

©2000 Inda Cunningham, Arturo Enrique
Derechos sobre la presente impresión:
Organización de los Estados Americanos OEA

En caso de consultas o
comentarios, ponerse en contacto
con:

Arturo Inda Cunningham
Consultor Independiente
Almendra 394
Col. Nogalar del
Campestre
Saltillo, Coahuila 25903
MÉXICO
Tel.: 52 (844) 432 - 0342
Correo-e: aeinda@prodigy.net.mx

Las opiniones expresadas no son necesariamente
opiniones de la OEA, de sus órganos o de sus funcionarios.

TABLA DE CONTENIDO

PRESENTACIÓN	v
RECONOCIMIENTOS	vii
INTRODUCCIÓN	ix
CAPÍTULO 1. LA LECHE Y EL QUESO	1
1.1 Introducción	1
1.2 Las proteínas de la leche	10
1.3 El potencial de la leche para la fabricación de quesos	16
1.4 Definición operacional de rendimiento óptimo	20
CAPÍTULO 2. LA ESTRUCTURA BÁSICA DE UN QUESO BLANCO LATINOAMERICANO	25
2.1 Introducción	25
2.2 Formación de la estructura básica	28
2.3 Retención y control de la humedad	35
CAPÍTULO 3. FACTORES QUE DISMINUYEN EL RENDIMIENTO Y CÓMO EVITARLOS	43
3.1 Introducción	43
3.2 Atención en la finca y en la planta industrial	44
3.3 La importancia de la pasteurización de la leche	52
3.4 Predicción del rendimiento y ejemplos	55
CAPÍTULO 4. OPCIONES PARA DARLE VALOR AGREGADO AL LACTOSUERO DE QUESERÍA	63
4.1 Introducción	63
4.2 Requesones	67
4.3 Bebidas	87
4.4 Otras opciones de uso	93
CAPÍTULO 5. CALIDAD E INOCUIDAD EN LA INDUSTRIA DE QUESERÍA	97
5.1 Introducción	97
5.2 Estrategias para el mejoramiento continuo	102
5.3 El Sistema HACCP	110
5.4 Un sistema integral de calidad e inocuidad	122
REFERENCIAS	129
Apéndice A. Composición detallada de la leche y del lactosuero. ...	139
Apéndice B. Una estrategia para conservar lactosueros concentrados	141
Apéndice C. Recursos	142
C.1 Sitios en Internet	142
C.2 Proveedores de equipo, materiales y reactivos	144
C.3 Videocintas en español para capacitación en mejoramiento de la calidad y en inocuidad	155

Presentación

El sector lácteo fue uno de los subsectores de alimentos seleccionado desde un inicio para llevar a cabo las acciones del Proyecto de Calidad y Productividad en la Pequeña y Mediana Empresa, copatrocinado por la Organización de los Estados Americanos, OEA, y la Agencia de Cooperación Alemana para el Desarrollo, GTZ.

En efecto, se trata de un sector que es común a todos los países de América Latina, que enfrenta problemas similares y tiene gran importancia económica a nivel de pequeñas y medianas empresas. Esto es particularmente cierto en el sector rural, donde cualquier mejora tiene un fuerte impacto en la salud de la población, tanto desde la óptica de la nutrición como desde el punto de vista de aspectos sanitarios y un considerable impacto en el combate de la pobreza.

Por ello, se estima que esta publicación del Dr. Arturo Inda llena una necesidad y puede ser de gran utilidad. Enfoca la optimización de rendimientos en la industria de quesería, ejemplificando con el queso blanco que, en sus variantes, se produce en todos los países. Analiza diversas opciones para darle valor agregado al lactosuero - que a menudo se considera un simple subproducto. Toca asimismo el aseguramiento de la calidad e inocuidad sanitaria de los productos fabricados en las queserías.

No dudamos que todas aquellas personas que trabajan en nuestros países en la fabricación de quesos, podrán obtener enseñanzas de la presente publicación.

Oscar Harasic
Coordinador regional
Proyecto Multinacional de Metrología, Normalización, Acreditación y
Calidad de la OEA,
Proyecto OEA/GTZ de Calidad y Productividad en la Pequeña y Mediana
Empresa.

Reconocimientos

Crecí en Cd. Delicias, Chihuahua, México, una de las zonas lecheras importantes del país, pero nunca visité un establo ni una planta de quesería. Ya fuera de casa, estudié Ingeniería Química y Tecnología de Alimentos, pero mi Tesis fue sobre las relaciones entre la estructura y las propiedades reológicas del gluten de trigo. Mi relación profesional con la leche y con la gerencia para el mejoramiento de la calidad comenzó a mediados de la década de los años 80. Estos últimos dieciseis años han sido fascinantes, sobre todo porque tuve el privilegio de trabajar durante casi una década en una empresa de productos lácteos donde se tiene una visión de largo plazo y se valora la gente, el aprendizaje y la experimentación. Allí descubrí que la lechería no tiene más límites que la imaginación y que la clave de la competitividad está en la forma de pensar y de actuar de los altos gerentes.

A través de estos años, he recibido la ayuda de muchas personas. Es un grupo diverso en el que hay empresarios, consultores, ejecutivos, funcionarios, profesores e investigadores, de varias nacionalidades. Me han ayudado de distintas maneras, todas ellas valiosas para que yo pudiera escribir este libro y siempre en el mejor espíritu de cooperación. Quiero darles las gracias y decirles a todos que, desde luego, asumo la responsabilidad por el contenido del libro.

Entre ellos están Reynaldo Villarreal Gutiérrez, Marcus Karel, Servando Morales Díaz, ChoKyun Rha, Robert B. Gravani, David Bandler, Alejandro Valdés Garza, Inocencio Higuera Ciapara, Manuel Enrique Ron Sánchez, Eduardo Erro Popelka, Ismael Cárdenas Gil, Gustavo Cárdenas Gil, Jesús Montero Alvarado, Víctor Hinojosa Barragán, Homero Gaona Rodríguez y, por último pero ciertamente no menos importante, Yolanda Vidal García.

Quiero expresar un agradecimiento especial a Oscar Harasic, Coordinador del Proyecto Multinacional sobre Metrología, Normalización, Acreditación y Calidad, de la Oficina de Ciencia y Tecnología en la Organización de los Estados Americanos, por haber aceptado con generosidad y entusiasmo que este libro fuera publicado por la OEA, dentro del Programa OEA/GTZ, y a Rocío Marbán y Julio Pellecer, por una excelente labor de edición.

Introducción

Para que la competitividad actual de las empresas queseras latinoamericanas medianas y pequeñas aumente y se consolide sobre una base confiable, y para que esta industria satisfaga la demanda doméstica y las exportaciones potenciales se conviertan en realidad, hace falta recorrer un trecho considerable por el sendero del mejoramiento continuo de la calidad de los quesos y de la eficiencia de conversión de la leche en queso.

Es muy difícil, por lo menos en el futuro previsible, que los empresarios queseros puedan, por sí mismos, enfrentar con éxito este reto; se requiere el trabajo conjunto y articulado de diversas instancias: los mismos queseros, dispuestos a aprender y a practicar mejores métodos; los productores de leche, técnicos en lechería, instituciones de crédito para el desarrollo e instituciones educativas y agencias gubernamentales y privadas relacionadas con la salud pública, la protección al medio ambiente, el comercio, comunicaciones y transportes, agricultura y ganadería e impulso a las exportaciones.

Los esfuerzos de buena fe, pero dispersos, no serán eficientes ni eficaces pues la problemática es compleja y los distintos grupos de interés tienen, desde luego, diversas percepciones, puntos de vista, metodologías y expectativas.

Tal vez la acción más importante consista en alinear los esfuerzos dispersos para construir una visión compartida por todos los interesados, con propósitos claros, con un horizonte de tiempo razonablemente largo, del orden de por lo menos cinco años; con constancia de propósitos, con un diseño metodológico formal pero flexible que ponga énfasis en el trabajo conjunto y con actividades permanentes de capacitación y de seguimiento en todos los aspectos.

La capacitación en tecnología de productos lácteos es indispensable pero insuficiente. Además, la mayoría de los empresarios queseros requieren ser guiados durante algún tiempo, en forma no paternalista, en muchos otros aspectos. En este sentido, tal vez el reto principal sea psicológico,

más que tecnológico. Un ejemplo común de esto es la búsqueda de esquemas ganar-ganar en la compraventa de leche cruda para quesería. El conflicto casi permanente entre productores de leche e industriales es un obstáculo formidable para la competitividad de ambos. Una explicación parcial de las causas es que nuestras culturas nacionales son altamente individualistas, hemos sido educados y recompensados para competir unos contra otros, en juegos de suma cero donde, para que alguien gane, alguien tiene que perder. Desde luego, este comportamiento no es privativo de la industria de productos lácteos - como podemos observar a diario, prevalece en casi todos lados - pero eso no lo hace menos disfuncional.

En otras palabras, para ser competentes, satisfacer la demanda doméstica, exportar con éxito y hacerlo en forma sostenida, es imprescindible aprender a trabajar juntos, todos. Esto no es trivial ni es cuestión de buenos deseos o de exhortaciones, pero sí es posible mediante educación, capacitación y la intención de lograrlo. Si se trabaja en equipo, en cerca de cinco años, esta importante industria tiene la posibilidad de llegar a ser un ejemplo de calidad y competitividad en sus países de origen y en la exportación de quesos regionales. No hay recetas mágicas ni soluciones instantáneas. Requiere esfuerzo y constancia en los propósitos y en el aprendizaje.

Es importante también que cambiemos la imagen que muchos tenemos acerca de la quesería en nuestras empresas pequeñas y medianas. Equivocadamente, tendemos a asociarlas con quesos de baja calidad. Sin embargo, teniendo alta calidad como sucede en muchos países, los quesos regionales latinoamericanos producidos por estas empresas pueden ser de mayor valor agregado que los quesos producidos por las grandes empresas, precisamente debido a que son únicos y diferentes todos entre sí. Cada quesero o grupos de queseros en una cierta región puede impartir su arte personal a los quesos que producen y, si además son de calidad alta y razonablemente constante, esto es altamente apreciado en muchos mercados .

Finalmente, tal vez sea inapropiado continuar con la costumbre de hacer una distinción entre calidad para consumo interno y calidad para exportación. Es

mucho mejor para todos mejorar sin cesar la calidad de todo lo que hacemos y recordar que los consumidores de nuestro país son tan importantes como los consumidores de otros países. Entre los primeros nos encontramos nosotros mismos y, desde luego, nuestras familias.

El propósito de este pequeño libro es que sirva de guía para todos los industriales queseros de las pequeñas y medianas empresas y para todas las personas e instituciones interesadas en contribuir al mejoramiento de la quesería en los países latinoamericanos. El libro no es, ni pretende ser, completo ni perfecto. Es un libro básico, práctico y escrito en lenguaje lo más sencillo posible, pero sin menoscabo del rigor técnico requerido particularmente en el caso de la mediana empresa, que generalmente cuenta con personal técnico en lechería.

Es un libro para practicantes de la quesería industrial y, al mismo tiempo, el énfasis está en la optimización de los procesos básicos de quesería y no en las particularidades de la fabricación de los quesos regionales latinoamericanos por separado. Por ello, como andamio para el aprendizaje se usa el queso blanco pasteurizado, común a casi todos nuestros países, pero que tiene distintos nombres tales como queso blanco, queso panela, queso fresco, etc., dependiendo del lugar.

Los aspectos técnicos tienen como propósito fundamental ayudar a los empresarios a optimizar rendimientos en la producción de casi cualquier tipo de queso, a darle valor agregado al lactosuero de quesería convirtiéndolo en alimentos con demanda y, sobre todo, a que sus productos no representen riesgos contra la salud pública.

Este libro está dedicado a todos los queseros pequeños y medianos de América Latina, con la esperanza de que, en la medida que se vuelvan más competentes a través de los años, tendrán la sabiduría de compartir sus conocimientos con todos los demás queseros y de compartir con sus empleados, con los productores de leche y con los consumidores la riqueza nueva generada como consecuencia de los aumentos en rendimientos y en la calidad de los productos, buscando siempre esquemas en los que todos ganen, contribuyendo así al desarrollo de sus países.

Capítulo 1. LA LECHE Y EL QUESO

1.1 INTRODUCCIÓN

Podemos afirmar, sin exagerar, que la leche es un suprasistema biológico muy complejo, intrínsecamente inestable, con sistemas dentro de otros sistemas, siendo todos ellos importantes para optimizar los rendimientos y la calidad en quesería. Por ejemplo, dentro del sistema leche se encuentra el subsistema proteínas; dentro de éste se encuentra el subsistema caseínas y dentro de éste último se encuentran las distintas caseínas.

Desde un punto de vista macroscópico, la leche se puede describir como un sistema polifásico que contiene agua, grasa emulsificada, micelas de caseína en estado coloidal y proteínas, lactosa, sales y micronutrientes en solución. Desde una perspectiva mucho más detallada, es común, por ejemplo, que algunas de sus proteínas se encuentren en distintas variantes genéticas, con propiedades funcionales ligeramente diferentes.

Pero, más allá de estas complejidades, como comentan Klostermeyer y Reimerdes (1977), hay algunas características químicas *básicas* que se deben considerar primero para comprender mejor el comportamiento y la reactividad de las caseínas y de las proteínas lactoséricas durante la elaboración de un queso o un requesón. En este libro solamente mencionaremos en forma un tanto sencilla algunos aspectos importantes para una mejor comprensión de las contribuciones de estas proteínas a los rendimientos en quesería.

Un aspecto de gran importancia para los industriales es el valor monetario de los componentes de la leche, en particular de aquellos que más contribuyen a los rendimientos en quesería. Actualmente, el valor monetario de la leche cruda en la mayoría de nuestros países es aproximadamente equivalente a U.S.\$ 0.25 por litro. Si usamos kilogramos en lugar de litros para medir la cantidad de leche, la cifra es de U.S.\$ 0.24 por kilogramo de leche. Para convertir el *precio*, de dinero por litro a dinero por kilogramo, se divide entre la densidad de la leche, que es del orden de 1.03 kilogramos por litro.

Entonces, una de las preguntas críticas para los queseros y para los productores es: ¿Cómo están distribuidos los 24 centavos de dólar en los diversos componentes presentes en un kilogramo de leche cruda? La respuesta es muy importante porque, como veremos más adelante, lo que más contribuye al rendimiento de un queso son las proteínas y las grasas.

Aunque hay variaciones de varios tipos de país a país, creemos que la respuesta que se da enseguida es razonable para los propósitos de este libro y está avalada por tendencias crecientes internacionales y por los precios relativos de los componentes separados de la leche en el mercado internacional. Debido a las variaciones, las cifras que aquí se consideran no se deben tomar como cifras exactas; son cifras aproximadas, pero su propósito es resaltar la importancia de los cuidados necesarios para prevenir las pérdidas innecesarias de rendimiento y, por consiguiente, de utilidades. Cada empresario y productor de leche podrá ajustar las cifras y cálculos a sus condiciones locales.

Consideraremos, para empezar, que el total del valor monetario de la leche se debe a los sólidos de la leche y que el agua, que constituye cerca del 88 % de la masa de la leche, tiene un valor monetario esencialmente despreciable. Para casi todos los fines prácticos, esta es una suposición razonable cuando se trata de la industria de quesería. De hecho, ésta es la base para los sistemas de pago de leche en muchos países avanzados en lechería.

Para tener una respuesta a la pregunta hecha arriba, necesitamos además conocer la composición de la leche cruda o bronca con cierto detalle. Los argumentos para esto se dan más adelante pero, para los fines de este libro, consideraremos que la leche típica de vaca en la mayoría de los países latinoamericanos tiene la composición que se muestra en la Tabla 1, sabiendo de antemano que siempre hay variaciones estacionales y de muchos otros tipos.

Todos los ejemplos se harán sobre esta base y, desde luego, el análisis de la composición de la leche ayudará a los industriales queseros y a los productores de leche a efectuar los ajustes correspondientes.

TABLA 1
COMPOSICIÓN TÍPICA DE LA LECHE CRUDA DE VACA*

Proteínas	3.1 %
(Caseínas)	(2.4 %)
(Proteínas lactoséricas)	(0.7 %)
Grasas	3.4 %
Lactosa	4.7 %
Minerales	0.9 %
	12.1 %
Sólidos Totales	12.1 %

*Ver detalles en el Apéndice A.

La lactosa es un azúcar con poca funcionalidad y baja demanda comercial, por lo que su valor monetario es alrededor del 50 % del valor de la sacarosa o azúcar de mesa. La sacarosa tiene un precio de cerca de U.S.\$ 0.50 por kilogramo, por lo que la lactosa tiene un valor cercano a $0.50 \times 0.5 = 0.25$ centavos de dólar por kilogramo. Las sales y minerales tienen un valor semejante.

La grasa de leche tiene un valor monetario cercano a U.S.\$ 2.00 por kilogramo y las proteínas de la leche, *en su conjunto*, tienen un valor comercial que oscila entre dos y tres veces el valor de la grasa, dependiendo del país que se analice. En otras palabras, las proteínas de la leche en su conjunto tienen un valor monetario que oscila entre U.S.\$ 4.00 y U.S.\$ 6.00 por kilogramo. Como veremos más adelante, el conjunto de las caseínas tiene un valor monetario, por kilogramo, significativamente mayor que el del conjunto de las proteínas del lactosuero.

Tomemos entonces como base de cálculo *100 kilogramos de leche*. Su valor monetario es cercano a 24 dólares. De esos 24 dólares, la lactosa y las sales y minerales representan $(4.7 + 0.9) \text{ kg} \times \text{U.S. } \$ 0.25/\text{kg} = \text{U.S. } \$ 1.40$ dólares. En otras palabras, el conjunto de lactosa y sales y minerales contribuye con el $(1.40/24) \times 100 = 5.8 \%$ del valor monetario de la leche,

aunque representan el 46.3 % de los sólidos de la leche. Claramente, son los componentes menos valiosos en términos de dinero.

