influence of residual milk-clotting enzyme on as1 casein hydrolysis during ripening of Reggiano Argentino Cheese. *Journal of Dairy Science*: 87, 565-573 (2004).
104. Hynes, E. y Zalazar, C. (2009). Lactose in Dulce de Leche. En: McSeeney P. y Fox P. *Advanced dairy chemistry: volume 3: Lactose, water, salts and minor constituents* (pp. 58-66). Springer. Irlanda.
105. Instituto Geográfico Militar-IGM. (2017). *Atlas Rural del Ecuador*. Primera edición. ISBN: 978-9942-22-128-5
106. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de Ecuador-INEC. (2018). Contador poblacional. Recuperado de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas/>
107. Instituto Nacional de Tecnología Industrial-INTI. (2017). *Valorización del lactosuero*. Compilación Graciela Muset y María Laura Castells. ISBN 978-950-532-341-8
108. International Dairy Federation (FIL). (2016). The world dairy situation 2016. *Bulletin of the International Dairy Federation* 485. ISSN 0250-5118
109. Jakob, E., y Puhán, Z. (1992). Technological properties of milk as influenced by genetic polymorphism of milk proteins—A review. *International Dairy Journal*, 2, 157–178.

110. Jenness, R., y Patton, S. (1959). *Principles of dairy chemistry*. New York, NY: John Wiley & Sons.
111. Johnson, M. y Law, B.A. (2010). The Origins, Development and Basic Operations of Cheesemaking Technology. En *Technology of Cheesemaking Second Edition*. Edited by Law, B. A. and Tamine, A.Y. Wiley-Blackwell (John Wiley & Sons, Ltd., Publication). Chapter 2, pp. 68-97.
112. Jovanovic, S., Barác, M. y Macej, O. (2005). Whey proteins-properties and possibility of application. *Mljekarstvo* 55 (3) 215-233, 2005
113. Kappeler, S.R., Van den Brink, H. (J.) M., Rahbek-Nielsen, H., Farah, Z., Puhan, Z., Hansen, E.G., Johansen, E. (2006). Characterization of recombinant camel chymosin reveals superior properties for the coagulation of bovine and camel milk. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 342, 647–654.
114. Kelly, P.M. (2011). Membrane-Based Fractionation. En *Encyclopedia of Dairy Science* (2° Edition) Ed. Elsevier Academic Press London, England, Vol. 3, 864-872.
115. Kreczmann, B., Alonso, A., Liloia, M., Zamboni, E., Cerutti, R., Baroni D., Poluján D. (2015). Procesamiento del lactosuero: elaboración de lactosa y aprovechamiento de proteínas. *Tecnología Láctea Latinoamericana* N° 87, pp 44-49.
116. Knoop, A. M., Knoop, E., Wiechen, A. (1973). Electron microscopical investigations on the structure of the casein micelles. *Netherlands Milk and Dairy Journal*, 27: 121-127.
117. Korhonen, H. y Marnila, P. (2011). Lactoferrin. En *Encyclopedia of Dairy Science* (2° Edition) Ed. Elsevier Academic Press London, England, Vol. 3, 801-806
118. Kreczmann, B., Alonso, A., Liloia, M., Zamboni, E., Cerutti, R., Baroni, D. y Poluján, D. (2015). Procesamiento del lactosuero: elaboración de lactosa y aprovechamiento de proteínas. *Tecnología láctea latinoamericana*, N° 18.
119. Kronman, M. J. (1989). Metal-ion binding and the molecular conformational properties of α -lactalbumin. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*, 24, 565–667.
120. Kruf, C. y Holt, C. (2003). Casein micelle structure, functions and interactions. En: Fox, P. y McSweeney, P. *Advanced dairy chemistry* (pp 233.269). Kluwer academic/Plenum publishers.

121. Lazarev, V., Pastushkova, Y. y Chugunova, O. (2016). Zero waste membrane technology for whey processing. *Indian Journal of Science and Technology*, Vol 9(27), DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i27/97697.