Si los queremos ver por separado, la lactosa representa $4.7 \text{ kg} \times \text{U.S.}\$ 0.25/\text{kg} \approx \text{U.S.}\$ 1.18$ dólares, que equivale al $(1.18/24) \times 100 \approx 4.9 \%$ del valor monetario de la leche aunque, en términos de masa, representa el $(4.7/12.1) \times 100 \approx 38.8 \%$ de los sólidos de la leche. Por su parte, las sales y minerales representan $0.9 \text{ kg} \times \text{U.S.}\$ 0.25/\text{kg} \approx \text{U.S.}\$ 0.23$ que equivale al $(0.23/24) \times 100 \approx 1.0\%$ del valor monetario de la leche aunque, en términos de masa, representan el $(0.9/12.1) \times 100 \approx 7.4 \%$ de los sólidos de la leche.

La grasa representa $3.4 \text{ kg} \times \text{U.S.}\$ 2.00/\text{kg} = \text{U.S.}\6.80 dólares. Esto equivale al $(6.80/24) \times 100 \approx 28.3 \%$ del valor monetario de la leche aunque, en términos de masa, la grasa constituye solamente el $(3.4/12.1) \times 100 \approx 28.1 \%$ de los sólidos de la leche. Es el único componente de la leche cuya participación en el valor monetario es similar a su participación en términos de contenido.

Por consiguiente, los 3.1 kg de proteínas presentes en los 100 kg de leche representan el dinero que falta para completar los 24 dólares que cuesta esta cantidad de leche cruda:

$$24.00 - 1.18 - 0.23 - 6.80 \approx \text{U.S.}\$ 15.80 \text{ dólares.}$$

Entonces, cada kilogramo *del conjunto* de proteínas tiene un valor monetario de $15.80/3.1 \approx \text{U.S.}\$ 5.10$ dólares. Esto es equivalente al $(15.80/24) \times 100 \approx 65.8 \%$ del valor monetario de la leche aunque, en términos de masa, el conjunto de proteínas constituye solamente el $(3.1/12.1) \times 100 \approx 25.6 \%$ de los sólidos de la leche.

Si queremos ver las caseínas y las proteínas del lactosuero por separado, algo que siempre es recomendable hacer, las primeras tienen un valor monetario cercano al doble del de las segundas y la razón es sencilla: son las caseínas las que contribuyen a casi la totalidad del rendimiento de queso en lo concerniente a proteínas.

Un cálculo sencillo muestra que, para la leche tipo que estamos considerando aquí, el valor monetario de las caseínas es de cerca de U.S.\$ 5.70/kg y el de las proteínas del lactosuero es cercano a U.S.\$ 2.80/kg. La Tabla 2 muestra un resumen de estos cálculos.

TABLA 2

VALOR MONETARIO DE LOS COMPONENTES DE LA LECHE

Componente	Valor Monetario U.S. \$/ kg	% del valor de la leche	% de los sólidos totales
Proteínas	~ 5.10	~ 66	~ 26
(Caseínas)	(~5.70)	(~58)	(~20)
(Proteínas lactoséricas)	(~2.80)	(~8)	(~6)
Grasa	~ 2.00	~ 28	~ 28
Lactosa	~ 0.25	~ 5	~ 39
Minerales	~ 0.25	~ 1	~ 7
		100	100

Como podemos apreciar, los componentes realmente importantes para los queseros, las proteínas y la grasa, representan cerca del 94 % del valor monetario de la leche, aunque solamente representen el 54 % de los sólidos totales de la leche y el 6.5 % de la masa de la leche cruda. Claramente, para optimizar los rendimientos, el énfasis debe estar siempre en minimizar las pérdidas de estos dos componentes, desde el ordeño de la vaca en la finca hasta el final de la fabricación del queso.

Examinemos brevemente la cuestión de la compraventa de leche fluida cruda, que tiene un impacto en la cantidad y calidad de la leche y, por lo tanto, en el rendimiento y costo de los quesos de ella obtenidos. Los sistemas de compraventa de leche entre la industria de quesería y los productores de leche fluida han evolucionado durante las últimas décadas

de distinta manera en distintos países. Sin embargo, la característica de esta evolución es que se ha ido pasando de un esquema muy sencillo, generalmente un precio por litro o kilogramo de leche, a esquemas más precisos en los que juegan un papel no solamente la cantidad sino también la composición y la calidad de los componentes de la leche.

De hecho, en los países más avanzados en lechería, los sistemas de pago están basados en el contenido de los distintos componentes de la leche, con esquemas de sobrepago por alta calidad y de penalización por baja calidad. Desde luego, distintos países acostumbra distintas variantes del sistema de compraventa por componentes y calidad; ninguna de estas variantes es necesariamente mejor que cualquier otra y su importancia principal reside en que son esquemas negociados y acordados entre productores y compradores con la intención de que todos ganen. Generalmente se cuenta con la participación de agencias gubernamentales, particularmente en lo concerniente a aspectos de salud pública. Estos esquemas de compraventa de leche no debieran ser rígidos, sino diseñados para poder ser modificados con el fin de adecuarlos, entre todas las partes involucradas, a las condiciones cambiantes del entorno.

Por otro lado, un sistema de pago exitoso para todos los grupos de interés sí debe satisfacer algunos requisitos generales: ser co-diseñado entre productores y empresas compradoras y estar basado en una intención genuina de optimizar las utilidades de ambas partes en el mediano y largo plazo. A final de cuentas, el criterio de éxito de una propuesta de sistema de pago de leche es la respuesta de los productores. Por otro lado, los acuerdos entre las partes deben ser traducibles a cambios factibles en las prácticas de producción de la leche.

Este es un tema muy dinámico y de interés permanente. La información que se da enseguida como ejemplo en esta sección está basada principalmente en la sesión que sobre el tema se realizó durante el XXIII Congreso Internacional de Lechería, en Montreal, en 1990 (International Dairy Federation, 1991a).

Existen dos tipos principales de esquemas: a) un pago base o pago de referencia, para leche de composición y calidad definidas, con

bonificaciones y penalizaciones según ciertas diferencias respecto a la leche de referencia y b) pago por contenido de componentes específicos, particularmente proteínas y materia grasa, complementado por pago según calidad y volumen, incluyendo bonificaciones y penalizaciones que reflejen las diferencias correspondientes.

Así, por ejemplo, para 1990, países como Holanda, Inglaterra, Gales, Escocia, Irlanda del Norte, Dinamarca, Suecia, Finlandia, Noruega, Francia, Bélgica y Alemania ya usaban tipos de sistemas de pago que incluían el pago por el contenido de componentes específicos. Sin embargo, como es de esperarse, los criterios no son uniformes. Así, para la industria de leche fluida y crema, se considera que el mejor sistema es uno basado en un precio fijo más un sobreprecio por diferencial en el contenido de materia grasa por separado. Por otro lado, para la industria de quesería, prevalecen los esquemas en los que se asigna valor monetario a las cantidades de proteína y materia grasa, por separado. Esto tiene sentido, pues el rendimiento en quesería depende en gran medida del contenido de estos dos componentes en la leche.

Estos son algunos ejemplos de políticas de compraventa en algunos países, en 1990:

1. En Holanda, el factor más importante para la determinación del precio de la leche es el valor monetario de la materia grasa y la proteína.
2. En Noruega, la leche contiene, en promedio 3.9% de grasa y 3.2% de proteína. Se paga una bonificación por contenido de proteína mayor de 3.2% y se penaliza el contenido de grasa menor de 3.2%, pero no hay sobreprecio para contenido de grasa mayor de 3.2%.
3. En Francia, el pago se basa en los contenidos de materia grasa y proteínas. El contenido de referencia para materia grasa es 3.4 % y el de proteína es 3.2 %. Hay bonificaciones y penalizaciones para cantidades mayores y menores, respectivamente, de estos componentes. En ese país, la leche contiene, en promedio, 3.9 % de materia grasa.

En todos los países mencionados, el pago depende también de la calidad de la leche (bacteriológica, organoléptica, contenido o ausencia de inhibidores, conteo de células somáticas, etc.). Así, por ejemplo, en Francia hay dos etapas de penalización para cuentas aerobias totales (de 100,000 UFC/ml a 300,000 UFC/ml y mayores de 300,000 UFC/ml), tres etapas de penalización para el conteo de células somáticas (de 250,000 células/ml a 300,000; de 300,000 a 500,000 y mayor de 500,000) y una etapa para lipólisis (mayor de 0.25 de índice de acidez oléica).

En el Reino Unido, se da una bonificación para cuentas aerobias totales menores de 20,000 UFC/ml, no se bonifica ni se penaliza el rango entre 20,000 y 100,000 y hay penalizaciones severas para conteos mayores de 100,000 UFC/ml. También hay penalizaciones severas para conteos de células somáticas mayores de 700,000/ml. En el Reino Unido, el 80% de la leche está dentro de la banda de bonificaciones y menos del 2% está en la banda de penalizaciones.

Como ejemplo de un país latinoamericano, en Argentina la “Leche Base de Pago” es una leche con 3.3% de grasa, 3.1% de proteína, temperatura entre 5°C (leche enfriada) y 24°C (leche refrescada), con conteo de células somáticas entre 500,000 y 750,000 células/ml y con certificación que el hato está libre de brucelosis y tuberculosis. En caso de presencia de pesticidas e inhibidores, se da aviso y seguimiento al productor y, si no se resuelve el problema, la leche se rechaza. Hay bonificaciones para contenido de materia grasa mayor de 3.3%, para temperatura menor de 5°C y para conteo de células somáticas menor de 500,000/ml. Hay penalizaciones para temperatura mayor de 27°C, para conteo de células somáticas mayor de 750,000/ml y para recuento bacteriano, en varias etapas, según la prueba de reductasa.

Como se puede apreciar, hay una cantidad apreciable de variación entre los sistemas de pago de los distintos países. Esto depende, en general, de la situación actual en que se encuentran, del aspectos de composición y calidad de la leche que desean mejorar y de la percepción del valor monetario de los componentes de la leche en el mercado, según los tipos de productos lácteos que predominan en cada país.

Todos estos aspectos son cambiantes a través del tiempo pero, desde la perspectiva de la industria de quesería, el sistema de pago que tiene más sentido es el que se basa en el pago de los componentes de la leche por separado y en bonificaciones y penalizaciones por atributos de calidad.

Hay otras consideraciones que tienen efectos importantes sobre los sistemas de pago de leche. Dos de las más importantes son normatividad e infraestructura de laboratorios acreditados de análisis. Como señalan Harasic y Marbán (1999), “cuando las mediciones no son confiables, no pueden haber investigación, comercio, ni comunicación confiables”. Entonces, mejorar la calidad y la cantidad de la leche es claramente un trabajo que se lleva años y que, para ser eficaz, requiere de la concurrencia de empresarios, productores de leche, universidades, centros de investigación y desarrollo y agencias gubernamentales. Ante un reto de esta magnitud, la premisa fundamental para el trabajo conjunto de diseño de los esquemas de compra-venta de leche es que es posible construir un sistema mediante el cual todos los grupos de interés ganen más de lo que ganan con el sistema actual.

Vale la pena hacer una aclaración importante: en la medida en que la calidad de la leche cruda aumente y en que aumente también la calidad de los quesos y la eficiencia de los procesos de quesería, es natural que aumente también el valor monetario del queso y, como consecuencia natural, el de la leche fluida usada para fabricarlo. Al suceder esto, es muy probable que aumente en forma correspondiente el valor monetario de los componentes individuales de la leche, aunque dichos aumentos no serán directamente proporcionales y prácticamente todo el aumento del valor monetario se concentrará en las proteínas y en la grasa. En algunos países con leche de alta calidad y queserías altamente eficientes, el valor de las proteínas llega a más de U.S.\$ 6/kg y el de la grasa a un poco más de U.S.\$2/kg. Desde luego, aquí también juegan un papel importante otros factores tales como las variaciones en la demanda de grasas de origen animal por parte de los consumidores, el comportamiento del clima, los tratados comerciales etc.

En otras palabras, al aumentar la calidad del queso y los rendimientos, la leche fluida llegará a tener mejor precio para los productores y el queso

llegará a tener mayor margen de utilidad para los queseros. Puesto que ambas partes están estrechamente relacionadas, lo más inteligente es que los queseros y los productores trabajen *juntos* para mejorar la calidad y la cantidad, tanto de la leche como del queso.

1.2 LAS PROTEÍNAS DE LA LECHE

De las dos familias de proteínas que tiene la leche, las caseínas y las proteínas lactoséricas, las primeras tienen un nivel muy bajo de estructura terciaria y por consiguiente *no son susceptibles de ser desnaturalizadas*, por lo menos en el sentido usual del término (Klostermeyer y Reimerdes, 1977).

La leche de vaca contiene cuatro tipos de caseínas y su concentración es de cerca de 25 g/l de leche. La proporción entre ellas es aproximadamente la siguiente: $\alpha_{s1} : \alpha_{s2} : \beta : \kappa \approx 4:1:4:1$. En su estado natural, existen en forma de micelas, que son partículas con diámetro dentro del rango entre 50 nm y 250 nm, consistentes en un complejo de las caseínas con fosfato de calcio.

Las características altamente particulares de estas proteínas se deben a su composición o estructura primaria (Dalglish, 1997):

1. Son fosfoproteínas, en las que algunas unidades del aminoácido serina están substituidas con un grupo fosfato para formar fosfato de serina.
2. Las caseínas más importantes en cuanto a cantidad, α_{s1} y β , no contienen los aminoácidos cistina ni cisteína, por lo que no tienen la capacidad de formar enlaces de azufre (-S-S-) intermoleculares o intramoleculares.
3. Las caseínas presentes en menor concentración, α_{s2} y κ , contienen ambas un puente -S-S- intracadena, formado entre dos unidades de cisteína, que no son muy reactivas. Además de formar enlaces -S-S- intracadena, las cisteínas en estas proteínas son capaces de participar en eslabonamientos -S-S- *intercadena*.

4. Las cuatro caseínas son proteínas hidrofóbicas; es decir, contienen muchos aminoácidos con cadenas laterales no polares. Sin embargo, en el caso de las caseínas β y κ , la distribución de estos aminoácidos no es aleatoria. En el caso de la caseína κ , la región que termina en nitrógeno (componentes 1 a 105) es altamente hidrofóbica y el resto, la región que termina en carbono (residuos 106 a 169), es hidrofílica.

5. Las caseínas contienen cantidades relativamente altas de prolina, un aminoácido que dificulta la formación de estructuras secundarias (tales como hélices u hojas plegadas). Son proteínas esencialmente desordenadas, sin estructura específica, por lo que pueden adoptar muchos estados conformacionales en solución para adaptarse a la presencia de fuerzas cambiantes.

6. No tienen actividad biológica, no se pueden cristalizar y no son susceptibles de ser desnaturalizadas térmicamente en la región de temperaturas usuales en la industria de quesería.

Aunque uno de los aspectos funcionales de la κ -caseína es estabilizar las micelas, los posibles enlaces -S-S- intercadena no juegan ningún papel en este sentido (Rasmussen et al., 1994). Esto se debe a que la κ -caseína está localizada principalmente en la superficie de las micelas, formando una "capa peluda" que es la que imparte estabilidad.

Lo que les imparte a las micelas de caseína algunos de sus comportamientos característicos es el fosfato de calcio inorgánico que está combinado con las caseínas. En lo que hay acuerdo general es que las micelas son estructuras casi esféricas y que están compuestas de dominios de menor tamaño, de forma tal que la estructura global se asemeja a una frambuesa. Lo que no ha sido establecido es la estructura precisa de estos dominios más pequeños (Dalglish, 1997).

En algunos modelos, se muestra a las caseínas interactuando hidrofóbicamente para formar "submicelas", que a su vez interactúan con fosfato de calcio para formar las micelas. En otros, las caseínas están enlazadas al fosfato de calcio a través de sus residuos de fosfoserina para formar las submicelas, que interactúan entre sí hidrofóbicamente para

formar las micelas. En ambos tipos de modelos, la κ -caseína interactúa con las submicelas a través de su región hidrofóbica, mientras que la región hidrofílica cubre parcialmente la superficie de las micelas (Dalgleish, 1997).

Esta región hidrofílica o “capa peluda” tiene un espesor entre 5 nm y 10 nm. Debido a la presencia de esta capa de macropéptido, las micelas de caseína están altamente hidratadas, llegando a tener hasta 3 - 4 gramos de agua por gramo de proteína. Esto se debe en parte a la naturaleza porosa de la estructura micelar y en parte a que los “pelos” de κ -caseína ocupan mucho volumen en proporción a su masa (Dalgleish, 1997). El tamaño de las micelas varía entre 20 nm y 600 nm (Schmidt, 1986).

Como se mencionará en detalle más adelante, el fosfato de calcio micelar se disuelve progresivamente a medida que baja el pH del gel formado mediante la acción del cuajo. Los cambios correspondientes en la estructura micelar ante este aumento de acidez no son conocidos con exactitud. Durante la formación del gel enzimático, las micelas retienen casi en su totalidad su identidad estructural. Sin embargo, una vez que se corta la cuajada e inicia la expulsión de lactosuero, las micelas están mucho más juntas entre sí, hasta que se fusionan durante el prensado y la maduración del queso.

En contraste con las caseínas, las principales proteínas lactoséricas son proteínas *altamente estructuradas* y, por lo tanto, son susceptibles de ser desnaturalizadas. Por ejemplo, en su estructura terciaria, la β -lactoglobulina tiene una proporción considerable de hojas tipo β (43 % a 50 % de los componentes aminoácidos), 10 % a 15 % de hélice tipo α y 15 % a 20 % de dobleces tipo β . Al pH de la leche fresca, entre 6.6 y 6.7, esta proteína existe en forma de dímero. El monómero está formado por 162 componentes aminoácidos y contiene dos puentes de disulfuro (-S-S-) y un grupo tiol (-SH) por molécula. Aunque es la más hidrofóbica de las proteínas lactoséricas, la β -lactoglobulina es muy soluble en agua debido a que la mayoría de los componentes no polares están en el interior de la proteína y a que la mayoría de los componentes polares están en la superficie. En su estructura nativa, su capacidad de retención de agua es muy moderada, del orden de 0.04 g/g de proteína (Cayot y Lorient, 1997).

En términos de masa, la β -lactoglobulina constituye cerca del 50 % de las proteínas lactoséricas.

Por su parte, la α -lactalbúmina es una molécula formada por 123 componentes aminoácidos, contiene cuatro puentes disulfuro y es una glicoproteína que tiene cantidades variables de carbohidrato. Su estructura tiene menor grado de organización que la β -lactoglobulina: 30 % de hélice tipo α y 9 % de hojas tipo β . Por consiguiente es mucho más flexible, aunque sus puentes de azufre la mantienen en forma de un elipsoide compacto. La α -lactalbúmina tiene mayor capacidad de retención de agua (0.06g/g de proteína) que la β -lactoglobulina. Esta proteína constituye cerca del 20 % de la masa de las proteínas lactoséricas.

En las proteínas de la leche no hay entrecruzamientos *intermoleculares*. La fuente potencial más importante para reacciones de entrecruzamiento inducidas térmicamente es el contenido de los aminoácidos cisteína y cistina en las proteínas lactoséricas. Sin embargo, debido a que la leche para quesería se procesa a valores de pH ligeramente ácidos y a temperaturas no mayores de 72°C, se espera que estas reacciones de intercambio (-SH/-S-S-) procedan a un nivel moderado; las reacciones de intercambio -SH/-S-S- proceden con mucha mayor rapidez a valores alcalinos de pH y a temperaturas más altas.

La β -lactoglobulina, en sus variantes genéticas A y B, es la proteína de la leche que contiene mayor concentración de aminoácidos con grupos tiol y disulfuro. Los grupos -SH de la β -lactoglobulina están normalmente en la parte interna del dímero y por consiguiente su reactividad es baja. Sin embargo, bajo la influencia de tratamientos térmicos suficientemente severos, hay disociación creciente del dímero, lo que acarrea desnaturalización del monómero y la creación de condiciones propicias para la formación de polímeros. Esta es la base de la tecnología para la elaboración de requesón.

Es importante recordar que, debido a los altos pesos moleculares y a la gran variedad de componentes aminoácidos que ocurren generalmente en secuencias que no se repiten, una molécula de proteína es capaz de adoptar una gran variedad de conformaciones tridimensionales. Estas son

el resultado de un número potencialmente enorme de interacciones de varios tipos, covalentes y no covalentes, que ocurren entre los componentes aminoácidos, los componentes en el medio ambiente en que se encuentra la proteína y las características de dicho medio ambiente.

Por consiguiente, la estructura de una proteína no se debe considerar como algo fijo o estático. En el caso general, la estructura es *dinámica*, con la capacidad de responder de distintas maneras ante todo tipo de cambios en su medio ambiente: pH, temperatura, velocidad de calentamiento, concentración de ciertos iones, presencia de otras proteínas, grasas, carbohidratos, etc. Como las propiedades funcionales son un reflejo de la estructura, las debemos considerar también como un campo dinámico de potencialidades que podemos manipular para nuestros propósitos.

Tan importante como lo anterior, es muy importante reconocer y distinguir que las fuerzas para interacciones en las proteínas existen *en varios niveles de organización* (Haschemeyer y Haschemeyer, 1973): entre aminoácidos adyacentes, entre regiones, entre subunidades en estructuras de cadenas múltiples, entre moléculas y entre superestructuras moleculares. Por consiguiente, estos sistemas son capaces no solamente de cambios conformacionales dentro de un nivel, sino de cambios conformacionales acoplados que resultan de interacciones entre regiones, subunidades y moléculas. Desde luego, además, a cada nivel también hay posibilidades para interacciones con moléculas pequeñas, que pueden tener efectos a los demás niveles. Hay, entonces, una gran espacio para la complejidad, que podemos ver también como un gran espacio de oportunidades.

Por ejemplo, la solubilidad de una proteína depende de su capacidad de retención de agua y de su estado físico. El agua se puede retener por asociaciones débiles no covalentes (hidratación iónica, enlaces de hidrógeno, hidratación hidrofóbica), por restricciones entrópicas, o por fuerzas capilares. La desnaturalización térmica generalmente aumenta la retención de agua, debido al desdoblamiento parcial que causa, a su vez, la exposición de grupos hidrofílicos adicionales ante el agua (Cayot y Lorient, 1997). Las proteínas en solución se encuentran normalmente

hidratadas y por ello su volumen hidrodinámico es mayor que el que predice su volumen específico parcial.

Puesto que las proteínas son iones poliméricos, claramente hay interacciones electrostáticas que generan atracción o repulsión entre varias partes de las cadenas de polipéptidos. Hay una repulsión neta por debajo y por encima del punto isoeléctrico de la proteína; en el primer caso debido a un exceso de cargas positivas y en el segundo debido a un exceso de cargas negativas. La magnitud de estas fuerzas depende de la constante dieléctrica del medio y del grado de protección que imparta la atmósfera de contraiones y el solvente. De cualquier forma, la estabilidad o inestabilidad debidas a las cargas eléctricas dependen de la *distribución* de las cargas en la superficie de la molécula (Haschemeyer y Haschemeyer, 1973).

Desde otra perspectiva, la estructura y la conformación de las proteínas dependen también del medio en que se encuentran. Los enlaces de hidrógeno entre los aminoácidos y el agua, las interacciones ión-dipolo y dipolo-dipolo son importantes en las interacciones entre el agua y las proteínas. Aparte de esas interacciones moleculares, hay fuerzas fisicoquímicas, tales como la adsorción, que pueden también causar interacciones agua-proteína importantes desde el punto de vista tecnológico, tales como la capacidad de retención de humedad en los quesos y requesones.

En este sentido, el estudio de las investigaciones hechas con sistemas modelos es importante porque nos permite aprender acerca del comportamiento fisicoquímico fundamental de las proteínas aunque, desde luego, no pueden reflejar *con exactitud* su desempeño en un queso o en cualquier otro producto real derivado de la leche. Esto se debe a que los alimentos, a diferencia de los sistemas modelos, tienen otros componentes, aditivos y procedimientos de procesamiento que pueden inducir complejidades en las interacciones entre las proteínas y todo lo que les acompaña.

Por consiguiente, al estudiar la literatura técnica, es importante enfocar la atención a los aspectos fundamentales y no tanto a los métodos

particulares empleados ni a las cifras exactas obtenidas. El reto consiste más bien en *integrar* los fragmentos de conocimiento fundamental proveniente de estos estudios con el conocimiento adquirido de otros estudios realizados con leche, algunos de ellos enfocados a procesos de quesería, y con el cúmulo de experiencia práctica que tiene la gente de la empresa con sus procesos y productos *particulares*.

1.3 EL POTENCIAL DE LA LECHE PARA LA FABRICACIÓN DE QUESOS

El potencial de la leche para la fabricación de quesos está determinado principalmente por tres factores:

1. El contenido de proteínas coagulables (caseínas)
2. El contenido de materia grasa
3. La calidad sanitaria y microbiológica de la leche

El principal factor es el contenido de caseínas, las proteínas coagulables mediante la acción del cuajo y la acidez, ya que la proteína presente en el queso es la que retiene prácticamente toda la humedad del queso. Por ejemplo, en un queso blanco pasteurizado con 18 % de proteína y 52 % de humedad, cada gramo de proteína retiene cerca de $52/18 \approx 2.9$ gramos de agua. Entonces, esto significa que la pérdida de un gramo de caseína en el proceso representa la pérdida de cerca de $1 + 2.9 \approx \text{¡}3.9$ gramos de queso! Por otro lado, debido a estas pérdidas, el queso no tendrá la composición deseada. De ahí la gran importancia de tomar todas las medidas necesarias para minimizar las pérdidas de proteína, desde el ordeño de la vaca hasta el prensado del queso.

La leche de vaca contiene entre 3.0 % y 3.4 % de proteínas, dependiendo de muchos factores tales como raza, genética, alimentación, manejo, estado de salud y estacionalidad climática. Siendo más bien conservadores, hemos tomado la cifra de 3.1 % como típica para la mayoría de la leche que compran los queseros en casi todos los países de América Latina.

Del contenido de proteínas de la leche, definido como la cantidad de nitrógeno multiplicada por el factor 6.38, las caseínas (o proteínas coagulables por la acción del cuajo o por la acción de ácidos, a pH 4.7) constituyen cerca del 79%. Usando esquemas clásicos de quesería, éstas son prácticamente las únicas proteínas que contribuyen al rendimiento. Sin embargo, cuando la leche se cuaja usando renina (cuajo), las caseínas pierden en forma natural e inevitable un fragmento (llamado glicomacropéptido) que constituye el 4% de su masa. Este fragmento se transfiere en forma soluble al lactosuero. *Esto significa que un proceso ideal de quesería sería capaz de recuperar el 96 % de las caseínas; o sea, cerca del $79 \times 0.96 \approx 76$ % de la proteína total presente en la leche.*

En la práctica industrial en países como Holanda, EUA, Irlanda, Canadá, Alemania, Argentina y Uruguay se recupera entre el 70 % y el 77 % de la proteína, usando los métodos clásicos de quesería (Callanan, 1991). Este porcentaje incluye la proteína de lactosuero presente en la humedad del queso. Para fines de comparación entre fabricantes de distintas plantas y países, se ha adoptado la convención de que 100% de eficiencia industrial significa recuperar el 75.0% de las proteínas (International Dairy Federation, 1991b). Lo que esto significa es que, en un proceso 100 % eficiente, el queso retiene el 75 % de las proteínas de la leche y el suero o lactosuero contiene el 25 % restante. En otras palabras, *se recupera entre el 94 % y el 95 % de la caseína y entre el 1% y el 2 % de las proteínas lactoséricas*, esta última cifra dependiendo del contenido de humedad en el queso.

La otra fracción, llamada proteínas no coagulables o *proteínas del lactosuero*, es la que no coagula por acción del cuajo y de la acidez y por eso forma parte de la composición del suero de quesería. Representa el 21% de la proteína total de la leche y no contribuye significativamente al rendimiento, dentro de los esquemas clásicos de la quesería.

Por otro lado, la leche de vaca contiene entre 3.2 % y algo más de 4.0 % de materia grasa dependiendo, de nuevo, de los factores mencionados antes al referirnos al contenido de proteínas. Aquí hemos tomado la cifra de 3.4 % como típica para la mayoría de la leche que compran los queseros en casi todos los países de América Latina. En la práctica,

usando métodos clásicos de quesería, es factible recuperar entre el 88 % y el 92 % (Callanan, 1991) y, con atención cuidadosa, lo más que se puede recuperar es el 93 %. Entonces, es razonable considerar este nivel de recuperación como correspondiente a un proceso 100 % eficiente, en cuanto a recuperación de grasa. De nuevo, esto significa que, en un proceso industrial 100 % eficiente, el queso retiene el 93 % de la grasa de la leche y el lactosuero contiene el 7 % restante. Estas definiciones operacionales de eficiencia son resultado del estudio de la composición y propiedades de la leche, por un lado, y por otro de estudios con validez estadística acerca de lo que es logvable en la industria, bajo condiciones óptimas (International Dairy Federation, 1991b).

La calidad sanitaria y microbiológica de la leche es muy importante porque, como veremos más adelante, la falta de calidad en estos aspectos tiene como consecuencia la degradación parcial de grasas y proteínas, que termina manifestándose también como una disminución en el rendimiento de queso.

Los minerales de la leche, principalmente calcio, potasio y fósforo, constituyen, en forma prácticamente constante, muy cerca del 0.9% de la masa de la leche. El porcentaje que se retiene en el queso depende de la acidez o pH durante el proceso de quesería. En quesos elaborados solamente con cuajo, sin el uso de fermentos o cultivos lácticos, a partir de leche fresca, se retiene cerca del 60 % de las sales y minerales. En quesos elaborados con leche ácida, ya sea que se trate de acidez natural o de acidez inducida mediante cultivos o fermentos lácticos, se retiene entre el 40 % y el 50 %.

Finalmente, la leche de vaca contiene en forma casi constante alrededor de 4.7 % de lactosa. Junto con las proteínas no coagulables y los minerales que no se retienen en el queso, casi la totalidad de la lactosa permanece disuelta en el lactosuero.

Todos los componentes de la leche que no se retienen en el queso, forman el lactosuero. Como veremos en la Tabla 3 (página 27), en términos de masa, el lactosuero contiene cerca del 50% de los sólidos de la leche. Contiene cerca del 25% de las proteínas, cerca del 7% de la grasa, cerca

del 95% de la lactosa, dependiendo del contenido de humedad en el queso, y cerca del 50% de los minerales. De ahí la importancia de que las empresas intenten seriamente darle valor agregado al lactosuero. No solamente ya se le pagaron al productor de leche todos estos nutrimentos, sino que el valor biológico o calidad nutrimental de las proteínas del lactosuero es superior al de las proteínas de la leche en su conjunto. Como veremos en detalle más adelante, en términos monetarios, el valor intrínseco de un kilogramo de lactosuero, estimado a partir de su composición, es de cerca del 25% del valor monetario de un kilogramo de leche.

Desde la perspectiva del rendimiento en quesería, el indicador inmediato de baja recuperación es la composición anormal del lactosuero; es decir, un mayor contenido de proteínas y materia grasa de lo que señala el diseño del proceso. El seguimiento cuidadoso, en tiempo real, de la composición del lactosuero es la principal fuente de realimentación para averiguar las causas más probables de las desviaciones en el rendimiento y tomar las medidas pertinentes.

Afortunadamente, las pérdidas de rendimiento por baja eficiencia no son necesariamente definitivas, ya que hay distintos esquemas de recuperación del valor de los sólidos en el lactosuero: centrifugación del lactosuero y procesamiento subsiguiente para recuperar la mayoría de la materia grasa en forma de crema o mantequilla, y uso del lactosuero como materia prima para elaborar otros productos tales como requesón, bebidas refrescantes saborizadas, bebidas nutricionales análogas de leche, quesos tipo *mysost*, quesos análogos procesados, lactosuero en polvo, dulces de leche, bases para helados, etc.

Claramente, es mejor para las empresas no ver estos procesos opcionales estrictamente como una solución al problema de rendimientos sub-óptimos. La competitividad de la industria de quesería reside en optimizar los rendimientos en quesería y, además, en darle el mayor valor agregado posible al lactosuero resultante. Además, es importante considerar que todos estos esquemas requieren, adicionalmente a la operación de quesería, algunas inversiones, capital de trabajo, esfuerzo de diseño y mercadeo, labor de ventas, etc.

1.4 DEFINICIÓN OPERACIONAL DE RENDIMIENTO ÓPTIMO

Para el fabricante de quesos, optimizar el rendimiento no debería significar solamente recuperar la máxima cantidad posible de los componentes de la leche, sino también poner en práctica estrategias eficaces y eficientes para satisfacer sus propósitos, los de sus clientes y los de sus proveedores, principalmente los productores de leche. Dicho de otra forma, la optimización del rendimiento no se debiera considerar como un tópico aislado y eminentemente tecnológico, sino que adquiere su sentido más amplio y profundo cuando se le considera como un asunto interrelacionado integralmente con los atributos de calidad del queso y con la visión de un negocio sustentable a mediano y largo plazo.

De otra manera, la tarea de optimizar el rendimiento podría reducirse simplemente a la búsqueda de esquemas tecnológicos para aumentar la relación humedad/proteína en los quesos. Entonces, optimizar el rendimiento en quesería es un reto que consiste esencialmente en maximizar la cantidad y la calidad, a la vez, como un todo.

Una vez que el lenguaje o voz de los clientes ha sido traducido al lenguaje técnico de la empresa, a través de especificaciones, normas y definiciones operacionales, la tarea principal es que los productos y servicios por lo menos se ajusten a los deseos y expectativas de los clientes. En este sentido, se trata ante todo de reducir la variación; es decir, de mantener una calidad estable.

En toda empresa siempre habrá variación, entre la gente y su forma de trabajar, en las materias primas, en el funcionamiento de los equipos, en el medio ambiente físico y psicológico, en las mediciones de costos, de laboratorio y de rendimientos; en la calidad de los productos y los servicios. Entonces, la pregunta crítica es: ¿Qué nos está tratando de decir la variación acerca de un proceso y de la gente que trabaja en él?

Este es esencialmente un asunto para ser atendido por la gerencia, con la ayuda de los demás. La variación descontrolada y las divergencias con respecto a los valores óptimos - tanto en cantidad como en calidad -

causan grandes pérdidas económicas. Algunas de estas pérdidas se pueden conocer y otras permanecen por siempre sin poder ser conocidas. Para minimizarlas, es indispensable que la gerencia trabaje sobre los procesos, con la ayuda de todos, para mejorarlos; es decir, para reducir y controlar la variabilidad a niveles lo más cerca posible del valor óptimo.

Para tener éxito sostenido con este objetivo, se requiere trabajo simultáneo en tres áreas:

1. Desde el punto de vista de rendimientos vistos exclusivamente como cantidad, se requieren ciertos conocimientos y prácticas especiales de ciencia y tecnología de productos lácteos, para minimizar las pérdidas innecesarias.
2. Desde el punto de vista de rendimientos vistos desde la perspectiva de la uniformidad en los atributos de calidad, se requieren ciertos conocimientos sencillos de teoría estadística y la práctica diaria de algunas herramientas estadísticas sencillas, pero poderosas.
3. Desde el punto de vista de la producción vista desde la perspectiva de cumplimiento con normas sanitarias, con el fin de asegurar que los productos no representen un riesgo contra la salud pública, la mejor estrategia para la empresa es poner en práctica el sistema preventivo conocido como Análisis de Riesgos y Puntos Críticos de Control, o como HACCP, el acrónimo formado por sus siglas en inglés.