122. Lee, K.P, Arnot, T.C., Mattia, D. (2011). A review of reverse osmosis membrane materials for desalination. Development to date and future potential. *Journal of Membrane Science*. 370, 1–22
123. Lee, M.R., Johnson, M.E., Lucey, J.A. (2005). Impact of modifications in acid development on the insoluble calcium content and rheological properties of Cheddar cheese. *Journal of Dairy Science*, 88, 3798–3789
124. Lucey, J.A. (2011). Cheese: Curd Syneresis. En *Encyclopedia of Dairy Science* (2° Edición) Ed. Elsevier Academic Press London, England, Vol 1, 591-594.
125. Lucey, J. A., Mishra, R., Hassan, A., Johnson, M.E. (2005). Rheological and calcium equilibrium changes during the ripening of Cheddar cheese. *International Dairy Journal*, 15, 645–653.
126. Madureira, A.R., Pereira, C.I., Gomes, A.M.P., Pintado, M.E, Malcata, F.X. (2007). Bovine whey proteins – Overview on their main biological properties. Review. *Food Research International* 40, 1197–1211.
127. MAGAP-Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca. (2016). Ecuador Continental- Mapa de ubicación de las industrias lácteas. Recuperado de http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/Mapa_Accesibilidad_I_Acopio_facilidades_agricolas_Industrias_Lacteas_16122015.pdf
128. Martin, P., Cebo, C., y Miranda, G. (2011). Inter-Species Comparison of Milk Proteins: Quantitative Variability and Molecular Diversity. En *Encyclopedia of Dairy Science* (2° Edition) Ed. Elsevier Academic Press London, England, Vol. 3, 821-842.
129. Martin, P., Bianchi, L., Cebo, C., y Miranda, G. (2013a). Genetic polymorphism of milk proteins. In P. L. H. McSweeney y P. F. Fox (Eds.), *Advanced dairy chemistry* (Proteins: Basic aspects 4th ed., Vol. 1A, pp. 463–514). New York, NY: Springer.
130. Martin, P., Cebo, G., y Miranda, G. (2013b). Inter-species comparison of milk proteins: Quantitative variability and molecular diversity. In P. L. H. McSweeney y P. F. Fox (Eds.), *Advanced dairy chemistry* (Proteins: Basic aspects 4th ed., Vol. 1A, pp. 387–429). New York, NY: Springer.

131. Mas leche, (2018). Quesos del Ecuador. Centro de la Industria Láctea-CIL. Recuperado de <http://masleche.ec/quesos-del-ecuador/>
132. Mei, L. Y., McClements, D. J., Wu, J. N., y Decker, E. A. (1998). Iron-catalyzed lipid oxidation in emulsion as affected by surfactant, pH and NaCl. *Food Chemistry*, 61 (3), 307-312.
133. Mei, L. Y., McClements, D. J., y Decker, E. A. (1999). Lipid oxidation in emulsions as affected by charge status of antioxidants and emulsion droplets. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(6), 2267e2273
134. Meinardi, C. (2015). *Tecnología quesera: Clase de Posgrado Industrias Lácteas I*. Universidad Nacional de Litoral-UNL, Santa Fe, Argentina.
135. Meinardi, C.; Alonso, A.; Hynes, E. y Zalazar, C. (2002). Influence of milk clotting enzymes on the acidification rate of natural whey starters. *International Journal of Dairy Technology*, vol. 55, pp. 139-144.
136. Melilli C., Barbano D.M., Manenti M., Lynch J.M., Carpino S. y Licitra G. (2004). Lipolysis and Proteolysis in Ragusano Cheese During Brine Salting at Different Temperatures. *Journal of Dairy Science*. 87: 2359–2374
137. Melilli C., Barbano D.M., Caccamo M., Tuminello L., Carpino S., Licitra G. (2006). Interaction of Brine Concentration, Brine Temperature, and Presalting on Salt Penetration in Ragusano Cheese. *Journal of Dairy Science*, 89 (5), 1420-38.
138. Meza, B. y Peralta, J. (2015). Use of computational fluid dynamics in the manufacture process of whey protein products. 5. En: W. Wiatt (Ed). *Whey Proteins: Functional properties, production and health benefits* (pp. 149-163). New York. Estados Unidos. Nova Science publishers.
139. Miller, G., Jarvis, J. y McBean, L. (1997). *Handbook of Dairy Foods and Nutrition*. New York, Estados Unidos: CRC Press
140. Ministerio de Agricultura y Ganadería de Ecuador – MAGAP. (2018). Integrantes del consejo consultivo del sector lácteo apoyan soluciones a largo plazo. Recuperado de https://www.agricultura.gob.ec/integrantes-del-consejo-consultivo-del-sector-lacteo-apoyan-soluciones-a-largo-plazo/?fbclid=IwAR2Ra8DSI7kvDONVjiu6y_GPOOx0yDT-CisI7TsZ87iEtJy1Y0nV-nwzvK0

141. Ministerio de Industrias y Productividad – MIPRO y Bain & Company. (2015). *Plan estratégico integral de agroforestal, pesca y acuicultura en el Ecuador: Cadena de lácteos*. Recuperado de http://servicios.industrias.gob.ec/siipro/downloads/temporales/1_Plan%20estrategico%20integral%20de%20agroforestal,%20pesca%20y%20acuicultura%20en%20el%20Ecuador.compressed.pdf
142. Mistry, V.V. (2011). Membrane Processing in Cheese Manufacture. En *Encyclopedia of Dairy Science* (2° Edition) Ed. Elsevier Academic Press London, England, Vol. 1, 618-624
143. Moschopoulou, E, (2011). Characteristics of rennet and other enzymes from small ruminants used in cheese production. *Small Ruminant Research*, 101, 188-195. Argentina. ISBN 978-950-532-341-8
144. Muset, G. y Castells, M. (2017). Valorización del lactosuero. Instituto de Tecnología Industrial – INTI.
145. National Kidney Foundation (2002). Clinical Practice Guidelines for Chronic Kidney Disease: Evaluation, Classification and Stratification, Vol.39.
146. Ng-Kwai-Hang, K. F., y Grosclaude, F. (1992). Genetic polymorphism of milk proteins. In P. F. Fox (Ed.), *Advanced dairy chemistry* (Proteins 2nd ed., Vol. 1, pp. 405–455). London, UK: Elsevier Applied Science.
147. Ng-Kwai-Hang, K. F., y Grosclaude, F. (2003). Genetic polymorphism of milk proteins. In Fox, P. F. y McSweeney P. L. H. (Eds.), *Advanced dairy chemistry (Part B: Proteins)* 3rd ed., Vol. 1, pp. 739–816). New York, NY: Kluwer Academic/Plenum.
148. Nursten, H. (2011). Maillard Reaction. En *Encyclopedia of Dairy Science* (2° Edition) Ed. Elsevier Academic Press London, England, Vol. 3, 217-235.
149. O’Brien, J. (1997). Reaction chemistry of lactose: Non-enzymatic degradation pathways and their significance in dairy products. In Fox, P. F. (Ed.), *Advanced dairy chemistry (Lactose, water, salts and vitamins)* 2nd Ed., Vol. 3, pp. 155–231. London: Chapman & Hall.
150. O’Brien, J. (2009). Non-enzymatic degradation pathways of lactose and their significance in dairy products. En *Advanced dairy chemistry (Lactose, water, salts and minor*

- constituents*. McSweeney, P.L.H. y Fox, P.F. (Eds.), 3rd Ed., Vol. 3, pp. 231–294. New York: Springer.