El propósito central de este libro es compartir conocimiento conceptual y operacional en las tres áreas. Sin embargo, cabe señalar que el sistema HACCP no es independiente de las estrategias para optimizar rendimientos y para minimizar la variabilidad; muchas de las acciones encaminadas a cumplir con estos dos propósitos contribuyen también a la prevención de riesgos contra la salud pública.

Distintas variedades de quesos tienen distintos diseños que reflejan las expectativas de los clientes en cuanto a composición, funcionalidad, atributos sensoriales y costo. En términos de composición, cada queso tiene un diseño en cuanto a contenidos de humedad, materia grasa,

proteínas y sal añadida, principalmente. El otro atributo importante es la acidez o pH que, junto con la concentración de sal en la humedad del queso, tiene una gran influencia sobre los atributos sensoriales y sobre el potencial de vida de anaquel del queso.

De cualquier manera, una de las premisas fundamentales que se desprenden de lo anterior es que la composición deseada en el queso determina la composición requerida de la leche empleada como materia prima. De ahí que una forma de clasificar los quesos consista en expresar si fueron elaborados a partir de leche entera o completa, de leche semidescremada o de leche descremada. En términos técnicos, lo que se está variando aquí es la relación grasa/proteína en la leche. Entonces, podemos expresar esta premisa de la siguiente manera: *“Para obtener la relación específica grasa/proteína que se desea en el queso, se requiere una relación específica grasa/proteína en la leche”*. Desde el punto de vista tecnológico, esto implica que la empresa deberá contar con los conocimientos y con el equipo e instrumentación para estandarizar la leche al valor deseado de esta relación.

Por otro lado, la composición de la leche estandarizada es solamente una medida del potencial de la leche para producir un cierto rendimiento y composición del queso, bajo un proceso determinado que, estrictamente hablando, comienza en la finca del productor de leche y termina con el consumo del producto por parte de los clientes. En este sentido, optimizar significa poner en práctica procedimientos que minimicen las pérdidas respecto al rendimiento expresado por el potencial de la leche. Esto tiene un impacto económico muy importante para la empresa. En la industria de productos lácteos se sabe bien que pequeñas desviaciones respecto al rendimiento y calidad óptimas pueden llegar a significar, al acumularse en el tiempo, diferencias importantes en la rentabilidad de la operación.

Debido a varias consideraciones, no existe en la industria latinoamericana de quesería una manera única de definir el significado de rendimiento óptimo. Tradicionalmente, en la mayoría de las empresas pequeñas y medianas, el rendimiento se expresa como la cantidad de queso, en kilogramos, que se obtiene a partir de una cierta cantidad de leche, en litros, y en algunos países el rendimiento se expresa a la inversa; es decir,

como la cantidad de litros de leche que se requiere para producir un kilogramo de queso.

Si bien estas definiciones son sencillas, tienen la gran desventaja de ser incompletas pues no dicen mucho acerca del potencial de la leche ni de la calidad del queso. Además, al referirse a la leche en volumen (litros), en lugar de hacerlo en masa (kilogramos), no toman en cuenta que la leche se expande o se contrae al aumentar o disminuir la temperatura; es decir, que su densidad cambia con la temperatura. Estas definiciones tradicionales son un obstáculo para optimizar el proceso, pues no nos permiten saber con certeza *por qué* estamos obteniendo un cierto rendimiento. Saber *por qué* es esencial para poder intervenir en el proceso con eficacia, para mejorarlo.

Por lo anterior, una mejor definición es aquella que expresa el rendimiento en función del potencial de la leche y de la composición deseada en el queso, con todos los términos en unidades de masa, por ejemplo kilogramos o toneladas métricas. Si reflexionamos, realmente no tiene mucho sentido mezclar unidades de masa con unidades de volumen, pues la fabricación de queso es esencialmente una operación de concentración de los *sólidos* presentes en la leche.

Entonces, en la práctica, optimizar rendimientos significa disminuir las desviaciones entre la cantidad y la composición del queso obtenido y la cantidad y composición que se deberían obtener según el potencial de la leche y los deseos de los clientes. La diferencia entre ambos conjuntos de datos es una medida de la eficiencia de los procesos de quesería en la empresa. Pero eso no es todo; optimizar significa además darle al lactosuero el mayor valor agregado posible, idealmente usándolo totalmente como base para la elaboración de alimentos para el consumo humano.

Capítulo 2. LA ESTRUCTURA BÁSICA DE UN QUESO BLANCO LATINOAMERICANO

2.1 INTRODUCCIÓN

La estructura final de un queso blanco pasteurizado, tal vez el queso más común en América Latina, consiste básicamente de una fase discreta o discontinua de materia grasa dentro de una matriz continua de proteína altamente hidratada. Puesto que generalmente no se usan fermentos lácticos para fabricar este tipo de queso, su pH es más bien alto, entre 6.2 y 6.5, ligeramente inferior al de la leche. Además, se trata generalmente de quesos de muy alto contenido de humedad (50 % - 56 %) y por estas dos razones son productos altamente perecederos cuya fabricación apropiada requiere estrictamente de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) e idealmente de HACCP. En varios países, estos quesos tienen un alto contenido de sal, entre 3 % y 5 %, pero esto no es suficiente para aumentar significativamente su intrínseca corta vida de anaquel.

Como en el caso de cualquier otro queso (Lawrence et al., 1983), solamente las proteínas están involucradas en la formación de la estructura *básica* del queso blanco. De hecho, cualquier modificación en la naturaleza o en la cantidad de proteína en un queso modificará su estructura (Adda et al., 1982). Por ejemplo, la firmeza de un queso aumenta en proporción a la relación proteína/agua y el pH determina qué tan elástica o quebradiza es la textura del queso. Algunas propiedades importantes desde el punto de vista tecnológico, tales como la capacidad de retención de agua y de grasa, dependen de las condiciones en las que se forma la cuajada y son a final de cuentas un reflejo de variaciones estructurales (Green, 1980). En otras palabras, la premisa aquí es que la estructura determina las propiedades funcionales aunque, desde luego, la conexión es frecuentemente compleja y no siempre clara.

Por otro lado, el coágulo producido por la acción del cuajo es una entidad dinámica, que en términos estrictos nunca alcanza un estado final de equilibrio. El proceso mediante el cual la cuajada va adquiriendo firmeza involucra la formación de entrecruzamientos entre las micelas de caseína,

dando lugar a una red cada vez más reticulada y fuerte, lo que hace que el gel protéico se encoja gradualmente, expulsando lactosuero y atrapando y distorsionando los glóbulos de grasa. La manipulación de todas estas condiciones por parte del quesero es lo que da lugar a la gran variedad de quesos.

Partiendo de la premisa de que estos atributos o propiedades funcionales son en última instancia un reflejo de la estructura del queso, el enfoque en esta sección está dirigido hacia la descripción de los mecanismos fundamentales de formación de la estructura básica de los quesos en general, pero excluyendo todos aquellos aspectos que tengan que ver con el uso de fermentos lácticos y, por consiguiente, con la modificación de la estructura básica mediante maduración o añejamiento.

El principal razonamiento detrás de este enfoque es que, de cualquier manera, prácticamente todos los quesos comparten estos mecanismos fundamentales y que la gran variedad de quesos es producto de la manipulación, por parte del quesero, de dicho complejo conjunto de mecanismos. Por otro lado, como se mencionó arriba, los quesos blancos latinoamericanos se elaboran generalmente sin usar fermentos o cultivos lácticos.

Finalmente, se trata de hacer explícitos conocimientos con alto potencial para innovar y esto necesariamente requiere de experimentación. Desde ese punto de vista, la información en este libro se puede considerar como un portafolio de opciones que vale la pena explorar en la práctica, para validarlas, modificarlas o desecharlas por otras mejores con mayor conocimiento de causa.

Tomando en consideración todo lo anterior, el énfasis de las recomendaciones está puesto en opciones tecnológicas para manipular y optimizar las interacciones entre las proteínas de la leche y el agua, ya que las características físicas de un queso están determinadas, ante todo, por la estructura y el arreglo de las proteínas hidratadas en el gel que resulta de la coagulación de las proteínas mediante la acción del cuajo.

Desde luego, aunque con menor énfasis, también se incluyen opciones para optimizar las interrelaciones con la materia grasa, ya que dentro del propósito de optimización de rendimiento también se busca que el gel tenga una amplia capacidad de retener materia grasa.

La distribución de los componentes sólidos de la leche entre el queso y el lactosuero depende principalmente de tres factores: la composición de la leche, la composición deseada en el queso y la eficiencia de la transferencia de dichos componentes. La Tabla 3 muestra dicha distribución para el caso de un queso blanco típico latinoamericano.

Como podemos apreciar en dicha Tabla, los nutrientes de la leche se distribuyen casi por igual entre el queso y el lactosuero, en términos globales de masa o peso. Esta es una de las razones fundamentales por las que es importante darle un uso con valor agregado al lactosuero, idealmente para consumo humano.

TABLA 3

DISTRIBUCIÓN DE LOS SÓLIDOS DE 100 KG DE LECHE ENTRE EL QUESO BLANCO Y EL LACTOSUERO

	LECHE	QUESO BLANCO	LACTOSUERO
Proteínas	3.1 kg	2.3 kg	0.8 kg
Grasa	3.4 kg	3.1 kg	0.3 kg
Lactosa	4.7 kg	0.2 kg	4.5 kg
Minerales	0.9 kg	0.5 kg	0.4 kg
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	12.1 kg	6.1 kg	6.0 kg
	(100%)	(~50 %)	(~50%)

2.2 FORMACIÓN DE LA ESTRUCTURA BÁSICA

El paso inicial en la fabricación de la mayoría de los quesos es la gelación o coagulación de la caseína, inducida mediante la acción combinada de enzimas proteolíticas (cuajos de distintos tipos) y calcio. Este proceso se divide usualmente en dos fases: la fase primaria o enzimática y la fase secundaria o de agregación, aunque algunos autores incluyen como fase terciaria a la sinéresis o expulsión de lactosuero y al rearrreglo estructural de la red protéica.

La primera fase consiste de una reacción altamente específica entre el cuajo y la κ -caseína que se encuentra principalmente en la superficie de las micelas de caseína. Hay un corte proteolítico en el enlace $\text{Fe}_{105}\text{-Met}_{106}$ de la κ -caseína, que genera dos péptidos con propiedades muy distintas. El glicomacropéptido formado por la cadena entre los residuos de aminoácidos 106 a 169 es hidrofílico y soluble. Este fragmento, que representa cerca del 4% de la caseína total (Callanan, 1991), pasa a formar parte del lactosuero y por tanto no contribuye al rendimiento. El otro fragmento, formado por la cadena entre los componentes 1 a 105, se denomina para- κ -caseína, es altamente hidrofóbico y permanece enlazado a las micelas.

El efecto inicial de esta reacción es una reducción drástica en la carga eléctrica negativa de la superficie de las micelas, que permite el acercamiento entre sí de las micelas modificadas y facilita así la segunda fase de agregación de las micelas para formar un gel, en la que el calcio (Ca^{++}) juega un papel importante como acelerador del proceso.

De ahí en adelante, la fabricación de queso se puede considerar básicamente como la eliminación de agua, o concentración de sólidos, a partir del gel o coágulo formado mediante la acción del cuajo. En este proceso de deshidratación, la caseína y la materia grasa de la leche se concentran por un factor cercano a 8 - 10 veces, dependiendo del contenido de humedad en el queso.

En la leche, las micelas de caseína contienen cerca de 2 gramos de agua por gramo de caseína. El grado al que se retiene la estructura de las

micelas de caseína en su forma original depende en gran medida de la pérdida de fosfato de calcio y esta pérdida, a su vez, depende del pH en el momento en el que se retira el lactosuero de la cuajada. Por eso, tratándose de quesos en general y ciertamente de quesos madurados, una de las maneras más importantes para eliminar el agua consiste en disminuir el pH de la cuajada (Lawrence et al., 1983). La Figura 1 muestra la relación entre el pH hasta el momento del desuerado y la estructura básica de un queso.

En el caso de muchos quesos blancos latinoamericanos, no se usan fermentos o cultivos lácticos y el queso tiene un pH muy similar al de la leche. En dicho caso, la eliminación y control de la humedad se realizan principalmente mediante el tamaño y uniformidad del corte de la cuajada, la agitación y el calentamiento gradual de la mezcla de cuajada y lactosuero.

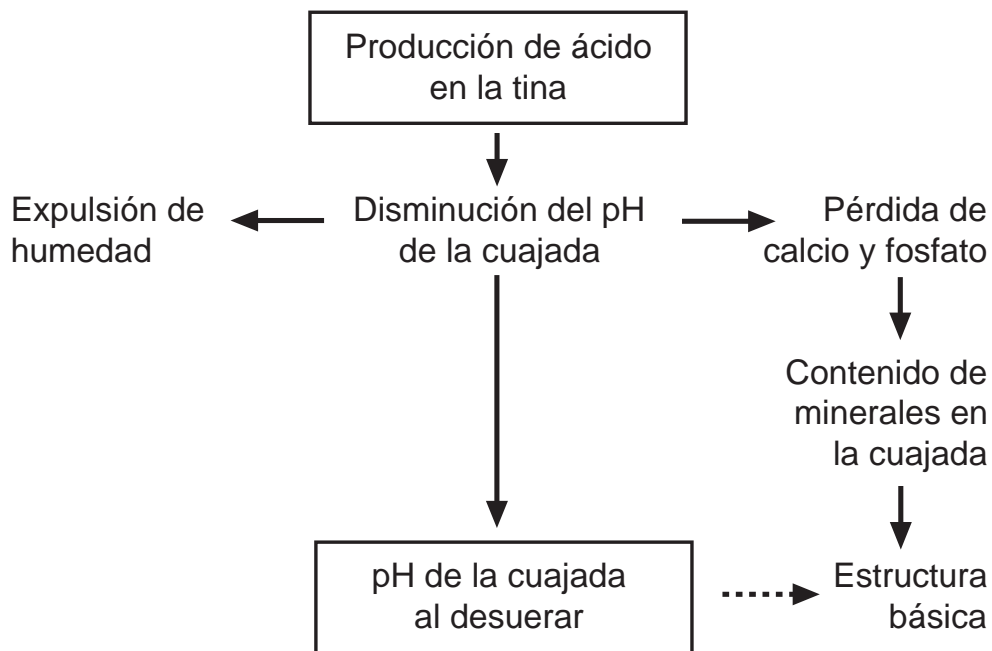


FIGURA 1. La relación entre el grado de producción de acidez hasta la etapa de desuerado y la estructura básica del queso. (Lawrence et al., 1983).

La relación que se muestra en la Figura 1 ha sido corroborada en la práctica. Por ejemplo, la unidad estructural en la matriz protéica de queso Blanco, Suizo o Gouda (en los que hay poco desarrollo de acidez) tiene la misma forma globular y dimensión que las de las sub-micelas originales en la leche, mientras que en los quesos Cheddar y Cheshire (en los que la producción de acidez es mayor), los agregados protéicos son de mucho menor tamaño y han adaptado la forma de tiras o cadenas (Lawrence et al., 1983). En otras palabras, a medida que baja el pH y se disuelve el fosfato de calcio coloidal, las micelas van perdiendo su identidad original y dan lugar a estructuras diferentes.

La firmeza de la red protéica depende también de factores tales como el contenido de agua, el contenido de grasa y el contenido de minerales. Un contenido alto de humedad o grasa debilita la firmeza de la estructura dado que, necesariamente, las proteínas deben estar más alejadas entre sí.

El calcio y el fosfato afectan casi todos los aspectos de la fabricación de queso. La concentración de Ca y PO_4 en la leche es de cerca de 117 y 203 mg/100g, de los cuales aproximadamente 68 y 46%, respectivamente, están en forma insoluble a pH 6.6. Este calcio y fosfato enlazados se transfieren a la cuajada pero se disuelven gradualmente a medida que baja el pH; por ejemplo, a pH 5.3, que es muy similar al pH de quesos tales como Cheddar, Chihuahua (queso mexicano similar al Monterey Jack estadounidense), Mozzarella y Oaxaca (queso mexicano de la familia de los quesos de pasta hilada) al final de su fabricación, prácticamente todo el fosfato de la leche está solubilizado, mientras que cerca del 14% del calcio sigue presente dentro de las micelas de caseína (Lucey y Fox, 1993).

Más allá de los cambios estructurales, el contenido final de calcio y fosfato en un queso contribuye significativamente al rendimiento. Por ejemplo, estos minerales representan cerca del 1.6 % de la masa del queso Cheddar y cerca del 1.9 % de la masa del queso Gouda (Emmons et al., 1991). Si se eliminaran, el rendimiento (calculado a humedad constante) disminuiría cerca de 2.9 y 3.2 %, respectivamente. Los quesos blancos elaborados sin fermentos ni acidificación de otro tipo (a pH alrededor de 6.2 - 6.5) retienen entonces mayor proporción de estos minerales que un

queso Gouda y, en el otro extremo, quesos altamente ácidos como el Cottage y el Quarg retienen menor proporción que un queso Cheddar.

La adición de Ca^{++} en forma de cloruro de calcio aumenta ligeramente la firmeza mecánica de la cuajada, siempre y cuando la concentración no sea mayor de 10mM, equivalente a 40 g de calcio/100 l de leche (Lucey y Fox, 1993). En ausencia de tratamientos térmicos especiales, lo usual es añadirle a la leche 20 g de *cloruro* de calcio/100 l, que equivale a cerca de 7 g de calcio/100 l. Por otro lado, la acidificación de la leche aumenta la actividad de los iones Ca^{++} , disminuyendo el tiempo de coagulación y aumentando también la firmeza mecánica de la cuajada (Lucey y Fox, 1993).

La materia grasa es el componente más importante, después de las caseínas, para la formación de estructura y para el rendimiento en quesería.