151. OCLA. (2017). Evolución de la producción mundial de leche. Observatorio de la Cadena Láctea Argentina. Disponible on line en: <http://ocla.org.ar/contents/newschart/portfolio/?categoryid=8#>
152. OECD/FAO (2016), *OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2016-2025*. Paris: OECD Publishing. DOI: http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2016-es
153. O’Connell, J.E., y Fox, P.F. (2000). The two-stage coagulation of milk proteins in the minimum of the heat coagulation time-pH profile of milk: Effect of casein micelle size. *Journal of Dairy Science*, 83, 378–386.
154. O’Connell, J. E., y Fox, P. F. (2003). Heat-induced coagulation of milk. In Fox, P. F. y McSweeney, P. L.H. (Eds.), *Advanced dairy chemistry (Part B, Proteins 3rd ed., Vol. 1, pp. 879–945)*. New York, NY: Springer.
155. O’Mahony, J. y Fox, P. (2014). Milk: An overview. En: Singh, H., Boland, M., Thompson, A. *Milk Proteins: From expression to food*. New Zeland: Elsevier.
156. O’Mahony, J., Lucey, J., McSweeney, P. (2005). Chymosin-mediated proteolysis, calcium solubilization, and texture development during the ripening of Cheddar cheese. *Journal of Dairy Science*, 88, 3101–3114.
157. Oliszewski, R., Wolf, I.V., Bergamini, C.V., Candiotti, M.C. y Perotti M.C. (2013). Influence of autochthonous adjunct cultures on ripening parameters of Argentinean goat’s milk cheeses. *Journal of Science Food Agriculture*; 93: 2730–2742.
158. Page, J., Meyer, D., Haines, B. y Lagrange, V. (2014). *Reference manual for U.S. whey and lactose products*. U.S. Dairy export council. Recuperado de <http://www.thinkusadairy.org/resources-and-insights/resources-and-insights/product-resources/reference-manual-for-us-whey-and-lactose-products>.
159. Park, Y., Haenlein, G. 2013. Milk and dairy products in human nutrition: producción, composición y salud. Wiley-Blackwell.
160. Parzanese, M. (2017). Procesamiento del Lactosuero. Tecnologías para la industria alimentaria: Ficha No 13. Alimentos Argentinos. Disponible on line en: http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha_13_Lactosuero.pdf

161. Pearce, J. (1992). Whey processing. En: Zadow, J. *Whey and lactose processing* (pp. 73-88). Estados Unidos: Elsevier applied science.
162. Pelegrine, D. H. G., y Gasparetto, C. A. (2005). Whey proteins solubility as function of temperature and pH. *LWT - Food Science and Technology*, 38(1), 77–80. doi: 10.1016/j.lwt. 2004.03.013
163. Pintado, M. E., Macedo, A. C., y Malcata, F. X. (2001). Technology, chemistry and microbiology of whey cheeses. *Food Science and Technology International*, 7(2), 105-116.
164. Porras, W. (1999). *Elaboración de queso Ricotta a partir de suero lácteos*. Trabajo de graduación presentado como requisito parcial para optar el título de Ingeniero Agrónomo con el grado de Licenciatura. EARTH. Costa Rica.
165. PROECUADOR-Instituto nacional de exportaciones e inversiones (2016). Perfil sectorial de lácteos y cárnicos. Elaborado por la Dirección de inteligencia comercial e inversiones. Recuperado de https://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2016/07/proec_psi2016_lacteos.pdf
166. Rajinder Nath K. (1993). Cheese. En Dairy Science and Technology Handbook. Hui Y.H. Ed. Volume 2: *Product Manufacturing*. Chapter 3, pp. 161-255. Wiley-VCH, Inc. (USA).
167. Redwan E.M., Uversky V.N., El-Fakharany E.M., Al-Mehdar H. (2014). Potential lactoferrin activity against pathogenic viruses. *Comptes Rendus Biologies*, 337, 581–595.
168. Reinheimer J.A. (1994). Las bacterias lácticas. En Ciencia y Tecnología de los Productos Lácteos. CERIDE, Santa Fe, Argentina
169. Revistas líderes. (2016). Un tercio de la producción láctea se dedica al queso. Consultado el 30 de junio del 2017, disponible on line en: <http://www.revistalideres.ec/lideres/ecuador-produccion-lactea-queso.html>. Si está pensando en hacer uso del mismo, por favor, cite la fuente y haga un enlace hacia la nota original de donde usted ha tomado este contenido. ElComercio.com
170. Rey Elena Ordiales. (2013). *Caracterización del cardo (Cynara cardunculus) para su uso como cuajo vegetal en el proceso de elaboración de la Torta del Casar*. Trabajo de Tesis. Universidad de Extremadura – España.

171. Riera, F., Fernández, A., Muro, C. (2015). Fractionation of peptides by means of ultrafiltration and nanofiltration techniques. En: W. Wiatt (Ed). *Whey Proteins: Functional properties, production and health benefits* (pp. 1-42). New York. Estados Unidos: Nova Science publishers.
172. Riofrío, R. (2014). *Caracterización de lactosuero proveniente de cuatro producciones de diferentes tipos de queso*. Tesis de grado presentada como requisito para obtener el título de grado en Ingeniería de Alimentos. Universidad San Francisco de Quito.
173. Rodríguez-Franco, D.A., Vázquez-Moreno, L., Ramos-Clamont., Montfort, G. (2005). Actividad antimicrobiana de la lactoferrina: Mecanismos y aplicaciones clínicas potenciales. *Revista Latinoamericana de Microbiología*; 47 (3-4): 102-111.
174. Rybarczyka J., Kieckensb E., Vanrompaya D., Cox.E. (2017). In vitro and in vivo studies on the antimicrobial effect of lactoferrina against Escherichia coli O157:H7. *Veterinary Microbiology* 202, 23–28
175. Sarkar, A., Goh, K.K.T. y Singh, H. (2009). Colloidal stability and interactions of milk-protein-stabilized emulsions in an artificial saliva. *Food Hydrocolloids*, 23 (5), 1270-1278.
176. Sarkar, A., Horne, D. S., Y Singh, H. (2010). Interactions of milk protein-stabilized oil-in-water emulsions with bile salts in a simulated upper intestinal model. *Food Hydrocolloids*, 24(2e3), 142-151.
177. Sawyer, L. (2003). β -Lactoglobulin. In P. F. Fox, y P. L. H. McSweeney, (Eds.), *Advanced dairy chemistry* (Protein: Part A 3rd ed., Vol. 1, pp. 319–386). New York, NY: Kluwer Academic/Plenum.
178. Sawyer, L. (2013). β -Lactoglobulin. In McSweeney, P. L. H. y Fox, P. F. (Eds.), *Advanced dairy chemistry* (Proteins: Basic aspects 4th ed., Vol. 1A, pp. 211–259). New York, NY: Springer.
179. Schaafsma, G. (2008). Lactose and lactose derivatives as bioactive ingredients in human nutrition. *International Dairy Journal*, 18(5), 458-465.
180. Seki, N., y Saito, H. (2012). Lactose as a source for lactulose and other functional lactose derivatives. *International Dairy Journal*, 22(2), 110-115.

181. Sheehan, J.J. y Guinee, T. (2004). Effect of pH and calcium level on the biochemical, textural and functional properties of reduced-fat Mozzarella cheese. *International Dairy Journal*, 14, 161-172.
182. Shin, K., Tomita, M., y Lonnerdal, B. (2000). Identification of lactoperoxidase in mature human milk. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 11, 94-102.