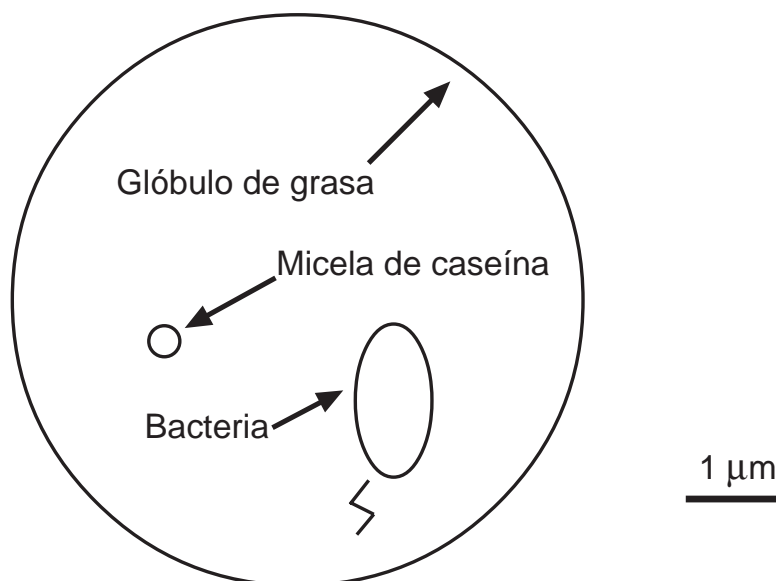


FIGURA 2. Diagrama esquemático de los tamaños relativos de un glóbulo de grasa, una bacteria y una micela de caseína. (1 μm = 0.001 mm, 1 nm = 0.001 μm)

En la leche entera, la grasa está presente en la forma de glóbulos de grasa rodeados por una membrana cuyos constituyentes principales son fosfolípidos y proteínas. El diámetro de estos glóbulos varía entre 0.1 μm y 10 μm (Evans, 1986) y el promedio está dentro del rango entre 3 y 4 μm (Bylund, 1995). La Figura 2 muestra un diagrama esquemático de un glóbulo de grasa de leche de vaca recién ordeñada. Se ilustra también, para fines de comparación, el tamaño del glóbulo de grasa (3 - 4 μm) en relación con el tamaño de una micela de caseína (20 - 600 nm) y de una bacteria (1 μm).

Generalmente no es usual homogenizar la leche para quesería, aunque algunos industriales lo hacen. La homogenización de la leche causa una reducción en el tamaño de los glóbulos de grasa y por consiguiente un aumento en el área superficial de la materia grasa, lo que altera a la membrana original puesto que la concentración de este complejo es ahora insuficiente para cubrir toda la superficie resultante de la homogenización. Las nuevas membranas consisten de material de las membranas originales, más proteínas adsorbidas provenientes de la fase acuosa de la leche.

Cuando se homogeniza la leche, las micelas de caseína se adsorben rápidamente para cubrir los glóbulos de grasa recién formados. Esto se puede deber a las propiedades tensoactivas de las caseínas, que tienen un grado considerable de hidrofobicidad. Los glóbulos de grasa en la leche homogenizada contienen suficiente caseína adsorbida como para que su densidad aumente, lo que es un mecanismo de estabilización contra la separación de crema (Morr, 1975) y constituye la razón por la cuál se homogeniza la leche para consumo como tal.

Como indican Aguilera y Kessler (1989), los glóbulos de grasa se pueden comportar como núcleos de copolimerización que refuerzan el gel de caseína. La grasa recubierta de proteína puede enlazar cantidades adicionales de proteína y ayudar así a la formación del gel reforzado. Sin embargo, un factor crítico en este proceso es la presión de homogenización de la grasa, que debe resultar en glóbulos pequeños recubiertos de proteína. *Partículas grandes de grasa pueden lograr el efecto contrario; es decir, interferir con la formación de la matriz protéica.*

Cano-Ruiz y Richter (1997) publicaron algunos efectos de estas variables en el tamaño de los glóbulos de grasa, en la adsorción de proteína por unidad de área superficial de grasa y en la composición de la proteína adsorbida. Como era de esperarse, encontraron que al aumentar la presión de homogenización (30, 60 y 90 MPa, equivalente a 5000, 8702 y 13054 lbs/pulg²), disminuyó el diámetro promedio de los glóbulos de grasa y aumentó la “carga protéica” Γ (mg de proteína por metro cuadrado de área superficial de materia grasa).

El ligero aumento de rendimiento al homogenizar la leche no significa necesariamente que se obtiene un queso de buena calidad. Dependiendo del tipo de queso, la homogenización de la materia grasa puede o no ser benéfica. La hipótesis es que puede ser benéfico aumentar la presión de homogenización, debido al aumento en el área superficial de la grasa, que permite la adsorción de mayor cantidad de proteína. Sin embargo, una presión excesiva puede ser contraproducente, por lo que esto debe de cuantificarse y de evaluarse en un contexto más grande que incluya otros atributos importantes, tales como la textura del queso resultante.

A la luz del propósito de este libro, que es sugerir opciones tecnológicas para maximizar el rendimiento de queso, todas las variables son importantes: pH de la leche, composición de la leche (concentración de sólidos, concentración de proteínas, relación grasa/proteína), tratamiento térmico, cantidad de cloruro de calcio añadido, tiempo de coagulación, condiciones de corte de la cuajada, agitación y calentamiento de la mezcla de cuajada y lactosuero, salazón y prensado del queso. Ninguna de estas variables es independiente y las interacciones no son lineales ni exactamente predecibles, por lo que el camino hacia la optimización es necesariamente un proceso iterativo de aprendizaje.

El aprendizaje es más eficiente si se estudian simultáneamente los efectos de varios factores. Estudiar un factor a la vez no nos permite aprender acerca de las interacciones entre los factores y, por otro lado, si quisiéramos explorar todo el campo de posibilidades en un sólo protocolo de experimentación, el experimento sería extraordinariamente complejo tanto desde el punto de vista del número de lotes de queso a fabricar como desde el punto de vista de la interpretación de las interacciones.

Entonces, al estudiar los efectos de los factores más importantes, lo más conveniente es fijar algunos de los factores de menor impacto y explorar los efectos e interacciones de los *principales* factores; es decir, los de mayor efecto esperado. Decidir cuáles factores son más importante que otros es un juicio de valor basado en la experiencia, por lo que uno debe siempre estar dispuesto a cambiar las hipótesis a medida que se tiene más información del comportamiento del sistema bajo estudio. No se trata, sin embargo, de encontrar la solución en el primer diseño experimental, sino de aprender más cotejando los datos con las teorías o hipótesis y modificando estas últimas para que representen mejor la realidad observada.

Desde luego, hay que considerar los efectos cuya existencia se conoce de antemano. Por ejemplo, fijar la cantidad de cloruro de calcio *no* significa que el efecto del ión Ca^{++} va a ser el mismo en todas las corridas experimentales, puesto que en ellas generalmente estarán variando el pH y los tratamientos térmicos. Sin embargo, se sabe que el ión Ca^{++} imparte firmeza a la cuajada, y que el límite superior para su uso en la práctica está más bien dado por las propiedades sensoriales del queso y del lactosuero.

Tan importante como lo anterior, se debe *decidir de antemano* cuáles son las variables de respuesta importantes (rendimiento, contenido de humedad, propensión al desuerado, composición del lactosuero, propiedades sensoriales del queso, etc.), así como los métodos que se emplearán para asignarle un valor, preferentemente numérico, a cada una de estas variables.

Se recomienda que el número de variables de respuesta, con las que se van a evaluar los resultados, sea razonablemente pequeño, lo mínimo que le permita a la empresa llegar a una conclusión razonable. Para hacer el trabajo más eficaz, es altamente recomendable involucrar desde el principio a personal de varias áreas de la empresa (tecnología, investigación y desarrollo, ventas, mercadeo).

Los métodos estadísticos para calcular los efectos principales y los efectos de las interacciones entre los factores, sobre cada una de las variables de respuesta, son muy útiles, razonablemente sencillos y se pueden

consultar en textos sobre diseño experimental, tales como el de Box et al. (1978) o el de Moen et al. (1991).

2.3 RETENCIÓN Y CONTROL DE LA HUMEDAD

Nuestro conocimiento acerca de la manera detallada en la que un queso retiene humedad es fragmentario e incompleto. En realidad, lo único que se sabe con certeza es que no toda el agua está en el mismo estado fisicoquímico (Geurts et al., 1974). Las interacciones del agua en el queso son ante todo interacciones con las caseínas, puesto que el otro único componente importante en términos de cantidad, la grasa, es altamente hidrofóbico.

El agua en el queso puede estar contenida en capilares, retenida mecánicamente y disponible como solvente, o puede estar “atrapada” o “enlazada” en partículas de proteínas, en cuyo caso no está disponible como solvente.

A medida que la insolubilidad de una proteína aumenta, las interacciones agua-proteína se vuelven cada vez más importantes. Si las proteínas son solubles, no enlazan agua con tanta facilidad. Por ejemplo, las proteínas lactoséricas son solubles y no enlazan agua a menos que estén desnaturalizadas (Kilara, 1994).

En la fabricación de requesón, como en otras aplicaciones industriales, la desnaturalización de las proteínas lactoséricas es indispensable y se logra no sólo mediante tratamientos térmicos, sino además mediante cambios de pH y de concentración de algunos iones, generalmente calcio, en forma simultánea, lo que contribuye a la complejidad en la interpretación de los efectos.

Tratándose de interacciones con el agua, el concepto más importante se denomina “actividad de agua”, definido como la relación entre la presión de vapor del agua en un alimento (p) y la presión de vapor de agua pura (p_0) a la misma temperatura:

$$\text{Actividad de agua} = a_w = p/p_0$$

Los valores posibles de a_w están entre 0 y 1, pero el metabolismo microbiano está restringido al rango entre ~ 0.60 y 0.999 (Marcos, 1993). Las bacterias patógenas y otros microorganismos asociados con el deterioro de los quesos crecen de manera óptima a valores de a_w entre 0.980 y 0.995, por lo que el valor mínimo de a_w para el crecimiento microbiano y la producción de toxinas está considerado, después de la temperatura, como el factor más importante en tecnología de conservación de alimentos y en sistemas para la protección de la salud pública.

El término “actividad de agua” o a_w se aplica, estrictamente hablando, solamente a condiciones de equilibrio, de manera que este concepto se debe usar con cautela al tratarse de quesos, que son sistemas dinámicos. En este sentido, es importante considerar cuáles son los mecanismos más importantes que causan que disminuya la presión de vapor de agua en sistemas estáticos (Marcos, 1993):

- a) Interacciones entre el agua disponible como solvente, iones y solutos de bajo peso molecular.
- b) Interacciones entre agua y macromoléculas polares (proteínas y polisacáridos) mediante las cuales las moléculas de agua se asocian fuertemente a sitios activos tales como grupos polares y grupos ionizados.
- c) En sistemas porosos - como un queso - la depresión de la actividad de agua puede deberse principalmente a la condensación capilar.

Los quesos no son sistemas estáticos ya que la cantidad de agua disponible como solvente que contienen está evaporándose continuamente, así sea con lentitud, y en el caso de quesos madurados los procesos bioquímicos asociados con la maduración forman solutos nuevos de peso molecular cada vez menor. Estos dos efectos dinámicos, pérdida de humedad y formación de solutos, aumentan las interacciones entre el agua y los solutos y, de esta manera, a medida que se pierde agua, disminuye la relación entre el contenido de agua y el de sólidos no solubles, promoviendo así interacciones agua-caseína que, a su vez,

disminuyen la relación entre agua libre y agua “enlazada” no disponible; es decir, que hacen que disminuya la actividad de agua. El segundo efecto, la formación de solutos de bajo peso molecular, es pequeño en quesos frescos como el queso blanco pasteurizado.

Un queso blanco recién elaborado se puede considerar, de manera sobresimplificada, como un sistema que consiste de una matriz estructural protéica a base de caseínas, parcialmente llena de grasas hidrofóbicas y parcialmente llena de lactosuero, el cuál a su vez contiene solutos disueltos de bajo peso molecular, tales como sal y lactosa. Una porción del agua, menor del 10 %, está enlazada a la paracaseína como agua no disponible como solvente, mientras que el resto, la fase de agua libre atrapada físicamente dentro de la matriz porosa, conserva su capacidad como solvente pero tiene una actividad de agua menor de 1, debido precisamente a la presencia de la sal añadida durante la salazón, de otras sales y de lactosa residual.

En términos generales, un queso típico europeo con contenido de humedad menor de 45 %, salado, recién elaborado, retiene cerca de 1.4 gramos de agua/gramo de proteína a valores de actividad de agua típicos de cerca de 0.96 (Geurts et al., 1974). Uno de los problemas de los quesos blancos pasteurizados latinoamericanos es justamente su alto contenido de humedad, entre 50 % y 56 %, que hace que la actividad de agua sea mucho mayor, entre 0.97 y 0.99, a pesar de que su contenido de sal es también más alto. Estos elevados valores de a_w son característicos de los quesos frescos en general (Rüegg, 1985; Marcos, 1993) y permiten el crecimiento de todas las bacterias, mohos y levaduras asociadas con el deterioro microbiológico de estos productos.

Desde luego, el valor de a_w debido al estado fisicoquímico del agua en el queso no es el único factor que actúa como “valla” u “obstáculo” contra el crecimiento microbiano en el queso. Los otros obstáculos principales son el pH y el contenido de sal *en la humedad* del queso. De hecho, la sal y la acidez bajan moderadamente la actividad de agua. De cualquier forma, la vida de anaquel de un queso depende en gran medida de la actividad de agua y una de las estrategias fundamentales de la quesería es disminuir su valor durante la fabricación (y la maduración) de los quesos. En el caso

de los quesos blancos pasteurizados latinoamericanos, por ser frescos y de alto contenido de humedad, la refrigeración a temperaturas por debajo de 4 °C es indispensable durante el transporte y almacenamiento.

La actividad de agua de un queso se puede estimar fácilmente a partir de su composición. El siguiente ejemplo ilustra la aplicación de la ecuación propuesta por Esteban y Marcos (1990), para el cálculo del valor de a_w , en un queso blanco pasteurizado con 52 % de humedad y 2.5 % de sal.

$$a_w = 1 - 0.00565 [(g \text{ de sal})/(100 g \text{ de agua en el queso})]$$
$$= 1 - 0.00565 [(2.5)(100)/(52)] = 1 - 0.027 = 0.973$$

Cabezas et al. (1988) propusieron la siguiente ecuación, que se puede usar de rutina en una planta de quesería para estimar el valor de a_w , basada en el punto de congelación de un extracto acuoso del queso, medido por crioscopia bajo condiciones específicas:

$$a_w = 1.0155 + 0.1068 (p.c.)$$

Donde p.c. es el punto de congelación del extracto acuoso, en °C. Los instrumentos necesarios para obtener los datos requeridos por ambas ecuaciones, crioscopio, balanza de humedad y potenciómetro con electrodo específico para cloruros, no son costosos para una empresa mediana y, de hecho, la mayoría de ellas ya cuentan por lo menos con un crioscopio y una balanza de humedad.

El contenido de humedad en el queso es determinante para el valor de la actividad de agua, por lo que es importante conocer con cierto detalle los mecanismos principales de expulsión de agua de la cuajada. Antes del corte, la cuajada tiene la misma composición de la leche y, a partir del corte, comienza la expulsión de líquido. A este proceso se le llama *sinéresis* y su control es, desde luego, un paso esencial en la fabricación de cualquier queso. Sin embargo, como ha señalado Walstra (1993), *es importante recordar que no se trata de expulsión de agua, sino de lactosuero, que es una solución acuosa*. Entonces, al estudiar la sinéresis,

no hay que perder de vista la composición del líquido que está siendo expulsado.

La sinéresis depende de la firmeza del coágulo al momento del corte: si el corte es tardío, la sinéresis puede ser algo menor. También se ha observado que mayor temperatura de coagulación causa una sinéresis ligeramente menor; esto se puede deber a que el corte comienza a una etapa más tardía de la conformación de la cuajada.

La principal causa de la sinéresis es el *rearrreglo* de la *red protéica continua* que forman las micelas de paracaseína. El proceso se inicia cuando, después que la acción del cuajo ha generado la firmeza adecuada en el gel, éste se corta, creando así *superficie libre* a través de la cuál puede ocurrir la expulsión de líquido. Por eso, generalmente el tamaño del corte es proporcional al contenido de humedad deseado en el queso. En la fabricación de la mayoría de los quesos, se agita la mezcla de cuajada y lactosuero y también se aumenta la temperatura. Estas medidas tienen como propósito aumentar la velocidad de la sinéresis. El resultado final de la sinéresis se refleja en el contenido de humedad del queso una vez prensado.

En el caso de cuajadas obtenidas a partir de leche fresca, los poros en el gel de micelas de paracaseína son lo suficientemente grandes (cerca de $4\ \mu\text{m}$) y suficientes en número (cerca de $2 \times 10^{16}/\text{m}^3$) para acomodar los glóbulos de grasa, que tienen un diámetro promedio de alrededor de $3.4\ \mu\text{m}$ (Walstra, 1993). Por supuesto, la distribución de tamaños de poros en el gel está influenciada por la presencia de los glóbulos de grasa, y la mayoría de los glóbulos de grasa quedan atrapados dentro del gel.

Al crearse *superficie libre* mediante el corte de la cuajada en piezas de longitud característica x , el flujo volumétrico Q de lactosuero que sale de la cuajada es proporcional a $1/x^2$, por lo que el corte aumenta exponencialmente la sinéresis y las piezas pequeñas se encogen más que las grandes. Una de las implicaciones es que el corte a tamaños dispares puede causar variación local en el contenido de humedad, y por tanto variación en el contenido de sal en distintas regiones del queso recién elaborado.

La *homogenización* de la leche disminuye significativamente la velocidad de sinéresis. Esto está relacionado con la incorporación de caseína micelar en el recubrimiento superficial de los glóbulos de grasa, que causa que los glóbulos de grasa sean parte de la red de paracaseína, lo cual, a su vez, puede obstaculizar la contracción de la red.

La *actividad del ion Ca^{++}* aumenta la sinéresis, mientras que el fosfato de calcio coloidal disminuye la sinéresis. Por supuesto, la disminución de pH causa disolución del fosfato coloidal y un aumento en la actividad del Ca^{++} . Por eso, si la leche ha sido acidificada antes de cuajarla, la velocidad de sinéresis es mayor (Walstra, 1993).

La *temperatura* tiene un gran efecto sobre la velocidad de sinéresis de la cuajada. Las curvas de porcentaje de lactosuero expulsado vs. temperatura son sigmoideas (Walstra, 1993), lo que significa que hay mayor grado de sinéresis a mayor temperatura pero, a la vez, que la tasa de cambio de la sinéresis disminuye a medida que aumenta la temperatura.

De acuerdo a Walstra (1993), es muy difícil hacer predicciones cuantitativas en cuanto a la velocidad de sinéresis pero, aún así, se puede concluir que las principales variables que afectan la velocidad de sinéresis son las siguientes:

1. Las restricciones geométricas (área superficial de la cuajada, distancia a través de la cuál debe fluir el lactosuero).
2. La presión aplicada a las piezas de cuajada. El efecto relativo es mayor en el rango de menor presión.
3. El pH, en el caso de geles inducidos por cuajo.
4. La temperatura, en el caso de geles inducidos por cuajo. El efecto relativo es mayor en el rango de menor temperatura.

Durante el proceso de sinéresis, la capa externa de los fragmentos de cuajada es la que se contrae más, dado que la expulsión de lactosuero

tiene lugar justamente en la superficie de la cuajada. Por consiguiente, esta capa externa tiene mayor concentración de sólidos y menor permeabilidad al flujo de lactosuero. Entonces, a medida que transcurre la sinéresis, su velocidad es cada vez menor. Este mecanismo puede ser explotado cuando se quiere tener poca sinéresis, ya que cualquier condición que genere sinéresis inicial *muy rápida* también causa la formación rápida de una capa de permeabilidad muy baja, que disminuye considerablemente la sinéresis subsiguiente (Walstra, 1993).

Tomando todo en consideración, podemos concluir que el contenido final de humedad y la actividad de agua en los quesos blancos está determinada primordialmente por las interacciones entre la velocidad y la duración de la sinéresis, el contenido de sal y el pH.

Capítulo 3. FACTORES QUE DISMINUYEN EL RENDIMIENTO Y CÓMO EVITARLOS

3.1 INTRODUCCIÓN

En esta sección se describen los principales diez factores que hacen que no se aproveche en su totalidad el potencial de la leche para la fabricación de queso; es decir, que no se recupere en forma de queso el 75 % de las proteínas ni el 93 % de la materia grasa, y los cuidados que se deben tener para prevenirlos o minimizarlos.

Con demasiada frecuencia no se les presta mucha atención a estos factores porque, vistos por separado, sus efectos sobre el rendimiento son modestos. Irónicamente, otro factor que contribuye a este menosprecio es la obtención de utilidades razonables con procesos ineficientes. Sin embargo, esta situación puede cambiar radicalmente cuando varios de los factores están presentes a la vez. El impacto conjunto no es despreciable; como veremos abajo, se puede perder hasta 20 % o más del queso por desatender estos factores.

Aunque la solución a estos problemas es mayormente de índole técnica, el sistema gerencial juega un papel importante. En este sentido, pensar y actuar en términos de ganar-ganar en las relaciones con los productores de leche, tener sistemas de mantenimiento preventivo y valorar la capacitación del personal son algunas de las estrategias gerenciales de alto apalancamiento para la optimización de los rendimientos.

Otra reflexión importante tiene que ver con el reconocimiento de que la labor de optimización no es asunto exclusivo de la empresa fabricante de quesos, sino que comienza en el establo del productor de leche y continúa fuera de la fábrica, durante el transporte y comercialización de los productos terminados.

Atender con eficacia los factores que se describen enseguida es una labor que requiere constancia de propósitos y visión a largo plazo. Ciertamente

es una tarea difícil y ardua, por lo que el compromiso de la alta gerencia es esencial para el éxito.

3.2 ATENCIÓN EN LA FINCA Y EN LA PLANTA INDUSTRIAL

1. Mastitis. Si la leche tiene conteo de células somáticas del orden de 400,000/ml o mayor, la recuperación de proteína y de grasa disminuye en forma creciente. En otras palabras, si las vacas padecen de mastitis clínica, o aún subclínica, es posible que sólo se recupere menos del 73 % de las proteínas y menos del 92 % de la materia grasa. En el caso de mastitis subclínica, la infección disminuye los contenidos de caseína, grasa y lactosa, y aumenta el contenido de proteínas lactoséricas y el pH (Lawrence, 1991b).

2. Tiempo largo a temperatura ambiente. Si el enfriamiento de la leche en la finca es lento o inexistente, y el transporte de la leche a la planta procesadora es lento y tardado, la población microbiana aumenta aceleradamente después de una cuantas horas, luego que cesa la actividad protectora del sistema de la enzima lacto-peroxidasa naturalmente presente en la leche.

3. Tiempo largo de almacenamiento de la leche fría. Si el enfriamiento de la leche en la finca es lento y luego ésta se almacena fría en un silo durante más de tres días, a temperaturas entre 3 °C y 7 °C, aumentan significativamente las cuentas microbianas, particularmente de bacterias que crecen a bajas temperaturas (Lawrence, 1991a), tales como las de la especie *Pseudomonas* y, como consecuencia, aumentan la concentración de enzimas extracelulares proteolíticas y lipolíticas, el contenido de nitrógeno soluble y la concentración de ácidos grasos libres.

De esta manera, el daño enzimático causado por enzimas de origen bacteriano puede agravar las pérdidas causadas por la mastitis. El efecto final es que disminuye la cantidad de proteína y grasa que se puede recuperar en forma de queso.

Como ejemplo de los dos puntos anteriores, las Tablas 4 y 5 muestran los porcentajes de recuperación de proteína y materia grasa en la fabricación de queso Cheddar, como función del conteo de células somáticas y del tiempo de almacenamiento de la leche fluida fría.

TABLA 4

RECUPERACIÓN DE PROTEÍNA EN LA FABRICACIÓN DE QUESO CHEDDAR, COMO FUNCIÓN DEL CONTEO DE CÉLULAS SOMÁTICAS Y DEL TIEMPO DE REFRIGERACIÓN DE LA LECHE CRUDA*

Conteo de células somáticas (células / ml)	Recuperación de proteína (leche refrigerada un día)	Recuperación de proteína (leche refrigerada 5 días)
55,000	74.7 %	74.2 %
408,000	73.0 %	72.2 %
814,000	73.0 %	72.3 %

* Adaptada de Barbano (1993)

TABLA 5

RECUPERACIÓN DE MATERIA GRASA EN LA FABRICACIÓN DE QUESO CHEDDAR, COMO FUNCIÓN DEL CONTEO DE CÉLULAS SOMÁTICAS Y DEL TIEMPO DE REFRIGERACIÓN DE LA LECHE CRUDA*

Conteo de células somáticas (células / ml)	Recuperación de grasa (leche refrigerada un día)	Recuperación de grasa (leche refrigerada 5 días)
55,000	92.5 %	91.9 %
408,000	92.1 %	91.1 %
814,000	91.9 %	91.1 %

* Adaptada de Barbano (1993)

La Tabla 6 muestra el efecto de las condiciones descritas en las dos Tablas anteriores sobre los rendimientos en la fabricación de queso Cheddar y sobre la eficiencia del proceso de quesería. Para fines de poder hacer las comparaciones, en la Tabla 6 los rendimientos fueron ajustados a un contenido constante de humedad en los quesos.

Como se puede apreciar, la combinación de enfriamiento prolongado y cuentas somáticas del orden de un millón/ml puede hacer que disminuya el rendimiento de queso hasta en 4 %. Estas cifras no son inusuales en la leche cruda utilizada por la mayoría de las empresas queseras pequeñas y medianas latinoamericanas.

TABLA 6
RENDIMIENTO DE QUESO CHEDDAR Y EFICIENCIA
EN EL RENDIMIENTO*

Conteo de células somáticas (células / ml)	Rendimientos y eficiencia (leche refrigerada un día)			Rendimientos y eficiencia (leche refrigerada 5 días)		
	Rend. Teórico	Eficiencia		Rend. Teórico	Eficiencia	
55,000	10.2	10.3	99 %	10.2	10.3	99 %
408,000	10.1	10.3	98 %	9.9	10.3	97 %
814,000	10.4	10.6	98 %	10.2	10.6	96 %

* Adaptada de Barbano (1993)

De acuerdo a Barbano (1993) y a Weatherup y Mullan (1993), cuando el conteo de bacterias psicrótróficas llega a niveles entre 100,000/ml y 1,000,000/ml, el rendimiento en quesería disminuye cerca de 5% respecto a lo que se tendría con leche en la que el conteo de células somáticas es menor de 100,000/ml y el conteo de bacterias viables totales está entre 100,000 UFC/ml y 1,000,000 UFC/ml. Es decir, existe una correlación entre estos dos conteos indicadores. Weatherup y Mullan (1993) concluyeron que la leche para quesería debería tener una cuenta de

bacterias viables totales de menos de 1×10^6 UFC/ml , preferentemente de no más de 1×10^5 UFC/ml.

Según Barbano, profesor e investigador en la Universidad de Cornell y Director del Centro de Investigación sobre Productos Lácteos del Noreste de EUA, en la leche de vacas que padecen mastitis, las enzimas proteolíticas dañan a la caseína y, además, los glóbulos de grasa se vuelven más susceptibles a la lipólisis. La mayor parte del daño enzimático ocurre dentro de la ubre, antes del ordeño, por lo que es importante que la mastitis sea un factor en los esquemas de compraventa de leche. Entonces, al aumentar la concentración de células somáticas, aumentan las pérdidas de proteína y de materia grasa, que se pierden en el lactosuero. El conteo de células somáticas es un excelente indicador del estado de salud de las vacas.

4. Exceso de agitación y bombeo de la leche. Estos factores, además de acelerar la oxidación (rancidez) de la leche, promueven fuertemente la separación de la grasa de la leche. La gran mayoría de esta grasa separada pasará al lactosuero, en lugar de contribuir al rendimiento del queso. Este solo factor puede hacer que la recuperación de grasa sea menor del 90 %. Siempre se debe buscar la forma de que la leche sufra la mínima agitación mecánica, desde el ordeño hasta la coagulación en la tina de quesería.

5. No añadir cloruro de calcio a la leche para quesería. El cloruro de calcio tiene como función darle mayor firmeza mecánica a la cuajada. Esto es particularmente importante cuando se trata de leche pasteurizada porque, durante la pasteurización, se da un proceso normal de descalcificación parcial de las caseínas.

La cantidad que se debe añadir es no más del 0.02 % en peso, con respecto al peso de la leche. Por ejemplo, para 100 kg de leche, se necesitan $(100 \times 0.02)/100 = 0.02$ kg de cloruro de calcio; o sea, 20 gramos. Si el quesero desea utilizar una preparación comercial de cloruro de calcio, ya disuelto en forma de solución concentrada, debe añadir la cantidad recomendada por el fabricante. Si decide usar cloruro de calcio en polvo, deberá pesar la cantidad correspondiente y disolverla en por lo menos

diez veces mayor cantidad de agua limpia, desde el punto de vista microbiológico (agua purificada). De hecho, siempre es recomendable diluir el cloruro de calcio por un factor de cerca de diez, aunque se trate de una preparación comercial, para facilitar la uniformidad de su concentración en todo el volumen de la leche.

La ausencia de cloruro de calcio hace que muchas veces la cuajada tenga poca firmeza mecánica y, entonces, al cortarla, se generarán cantidades innecesarias de “polvo” o “finos” de cuajada, que se depositan en el fondo de la tina de quesería y se van con el lactosuero, en lugar de contribuir al rendimiento de queso.

6. No diluir apropiadamente el cuajo. El cuajo se debe diluir en aproximadamente 40 veces su volumen, usando siempre agua microbiológicamente limpia, pero nunca agua clorada pues el cloro inactiva al cuajo en cuestión de unos cuantos minutos. La dilución se debe hacer justo antes de añadir el cuajo a la leche.

El propósito de esta dilución es permitir que la concentración de cuajo sea uniforme en todo el volumen de la leche. De otra manera, la cuajada quedará con firmeza desigual en distintas regiones de la tina de quesería y esto también promueve la formación innecesaria de “finos” de cuajada durante el corte, que disminuyen el rendimiento de queso.

7. Corte prematuro de la cuajada. Es importante no cortar la cuajada antes de que tenga su firmeza óptima, por la misma razón que se describe en los dos puntos anteriores (Callanan, 1991). Antes de cortarla, la cuajada debe tener una firmeza óptima, que depende del tipo de queso. Además, la velocidad de corte, el programa de agitación de la cuajada y el programa de calentamiento o cocción, cuando están bien diseñados y se ejecutan de acuerdo a diseño, constituyen la esencia de un buen proceso de quesería, tanto en cuanto a calidad como en cuanto a rendimiento.

El momento óptimo de corte se determina usando una espátula limpia, haciendo un pequeño corte en la cuajada y luego introduciendo con cuidado la espátula por debajo de la zona de corte, procediendo luego a empujar hacia arriba lentamente, observando la apariencia de la cuajada,

que se irá abriendo a medida que es empujada hacia arriba. Si el corte es limpio y la superficie tiene apariencia brillante y el lactosuero que se expulsa de la cuajada en la zona de corte es casi transparente y de color verde-amarillento, se puede proceder a cortar la cuajada.

8. Defectos en el diseño o estado de las liras. Para tener rendimientos razonables de queso, es indispensable *cortar* la cuajada, y nunca romperla. Para cortar una cuajada, se requiere una lira especial, diseñada especialmente para este propósito. La lira debe tener un bastidor que sea rígido pero no demasiado grueso; de otra manera, el arista frontal del bastidor *romperá* la cuajada a medida que la lira avanza a lo largo y ancho de la tina de quesería (en lugar de cortarla) una y otra vez, día tras día, acumulando pérdidas innecesarias de rendimiento y de utilidades.

El bastidor de la lira debe estar fabricado de acero inoxidable especial. Los hilos deben ser de acero inoxidable *especial* para este uso (lo más delgado posible pero con la resistencia mecánica y flexibilidad necesarias para que no se rompa) y deben estar libres de nudos.

Finalmente, las medidas de la lira deben corresponder con precisión a las medidas de la tina de quesería. Lo único recomendable en este caso es *no* intentar fabricar las liras, sino enviarlas a hacer a la medida, a una empresa especializada. De otra manera, una lira defectuosa causará constantemente pérdidas innecesarias de rendimiento. Es importante que los hilos no sean de nylon, de hilo para pescar, de cuerda de guitarra ni de otros materiales que no sean acero inoxidable especial, pues esos materiales son muy difíciles de higienizar y no tienen las propiedades mecánicas óptimas para minimizar la formación de “finos” de queso.

Una lira mal diseñada o en mal estado es, con mucha frecuencia, la principal causa de pérdidas innecesarias de rendimiento. Desde luego, romper la cuajada con cualquier otro instrumento es aún más costoso para el queso pues las pérdidas son altísimas. Sin el uso de liras, es de lo más común encontrar empresas pequeñas en las que la falta de atención a este factor hace que se recupere menos del 60 % de las proteínas y menos del 75 % de la grasa. Esto implica más del 20 % de pérdida innecesaria en la cantidad de queso que se podría y se debería obtener.

Pero, aún usando liras, si están mal diseñadas o en mal estado, es común encontrar empresas en las que se recupera menos del 67 % de las proteínas y menos del 84 % de la grasa. En este caso, se deja de obtener alrededor del 10 % de la cantidad de queso que se podría y debería obtener. En términos de rendimiento, no es inusual que en la práctica industrial estos últimos factores sean una de las principales causas de pérdidas. Bajo condiciones cuidadosas de diseño y operación, las pérdidas por finos no deberían ser mayores del 0.5% de la cantidad de queso.

Para tener una idea clara de lo grave que puede ser esto, basta recordar que las pérdidas innecesarias del orden del 10 % al 20 % son casi iguales o inclusive mayores que el margen de utilidad del quesero, por lo que bajo estas condiciones sólo se podrán tener ingresos de subsistencia, en el mejor de los casos, y nunca se tendrán las utilidades necesarias para reinvertir en mejorar todos los procesos y para elevar el nivel de vida de todos los que dependen del desempeño de la empresa. *Junto con la pasteurización de la leche, contar con liras adecuadas es la inversión más rentable que puede hacer un quesero.*

9. Contenido de humedad en el queso fuera de control. Todo queso tiene un diseño en cuanto a su contenido óptimo de humedad. Ese contenido debe ser el que prefiere el cliente. Entonces, toda desviación respecto a la humedad óptima representa para el quesero un aumento en el costo. Peor aún, el aumento en costo no es directamente proporcional a la desviación, sino que es más que directamente proporcional, es una función cuadrática.

Si el contenido de humedad es menor de lo deseado, el rendimiento será menor y el queso no tendrá las características que el cliente espera. Si el contenido de humedad es mayor de lo deseado, el queso tampoco tendrá las características que el cliente espera y, por otro lado, disminuye la vida de anaquel del queso; es decir, se vuelve más perecedero y esto aumentará la frecuencia de reclamaciones, quejas y devoluciones. En ambos casos, el quesero pierde utilidades.

Como se verá más adelante, el control de la humedad en el queso se logra esencialmente cortando la cuajada en forma de cubos de un cierto tamaño, agitando cuidadosamente la cuajada y, en ciertos casos, combinando lo anterior con calentamiento gradual y lento de la cuajada, hasta que el maestro quesero, con su experiencia, determine mediante examen de la textura que la cuajada tiene la humedad apropiada.