183. Singh, H., y Fox, P. F. (1987). Heat stability of milk: Role of β -lactoglobulin in the pH-dependent dissociation of κ -casein. *Journal of Dairy Research*, 54, 509-521
184. Smith A.K. y Campbell B.E. (2007). Microstructure of Milk Components. *En Structure of Dairy Products*. Ed. Tamime A. Cap. 3. Blackwell Publishing Ltd. pp 59-71.
185. Smithers, G. W. (2008). Whey and wheyproteins—from ‘gutter-to-gold’. *International Dairy Journal*, 18(7), 695-704.
186. Sousa MJ, Ardö Y, McSweeney PLH. (2001) Advances in the study of proteolysis during cheese ripening. *International Dairy Journal*, 11: 327-345.
187. Spreer, E. (1991). Lactología industrial. Editorial Acribia S.A. España, Zaragoza.
188. Spreer, E. (1998). Cheese Manufacture. En: *Milk and Dairy Product Technology*. Ed. Marcel Dekker, Inc. New York, USA. Chapter 4, pp. 245-337.
189. Spreer, E. (1998a). Milk Processing. En *Milk and Dairy Product Technology*. Ed. Marcel Dekker, Inc. New York, USA. Chapter 4, pp. 71-132
190. Spotti, M. J. (2013). *Estudio de propiedades y estructura de geles mixtos proteína-polisacaridos. Influencia de la reacción de glicosilación*. Tesis de grado para obtención del título de doctor en química. Universidad Nacional de Litoral. Argentina, Santa Fe.
191. Sreedhara, A., Flengsrud, R., Langsrud, T., Kaul, P., Prakash, V. y Vegarud, G.E. (2010). Structural characteristic, pH and thermal stabilities of apo and holo forms of caprine and bovine lactoferrins. *Biometals*, 23:1159-1170.
192. Steijns, J. M., y Van Hooijdonk, A. C. M. (2000). Occurrence, structure, biochemical properties and technological characteristics of lactoferrin. *British Journal of Nutrition*, 84, 11-17.
193. Swaisgood, H.E. (2003). Chemistry of caseins. En *Advances Dairy Chemistry – I Proteins*. Part A. Fox, P.F., McSweeney, P.L.H. (Editors). Kluwer Academic/Plenum Publishers. New York. Chapter 3, p.p.139-201.

-
194. Tetra Pak. (2017). Whey processing. *Dairy processing handbook*. Recuperado de <http://dairyprocessinghandbook.com/chapter/whey-processing>.
195. Tokle, T., McClements, D.J. (2011). Physicochemical properties of lactoferrin stabilized oil-in-water emulsions: Effects of pH, salt and heating. *Food Hydrocolloids* 25, 976-982.
196. Tunick, M. (2008). Whey protein production and utilization: A brief history. En: Onwulata, C. and Huth, P. *Whey Processing, Functionality and Health Benefits*. John Wiley & Sons, Inc. ISBN: 978-0-813-80903-8
197. Tsakali, E., Petrotos, K., Alessandro, A., Goulas, P. (2010). *A review on whey composition and the methods used for its utilization for food and pharmaceutical products*. Conference: 6th International Conference on Simulation and Modelling in the Food and Bio-Industry FOODSIM 2010, At CIMO Research Centre, Braganca, Portugal
198. Van der Strate, B.W.A, Belijaars, L., Molema, G., Harmsen, M.C., Meijer, D.K. (2001). Antiviral activities of lactoferrin. *Antiviral Res* 2001 52:225-39.
199. Veisseyre, R. (1988). *Técnicas queseras*. Lactología técnica. Editorial Acribia. España, Zaragoza.
200. Visser, S. (1993). Proteolytic enzymes and their relation to cheese ripening and flavor: An overview. *Journal of Dairy Science*, 76: 329-350.
201. Visser, F.M.W. y Groot-Mostert, A.E.A. (1977). Contribution of enzymes from rennet, starter bacteria and milk to proteolysis and flavor development in Gouda cheese. 4. Protein breakdown: A gel electrophoretical study. *Netherlands Milk and Dairy Journal*, 31: 247-264.
202. Young, S. L. Sarda, X. y Rosemberg, M. (1993). "Microencapsulating Properties of Whey Proteins. Microencapsulation of Anhydrous Milk Fat". *Journal of Dairy Science* 76: 2868-2877.
203. Young, S. L. Sarda, X. and Rosemberg, M. (1993a). "Microencapsulating Properties of Whey Proteins. 2. Combination of Whey Proteins with Carbohydrates". *Journal of Dairy Science* 76: 2878-2885.
204. Walstra, P., y Jenness, R. (1984). *Dairy chemistry and physics*. New York: Wiley.

205. Walstra, P., Wouters, J.T.M. y Geurts, T.J. (2006) Fermented Milks. En *Dairy Science and Technology*. Ed. Taylor & Francis Group, LLC. Chapter 22 y 24, pp 551-573; 583-638.
206. Wang, X., Zhao, X., Huang D., Pan, X., Qi, Y., Yang, Y., Zhao, H. y Cheng, G. (2017). *Proteomic analysis and cross species comparison of casein fractions from the milk of dairy animals*. Scientific Reports Volume 7, Article number: 43020. Recuperado de www.nature.com/scientificreports/.
207. Wit, J.N. (2001). *Processing of whey ingredients*. Lecturer's Handbook on whey and whey products. Primera edición. European Whey products Association. Holanda.
208. Wolf, I.V., Meinardi, C.A. y Zalazar, C.A. (2009). Production of flavour compounds from fat during cheese ripening by action of lipases and esterases. *Protein & Peptide Letters*. 16, 1235-1246.
209. Wolf, I.V., Peralta, G.H., Candiotti, M.C., Perotti, M.C. (2016). The role of propionibacteria in the volatile profile of Pategrás cheeses. *Dairy Science & Technology*. Vol. 96, Issue 4, pp 551–567.
210. Wolf, I. V., Perotti, M. C. Zalazar, C. A. (2011). Composition and volatile profiles of commercial Argentinean blue cheeses. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91 (2), 385-393.
211. Wolfgang, A. (2007). *Enzymes in Industry. Production and Applications*. 3º Edition. Ed. WILEY-VCH VerlagGmbH& Co. KGaA
212. YGGZ-Ensunlightdryer. (2017). *Spray drying equipment manufacturer*. Recuperado de <http://ensunlightdryer.com/1-1-fluidized-bed-spray-dryer>.
213. Zalazar, C.A. (1994). “Coagulación de la leche y enzimas coagulantes” En Ciencia y Tecnología de los Productos Lácteos” CERIDE, Santa Fe, Argentina.
214. Zalazar, C.A., Candiotti, M.C, Mercanti, D.J., Bergamini, C.V. y Meinardi, C.A. (2006). Maduración de quesos y su control. En *Avances en microbiología, bioquímica y tecnología de quesos*. Reinheimer, J. y Zalazar, C. Ed. Ediciones UNL, Secretaría de Extensión. Santa Fe, Argentina. Sección 5: Recientes desarrollos en maduración de quesos. Capítulo 1: Maduración de quesos y su control. pp. 117-243.
215. Zalazar, C.; Meinardi, C.; Candiotti, M. (1994). The effect of microbial proteases on pategras cheese ripening. *Microbiologie - Aliments - Nutrition*. 12 - 295-301

216. Zalazar, C.A., Meinardi, C.A., Hynes, E.R. (1999). Los quesos Argentinos. En *Quesos típicos argentinos*. Una revisión general sobre producción y características. Cap. 3. Centro de Publicaciones, Universidad Nacional del Litoral. pp. 20-49.
217. Zalazar, C.A. y Perotti, M.C. (2011). Dulce de Leche. En *Encyclopedia of Dairy Science* (2° Edition) Ed. Elsevier Academic Press London, England, Vol. 1, 874-880.