Por otro lado, es imposible no tener variaciones. La clave está en tener la humedad (y el resto del proceso) bajo control estadístico; es decir, con variabilidad controlada. Luego de conseguir tener la variación controlada, se debe trabajar sobre el sistema, para mejorarlo continuamente. El mejoramiento continuo hará que la variación vaya disminuyendo cada vez más. Aquí, es importante recordar que un proceso bajo control estadístico ya tiene la mayor calidad posible y el menor costo posible, a menos que se haga un cambio de fondo en el proceso.

10. Sistemas inadecuados de medición y calibración. Muchas veces, los resultados insatisfactorios no se deben a los factores mencionados arriba o inclusive a pérdidas reales en el rendimiento, sino a equivocaciones originadas por errores en los sistemas de medición y por la falta de calibración de los instrumentos usados en la planta de quesería. Las equivocaciones más comunes son las siguientes:

1. Cuantificar la leche usando unidades de volumen (litros, galones, etc.), en lugar de hacerlo en unidades de masa (kilogramos, libras, etc.). El error se introduce debido a que el volumen de la leche depende de la temperatura y en un proceso de quesería la leche está, en distintos momentos, a temperaturas dentro del rango entre 3°C y 72°C.
2. Hacer análisis o mediciones de laboratorio y de proceso con procedimientos diferentes a los que especifican los métodos oficiales o estandarizados.
3. No calibrar periódicamente los instrumentos de planta y de laboratorio (básculas, balanzas, termómetros, medidores de pH, medidores de flujo etc.). Esto causa errores de precisión y de exactitud.

4. Procedimientos inadecuados de muestreo de leche, queso, lactosuero, etc.

En algunos países, el reto es especialmente complejo debido a la coexistencia de diversos sistemas de unidades de medición: el sistema inglés (libras, galones, pulgadas, grados Fahrenheit, etc.), el sistema métrico (kilogramos, litros, centímetros, grados Celsius, etc.), el sistema colonial español (varas, por ejemplo) y, además, la tradición entre algunos queseros y productores de leche de considerar que un galón contiene 4.0 litros, siendo que contiene 3.875 litros.

Aquí hay una gran oportunidad para el mejoramiento. Es mucho mejor contar con *un* sistema de unidades, aunque, desde luego, es posible convertir unidades de un sistema a otro, siempre y cuando no existan medidas arbitrarias e inexactas, como es el caso mencionado arriba del “galón” de cuatro litros. Esto solamente causa incertidumbre, confusión y equivocaciones que afectan no solamente los cálculos de rendimiento sino los cálculos de las cantidades a añadir de ingredientes tales como cloruro de calcio, cuajo y sal. Esto último genera variación innecesaria en la calidad del queso y en los cálculos de costos.

Este libro está escrito usando el sistema métrico porque es el que prevalece en el mundo y es el sistema al que tienden los países que aún usan otros sistemas de medidas. Por otro lado, siendo decimal, es mucho más sencillo de usar e interpretar que los otros sistemas.

3.3 LA IMPORTANCIA DE LA PASTEURIZACIÓN DE LA LECHE

Hay un principio fundamental en la industria alimentaria y éste es que tiene como responsabilidad mínima ante la sociedad que los alimentos no representen un riesgo para la salud del público consumidor. En el caso de la industria de la leche y los productos lácteos, éste se logra mediante un tratamiento térmico específico llamado pasteurización, en honor de Louis Pasteur, el gran científico francés que sentó algunas de las bases más importantes en el campo de la microbiología industrial.

La pasteurización es un tratamiento diseñado para eliminar todos los microorganismos patógenos, que bajo ciertas circunstancias pueden proliferar rápidamente en la leche y en el queso y causar enfermedades o, inclusive, en casos extremos, la muerte. Esto último es más probable cuando se trata de niños, ancianos o personas que por otras causas tengan debilitado su sistema inmunológico.

En las condiciones típicas en que se ordeña y se transporta la leche en muchos países latinoamericanos, para cuando ésta llega a la planta quesera, puede ya contener varios millones de bacterias por cada centímetro cúbico. No hay manera de saber de antemano cuáles son estas bacterias pues en el medio ambiente siempre están presentes bacterias de muchos tipos y es normal que algunas de ellas sean patógenas. Por consiguiente, lo único sensato es eliminarlas, además de que muchas de estas bacterias producen enzimas que degradan parcialmente las proteínas y la grasa de la leche, causando así disminuciones innecesarias en el rendimiento del queso.

Las autoridades sanitarias de la mayoría de los países han reconocido la importancia de este asunto y han hecho de la pasteurización una obligación legal, cuyo incumplimiento es severamente penalizado. Sin embargo, más allá de los aspectos regulatorios, es esencial adquirir conciencia de que hay un contrasentido fundamental en la noción de cobrarle dinero a una persona por adquirir y consumir alimentos que pueden enfermarla.

Hay dos métodos para pasteurizar la leche. El primero consiste en calentar la leche a 65°C, durante 25 a 30 minutos y el otro en calentarla durante 15 a 17 segundos, a 72°C.

Ambos tratamientos son equivalentes en cuanto a su capacidad de destrucción total de microorganismos patógenos, pero el primero es un proceso que se hace en forma intermitente, por lotes. Se le conoce también como pasteurización lenta y es el método ideal para los queseros en empresas pequeñas porque los volúmenes de leche son modestos y porque el procesamiento por lotes permite realizar la pasteurización sin equipo costoso. Es importante que la temperatura suba hasta los 65°C en el menor

tiempo posible y que, luego de transcurridos los 25 o 30 minutos de sostenimiento, la temperatura disminuya en el menor tiempo posible hasta la temperatura a la que se va a elaborar el queso, por ejemplo, 30°C.

El calentamiento se hace generalmente usando vapor como fuente de calor. La medición de temperatura se puede hacer con un termómetro portátil de quesería, fabricado en acero inoxidable, o con un termómetro registrador. El enfriamiento posterior a la pasteurización se hace generalmente haciendo circular agua fría por la camisa o chaqueta del tanque de pasteurización, agitando continuamente la leche para acelerar el enfriamiento y minimizar gradientes de temperatura.

El segundo método es un método continuo que requiere equipo especial, generalmente un intercambiador de calor a placas diseñado especialmente para este propósito, y la fuente usual de energía es vapor, proveniente de una caldera o de un generador de vapor. Así mismo, se requiere equipo especial, generalmente un banco de hielo, para enfriar agua en las cantidades necesarias para enfriar rápidamente la leche pasteurizada. Este método es la opción por excelencia cuando se procesan más de ~ 500 litros de leche por hora.

Algunos quesos requieren del desarrollo de acidez para su fabricación y, en esos casos, la mejor manera de hacer esto consiste en añadir a la leche *pasteurizada* fermentos o cultivos lácticos que contienen solamente las bacterias específicas que el queso requiere. Además de prevenir riesgos contra la salud pública y de evitar pérdidas innecesarias de rendimiento, el uso de fermentos o cultivos lácticos para generar acidez en la leche le permite al quesero producir un queso de calidad constante, día tras día. Aún tratándose de quesos con bajo contenido de humedad y elaborados con fermentos lácticos, el uso de leche cruda, la pasteurización mal controlada, el uso de equipo de pasteurización en condiciones inapropiadas y la contaminación post-elaboración pueden causar riesgos severos para el público consumidor (Zottola, y Smith, 1991).

3.4 PREDICCIÓN DEL RENDIMIENTO Y EJEMPLOS

No existe consenso acerca de una manera única y correcta para predecir el rendimiento, a partir de la composición de la leche y de la composición deseada en el queso, bajo condiciones determinadas de procesamiento. En 1990, Emmons et al. publicaron un estudio en el que discuten varios tipos de fórmulas empleadas para predecir rendimientos a partir de la composición de la leche y tal vez una de las recopilaciones más completas es el Boletín Especial que sobre este tema publicó en 1991 la Federación Internacional de Lechería (International Dairy Federation, 1991b).

Aunque algunas de las fórmulas fueron desarrolladas para quesos específicos, tales como Cheddar y Gouda, otras son de aplicación general. En mi experiencia, la fórmula más útil y práctica para empresas pequeñas y medianas que desean consolidar esfuerzos hacia la optimización, es la siguiente, que no es otra cosa que un balance de materiales, denominada Fórmula Tipo G en el Boletín Especial mencionado arriba (Emmons et al., 1991):

$$R = (G \cdot K_g) + (C \cdot K_c) + [S + H + (H_{fes} \cdot SL)/(1-SL)] \cdot R$$

(el cálculo es iterativo)

donde:

- R** = Rendimiento, kg de queso/100 kg de leche
- G** = Contenido de grasa en la leche, kg de grasa/100 kg de leche.
- K_g** = Factor de conversión, de grasa en la leche a grasa en el queso.
- C** = Contenido de caseínas en la leche, kg de caseínas/100 kg de leche.
- K_c** = Factor de conversión, de caseína en la leche a paracaseinato de fósforo y calcio en el queso. Este término incluye la retención de minerales de leche en el queso, la pérdida de "finos" de queso en el lactosuero y la pérdida del glicomacropéptido en el lactosuero.
- S** = Fracción de sal añadida (cloruro de sodio) en el queso.
- H** = Fracción de humedad en el queso.

H_{fes} = Fracción de humedad en el queso, menos la humedad no disponible como solvente, que está unida a la proteína.

SL = Fracción de sólidos de lactosuero, en lactosuero libre de grasa y de caseína.

Se trata de una fórmula iterativa, en la que se predice el rendimiento a partir de la composición de la leche, de las eficiencias de recuperación de la materia grasa y las caseínas, de los contenidos deseados de humedad y sal en el queso y de la composición del lactosuero. Además de predecir el rendimiento, esta fórmula también permite predecir con facilidad la composición del queso.

Luego de los cálculos y luego de la producción, se comparan día tras día, preferiblemente con la ayuda de herramientas para el control estadístico de procesos, las predicciones de la fórmula con los resultados de la operación. Esto nos permite conocer el desempeño del proceso a través del tiempo como porcentaje del rendimiento óptimo (eficiencia global), la eficiencia de recuperación de proteínas y la eficiencia de recuperación de materia grasa. De esta manera, al conocer las eficiencias de recuperación de proteínas y materia grasa por separado a través del tiempo, y sabiendo cuáles son los principales factores que afectan estas eficiencias individuales, las empresas tendrán información útil para saber, con poca incertidumbre, dónde deben intervenir en el proceso para mejorarlo.

Esta y las demás fórmulas recopiladas por la Federación Internacional de Lechería fueron desarrolladas para quesos elaborados a partir de leche fluida sometida a procesos tradicionales de pasteurización. Sin embargo, en la práctica latinoamericana hay otras formas de fabricar queso y, para todos esos casos, es necesario modificar la fórmula G con el fin de predecir el rendimiento con precisión. En breve, se trataría, por ejemplo, de establecer factores de transferencia para emulsiones homogenizadas de grasa anhidra de leche y para todos los componentes de la leche cuando se usan tecnologías de membranas con el fin de concentrar los sólidos, o se usa leche en polvo o crema para estandarizar, etc.

El trabajo de desarrollo de las fórmulas modificados es iterativo también, a partir de la información y conocimiento existentes en las empresas, de

información en la literatura técnica y de experimentación para validar las fórmulas. Desde luego, es posible también construir una fórmula general que contemple todas las variantes posibles y que, al aplicarla a un queso y a un proceso en particular, simplemente se le asignen distintos valores numéricos a los términos en esta fórmula general.

En términos sencillos, lo que la fórmula G significa es que el rendimiento es la suma de: materia grasa en el queso + complejo de paracaseína, calcio y fosfato en el queso + sal añadida al queso + sólidos de lactosuero en el queso + agua en el queso. Como mencionamos antes, no es más que un balance de materiales.

Ejemplo 1. Queso Blanco Pasteurizado de Alta Humedad. Si tenemos leche fluida de vaca con 34 g/kg de materia grasa y 31 g/kg de proteína y deseamos obtener un queso blanco pasteurizado con 50% de humedad y 2.5% de sal, ¿cuál sería el rendimiento, la composición del queso y la composición del lactosuero si la eficiencia de fabricación de queso fuera 100%?

En este caso,

$$\begin{aligned}
 G &= 3.40 && \text{(kg de materia grasa en 100 kg de leche),} \\
 C &= 2.45 && \text{(79\% de 3.1 kg de proteína / 100 kg de leche)} \\
 K_g &= 0.93 && \text{(se recupera el 93\% de la materia grasa)} \\
 K_c &= 1.02 && \text{(se recupera cerca del 95\% de las caseínas y el factor} \\
 &&& \text{incluye además el calcio y el fosfato asociados con la} \\
 &&& \text{paracaseína)} \\
 H &= 0.50 && \text{(humedad de diseño del queso)} \\
 S &= 0.025 && \text{(fracción de sal en el queso, según el diseño)} \\
 H_{\text{fes}} &\approx H - 1.04/R \approx 0.50 - 1.04/R && \text{(fracción del agua en el queso,} \\
 &&& \text{que puede actuar como solvente} \\
 &&& \text{para los sólidos del lactosuero)} \\
 SL &= 0.065 && \text{(fracción de sólidos en el lactosuero libre de caseína y} \\
 &&& \text{de grasa)}
 \end{aligned}$$

Los valores numéricos de K_c , H_{fes} y SL son valores típicos de queso de alta eficiencia y provienen de teoría detallada de rendimientos en quesería

(Emmons et al., 1991). Con lo anterior, procedemos a hacer un cálculo iterativo, suponiendo un valor de R para el lado derecho de la fórmula, calculando el valor de R en el lado izquierdo, y así sucesivamente hasta que coinciden el valor supuesto y el valor calculado:

Iteración	Rsupuesto	Rcalculado
1	12.0	12.4
2	12.4	12.6
3	12.6	12.7
4	12.7	12.8
5	12.8	12.8

Entonces, con un proceso de quesería 100% eficiente, deberíamos obtener ≈ 12.8 kg de este queso por cada 100 kg de leche fluida de la composición señalada. La diferencia entre esta cantidad calculada y la cantidad real obtenida en promedio a través del tiempo es una indicación del espacio de oportunidad para intervenir en el proceso y mejorarlo. Otra forma de expresar este rendimiento es diciendo que se necesitan $(100/12.8) = 7.8$ kg de leche para producir un kg de queso.

La cantidad de lactosuero producido es:

$$100 - 12.8 (1 - 0.025) \approx 87.5 \text{ kg}$$

Y la composición del lactosuero sería la siguiente:

Proteína	$(3.1)(1 - 0.75)(100)/87.5 \approx 0.9 \%$
Grasa	$(3.4)(1 - 0.93)(100)/87.5 \approx 0.3 \%$
Sólidos totales	$[(100 \times 0.121) - (12.8)(0.5 - 0.025)](100)/87.5 \approx 6.9 \%$
Lactosa y minerales	$\sim (6.9 - 0.9 - 0.3) \approx 5.7 \%$

Usaremos estos datos de composición más adelante para predecir el rendimiento de requesón elaborado a partir de este lactosuero.

Finalmente, con esta eficiencia, la composición del queso sería la siguiente:

Humedad	50 % (diseño)
Sal	2.5 % (diseño)
Proteína	$(3.1 \times 0.75)100/12.8 \approx 18.2 \%$
Grasa	$(3.4 \times 0.93)100/12.8 \approx 24.7 \%$
Lactosa y minerales	$\sim (100 - 50 - 2.5 - 18.2 - 24.7) \approx 4.6 \%$

Ejemplo 2. Queso Blanco Pasteurizado de Baja Humedad. Si deseamos fabricar un queso blanco pasteurizado para rallar, con 35 % de humedad y 2 % de sal, a partir de leche semidescremada al 2.5 % de materia grasa, ¿cuál sería el rendimiento, la composición del queso y la composición del lactosuero si el proceso de queso sería fuera 100 % eficiente?

Entonces, la composición de la leche es, además de 2.5 % de materia grasa:

Sólidos totales	$\approx 11.3 \%$
Proteína	$\approx 3.13 \%$
Lactosa y minerales	$\approx 5.65 \%$

En este ejemplo:

G	= 2.50 (kg de materia grasa en 100 kg de leche),
C	= 2.47 (79% de 3.13 kg de proteína / 100 kg de leche)
K_g	= 0.93 (se recupera el 93% de la materia grasa)
K_c	= 1.02 (se recupera cerca del 95% de las caseínas y el factor incluye además el calcio y el fosfato asociados con la paracaseína)
H	= 0.35 (humedad de diseño del queso)
S	= 0.02 (fracción de sal en el queso, según el diseño)
H_{fes}	$\approx H - 1.04/R \approx 0.35 - 1.04/R$ (fracción del agua en el queso, que puede actuar como solvente para los sólidos del lactosuero)
SL	= 0.065 (fracción de sólidos en el lactosuero libre de caseína y de grasa)

Procedemos a hacer el mismo cálculo iterativo que en el ejemplo anterior, suponiendo un valor de R para el lado derecho de la fórmula, calculando el valor de R en el lado izquierdo, y así sucesivamente hasta que coinciden el valor supuesto y el valor calculado:

$$R = (G \cdot Kg) + (C \cdot Kc) + [S + H + (Hfes \cdot SL)/(1 - SL)] \cdot R$$

Iteración	Rsupuesto	Rcalculado
1	9.0	8.4
2	8.4	8.1
3	8.0	7.9
4	7.9	7.9

Entonces, con un proceso de quesería 100% eficiente, deberíamos obtener ≈ 7.9 kg de este queso por cada 100 kg de leche fluida semidescremada de la composición señalada o, en otras palabras, se necesitan $(100/7.9) = 12.7$ kg de leche para producir un kg de este queso para rallar. La diferencia entre esta cantidad calculada y la cantidad real obtenida en promedio a través del tiempo es una indicación del espacio de oportunidad para intervenir en el proceso y mejorarlo.

La cantidad de lactosuero producido es:

$$100 - 7.9 (1 - 0.02) \approx 92.3 \text{ kg}$$

y la composición del lactosuero sería la siguiente:

Proteína	$(3.13)(1 - 0.75)(100)/92.3 \approx 0.8 \%$
Grasa	$(2.5)(1 - 0.93)(100)/92.3 \approx 0.2 \%$
Sólidos totales	$[(100 \times 0.113) - (7.9)(0.65 - 0.02)](100)/92.3 \approx 6.9 \%$
Lactosa y minerales	$\sim (6.9 - 0.8 - 0.2) \approx 5.9 \%$

Finalmente, con esta eficiencia, la composición del queso sería la siguiente:

Humedad	35 % (diseño)
Sal	2.0 % (diseño)
Proteína	$(3.13 \times 0.75)100/7.9 \approx 29.7 \%$
Grasa	$(2.5 \times 0.93)100/7.9 \approx 29.4 \%$
Lactosa y minerales	$\sim (100 - 35 - 2 - 29.7 - 29.4) \approx 3.9 \%$

En el siguiente capítulo usaremos los datos de composición de los lactosueros de los ejemplos 1 y 2, para predecir el rendimiento y composición de quesos de distinto contenido de humedad elaborados a partir de dichos lactosueros.

Capítulo 4. OPCIONES PARA DARLE VALOR AGREGADO AL LACTOSUERO DE QUESERÍA

4.1 INTRODUCCIÓN

El lactosuero es uno de los materiales más contaminantes que existen en la industria alimentaria. Cada 1,000 litros de lactosuero generan cerca de 35 kg de demanda biológica de oxígeno (DBO) y cerca de 68 kg de demanda química de oxígeno (DQO). Esta fuerza contaminante es equivalente a la de las aguas negras producidas en un día por 450 personas (Jelen, 1979).

Más aún, no usar el lactosuero como alimento es un enorme desperdicio de nutrimentos; el lactosuero contiene un poco más del 25 % de la proteínas de la leche, cerca del 8 % de la materia grasa y cerca del 95 % de la lactosa. Como se mostró anteriormente, por lo menos el 50 % en peso de los nutrimentos de la leche se quedan en el lactosuero.

Los mismos 1,000 litros de lactosuero a los que nos referimos arriba contienen más de 9 kg de proteína de alto valor biológico, 50 kg de lactosa y 3 kg de grasa de leche. Esto es equivalente a los requerimientos diarios de proteína de cerca de 130 personas y a los requerimientos diarios de energía de más de 100 personas.

En términos de composición y de valor energético, los sólidos del lactosuero son comparables a la harina de trigo, como se muestra en la Tabla 7.

Por consiguiente, es importante que la industria de quesería tenga un portafolio de opciones para usar el lactosuero como base de alimentos, preferentemente para el consumo humano, con el fin adicional de no contaminar el medio ambiente y de recuperar, con creces, el valor monetario del lactosuero.

TABLA 7
COMPOSICIÓN Y VALOR ENERGÉTICO DEL LACTOSUERO EN POLVO Y DE LA HARINA INTEGRAL DE TRIGO*

COMPONENTE	LACTOSUERO EN POLVO	HARINA DE TRIGO
Humedad	~ 5 %	~ 12 %
Proteína	~ 13 %	~ 13 %
Grasa	~ 1 %	~ 2 %
Carbohidratos	~ 74 %	~ 71 %
Cenizas	~ 8 %	~ 2 %
Valor Energético (Kcal/100g)	~ 357	~ 354

*Adaptada de Jelen (1979).

Ahora bien, no todos los lactosueros son iguales. Una de las diferencias principales entre ellos es su composición, que depende no solamente de la composición de la leche para quesería y del contenido de humedad del queso sino, de manera muy significativa, del pH al que el lactosuero se separa de la cuajada.

Los lactosueros de quesos más ácidos tienen mayor contenido de minerales que los lactosueros de quesos menos ácidos, como lo muestra la Tabla 8. Como veremos más adelante, esto tiene implicaciones importantes a la hora de procesar el lactosuero para convertirlo en un requesón, en una bebida, o en otro alimento.

Por otro lado, la “capacidad de amortiguamiento” (la variación del pH como función de las cantidades añadidas de ácidos y bases fuertes) de un lactosuero está determinada principalmente por las concentraciones de lactato y fosfato (Jeness et al., 1974), por lo que también depende del pH al que el lactosuero fue separado de la cuajada durante la fabricación de queso. Estas propiedades son importantes durante el tratamiento térmico y la precipitación de proteínas lactoséricas para elaborar requesones y,

desde luego, también dependen de otros factores tales como la concentración de sólidos en el lactosuero.

TABLA 8
pH NATURAL Y CONTENIDO DE CALCIO EN VARIOS
TIPOS DE LACTOSUEROS*

Tipo de lactosuero	pH	Contenido de calcio (mg/l)
De caseína al cuajo	6.5	500
De queso Gouda	6.3	550
De queso Cheddar	5.9	640
De caseína láctica	4.5	1,500

* Adaptada de Roeper (1970).

La Tabla 9 muestra la composición de un lactosuero típico. Aquí cabe resaltar que la proteína en los lactosueros incluye la fracción denominada glicomacropéptido, que constituye aproximadamente el 4% de la caseína total y que pasa al lactosuero debido a la acción enzimática del cuajo o renina sobre la κ -caseína. Esta fracción representa cerca del 13 % de la proteína total (N x 6.38) en un lactosuero típico.

Además del glicomacropéptido, en un lactosuero la fracción coagulable por calor consiste predominantemente de las proteínas β -lactoglobulina y α -lactalbúmina. La fracción denominada proteosa-peptona y los compuestos a base de nitrógeno no protéico no son coagulables mediante tratamientos térmicos ni mediante manipulación del pH pues, además de ser termoestables, son solubles en su punto isoeléctrico.

TABLA 9
COMPOSICIÓN DE UN LACTOSUERO TÍPICO*

Proteínas	~ 0.9 %
(Caseínas) ¹	(0.13 %)
(Proteínas lactoséricas)	(0.78 %)
Grasas	~ 0.3 %
Lactosa	~ 5.1 %
Sales y Minerales	~ 0.5 %
Sólidos Totales	~ 6.8 %
Contenido Energético	~ 270 Kcal/l

* Ver detalles en el Apéndice A.

1 Glicomacropéptido.

El costeo de los lactosueros es un juicio de valor. Algunas personas piensan que su costo debe ser muy cercano a cero, puesto que la fabricación del queso tradicionalmente absorbe el 100% del costo de la leche y los demás ingredientes. Sin embargo, aquí se ha adoptado el criterio de que el lactosuero tiene valor monetario distinto de cero, tanto por el valor intrínseco de sus componentes, como por la funcionalidad de los lactosueros y sus derivados. Además, *siempre y cuándo se le de un uso comercial al lactosuero*, el reconocimiento de que tiene valor monetario permite deducir la cifra correspondiente del costo de la leche, haciendo que el costo de fabricación del queso sea no sólo más cercano a la realidad, sino significativamente menor.

Aún en este caso, las cifras a usar siguen siendo juicios de valor. Por ejemplo, si se usa como criterio el valor monetario *intrínseco* de los componentes del lactosuero por separado, costearíamos la grasa de leche a ~ US \$ 1.5 - 2.0/kg, la lactosa y los minerales a ~ \$ 0.30/kg y las proteínas a un valor menor, pero cercano, al que cuestan las proteínas lactoséricas en forma de lactosuero en polvo. Un valor razonable es ~ US \$ 4/kg.

Bajo este criterio, el valor monetario del lactosuero de quesos blancos pasteurizados sería de ~US \$0.06/l. En otras palabras, el lactosuero representaría cerca del 25% del valor monetario de la leche a partir de la cuál se obtuvo. Sin embargo, la funcionalidad de estos componentes; es decir, lo que se puede hacer con ellos con un cierto valor agregado, es menor que la funcionalidad de los mismos componentes en la leche. Por este motivo, es prudente tomar como valor monetario, para fines de costeo del lactosuero *como materia prima*, una fracción de la cifra obtenida basándose en el valor intrínseco de los componentes por separado. Desde esta perspectiva, un valor razonable es el 50 % del valor mencionado arriba; es decir, ~ US \$ 0.03/l.

Es posible llegar a cifras similares, basándose en factores tales como el precio, en América Latina, del lactosuero en polvo importado o nacional de la misma composición, el costo de transporte y procesamiento del lactosuero fluido (bombeo, almacenamiento, enfriamiento o pasteurización, secado, etc.), o el costo de arrojar el lactosuero fluido sin tratamiento al medio ambiente.

Tomando todo en consideración, la cifra de US \$0.03/l es razonable desde los puntos de vista comercial y tecnológico. Esta cifra es cercana al 10 % del valor comercial de la leche fluida entera de vaca, cruda (bronca), a puerta de planta. Es importante recordar que, en términos de peso, el lactosuero fluido de quesos blancos pasteurizados contiene el 50 % de los sólidos de la leche.

4.2 REQUESONES

El propósito de esta sección es proporcionar bases sólidas y razonablemente detalladas para ayudar a los empresarios queseros a desarrollar productos económicos y deseables para los consumidores, a base de estructuras producidas por coagulación de las proteínas lactoséricas mediante acidificación, tratamientos térmicos y calcio. Estos productos reciben varios nombres, tales como requesón, ricottone y Ricotta. Emplearemos aquí el término requesón para referirnos a todos ellos.

En términos sencillos, aquí se trata básicamente de recuperar la mayor cantidad posible de la proteína en el lactosuero y de diseñar cuidadosamente el pH y el contenido de humedad y de calcio en el producto terminado. El mecanismo principal para la elaboración de quesos es la desnaturalización controlada de las proteínas en el lactosuero. Sin embargo, el reto no es trivial pues el producto debe tener ciertos atributos específicos, sensoriales y de textura, esperados por los consumidores.

En este sentido, siguiendo la definición de Haschemeyer y Haschemeyer (1973), el término “desnaturalización” se aplica a “cualquier proceso, que no involucre la ruptura de enlaces peptídicos, que cause un cambio en la estructura tridimensional de una proteína, a partir de la forma que existe en su estado “nativo”, incluyendo entre esos procesos la ruptura de enlaces -S-S- o la modificación química de ciertos grupos en la proteína, siempre y cuando estas alteraciones vayan acompañadas de cambios en la estructura tridimensional general”.

Claramente, dado el inmenso número de posibilidades, tanto en cuanto a mecanismos moleculares como a sus efectos y a los enfoques metodológicos de estudio, el concepto de desnaturalización es muy amplio y un tanto difuso. Por ejemplo, la desnaturalización puede ser parcial o total, y en algunos casos puede ser reversible, aunque esto es también cuestión de grado.

Las proteínas lactoséricas se pueden desnaturalizar *elevando la temperatura* a un valor suficientemente alto y generalmente ya se comienzan a ver algunos efectos entre 60 y 70°C. Por ejemplo, en el caso de la leche se ha observado que hay desnaturalización incipiente bajo condiciones usuales de pasteurización de la leche (Dannenberg y Kessler, 1988; Lau et al., 1990). En algunas proteínas, como las lactoséricas, la desnaturalización a altas temperaturas promueve la ruptura de enlaces -S-S- o las reacciones de intercambio -SH/-S-S-, *particularmente a valores alcalinos de pH*, pero, fuera de estas reacciones que involucran a los aminoácidos cisteína y cistina, en general el calor solamente afecta a interacciones no covalentes. Algunas de éstas son extremadamente importantes en la fabricación de quesos.

Lo que esto significa es que, al hablar de desnaturalización térmica en procesos de elaboración de requesón, debemos estar atentos siempre a los posibles efectos de la desnaturalización inducida también por los cambios usuales en pH. Estos efectos pueden variar en un rango muy amplio, desde cambios conformacionales menores hasta la generación de conformaciones prácticamente aleatorias. Desde luego, hay que promover los que contribuyen a nuestros propósitos y evitar hasta donde sea posible los que tienen consecuencias indeseables.

Como bien señalan Kilara y Harwalkar (1996), el concepto un tanto “elusivo” de *desnaturalización* tiene diferentes connotaciones para técnicos y científicos de distintas especialidades. Generalmente, el problema principal para llegar a una definición específica o a una medición numérica que sea útil como referencia en la práctica industrial es la falta de capacidad para reconocer e interpretar el fenómeno cuando se estudia, el enfoque metodológico, o ambas cosas.

De cualquier forma, se trata de procesos en los que se cambia el arreglo *espacial* o *conformación* de las cadenas de polipéptidos, a partir del arreglo típico de la proteína nativa y hacia un arreglo más desordenado. El cambio siempre requiere energía, que puede provenir de distintas fuentes, generalmente calor. Desde esta perspectiva, podemos considerar a la desnaturalización más bien como un proceso *físico*, aunque agentes químicos tales como algunos ácidos o algunos metales puedan causar cambios físicos en la alineación molecular y afectar así las interacciones intermoleculares y las propiedades funcionales.

Uno de los objetivos aquí es proporcionar sustento científico y tecnológico para estimar cifras razonables de recuperación (factores de conversión) de las proteínas, así como de materia grasa, lactosa y minerales, como función de la composición inicial del lactosuero, del tratamiento térmico, de la concentración de Ca^{++} y del perfil de pH durante el proceso, para fines de diseño y costeo.

Los requesones, producidos por tratamiento térmico y acidificación, en ausencia de cuajo, no tienen un grado significativo de elasticidad, aunque

pueden ser más firmes o menos firmes, porque la estructura protéica no proviene de la acción enzimática del cuajo. Más aún, la estructura y propiedades de la red protéica están determinadas en gran medida por la proporción entre las concentraciones de proteínas, grasa, agua y calcio. Así, la manipulación del tipo y cantidad de proteínas y grasas y de las condiciones de proceso permite obtener un rango amplísimo de productos.

Las proteínas lactoséricas no reaccionan con el cuajo, son de peso molecular relativamente bajo, y *son solubles en su punto isoeléctrico* (Robinson et al., 1976), por lo que es necesario desnaturalizarlas térmicamente para precipitarlas. La agregación de estas proteínas por calor o por combinación de calor/ácido está precedida por la desnaturalización y puede ser seguida por coagulación y precipitación (Hill et al., 1982). Durante este proceso, la β -lactoglobulina sufre una alteración estructural en la que quedan expuestos los grupos -S-S-, que juegan un papel central en la formación de “puentes” covalentes con otras proteínas. Estos cambios estructurales son rápidos a valores de pH mayores de 6.7 y a temperaturas mayores de 70°C.

Durante este proceso, hay reacciones secundarias en las que se forman estructuras coloidales de mayor tamaño mediante la agregación no específica de los productos de la reacción primaria. Esta reacción secundaria ya no depende de enlaces -S-S- y sus productos se pueden involucrar en otras agregaciones no específicas, dando así un coágulo precipitable. La coagulación de los productos secundarios ocurre en la presencia de calcio y se ve favorecida por valores de pH cercanos a los puntos isoeléctricos de las proteínas. De allí el término “precipitación por ácido y calor”, cuyo significado es que las proteínas lactoséricas desnaturalizadas térmicamente se desestabilizan por la adición de ácido en la presencia de calcio.

Según Kinsella (1985), la solubilidad de las proteínas lactoséricas desnaturalizadas es limitada y su susceptibilidad a la precipitación térmica aumenta al aumentar la concentración de proteína (β -lactoglobulina) y al aumentar la concentración de iones Ca^{++} . El calentamiento del lactosuero, tal y como se realiza en la fabricación de requesones, causa interacciones irreversibles entre las distintas proteínas y, con la participación del fosfato

coloidal, causa no sólo la activación antes mencionada de grupos tiol (-SH) en las proteínas lactoséricas, sino también la activación de reacciones de Maillard responsables por el oscurecimiento no enzimático (Morr, 1985).

Para obtener máximo rendimiento de requesón de lactosuero, algunos autores recomiendan la precipitación térmica a pH ~ 4.6. Otros autores recomiendan ajustar (bajar) la acidez titulable a valores entre 0.07 % y 0.12 %, usando álcali, a temperaturas por debajo de 65°C; calentar hasta temperaturas entre 71 y 101°C y reajustar (subir) la acidez a valores entre 0.15 % y 0.30 %.

También se ha recomendado ajustar el pH del lactosuero a valores entre 6.3 y 6.6, usando solución de NaOH; calentando luego hasta 90°C y acidificando con ácido hasta valores de pH entre 4.95 y 5.35 para precipitar la proteína (Robinson et al., 1976). En la práctica industrial, el lactosuero generalmente se precalienta a ~ 70°C en un intercambiador de calor y la temperatura se eleva luego a cerca de 90°C, mediante inyección directa de vapor.

Se puede recuperar más proteína a medida que se aumenta el tiempo de retención a 90°C (se recomienda un mínimo de 10 minutos) y a medida que se neutraliza (sube) el pH del lactosuero antes del tratamiento térmico. Sin embargo, es importante tomar en cuenta que, al aumentar el pH antes del tratamiento térmico, también aumenta el contenido de minerales en el coágulo (Robinson et al., 1976). Según este autor, parece ser que el calcio está más bien involucrado en la precipitación de las proteínas desnaturalizadas, y no tanto en el proceso de desnaturalización.

De acuerdo a Roeper (1970), los lactosueros que tienen un pH natural por debajo de 5.9 (lactosueros de quesos Cheddar y Mozzarella, por ejemplo), solamente requieren calentamiento para precipitar entre el 70 % y el 80 % de la proteína recuperable. Los lactosueros de quesos como el Gouda o el queso blanco pasteurizado, con pH por encima de 6.0, requieren además la adición de cloruro de calcio y/o la adición de ácido para obtener el mismo grado de recuperación.

Como describe Kosikowski (1967), cuando un requesón se fabrica correctamente, la cuajada flota. La flotación se debe a aire atrapado en la estructura de la cuajada, por lo que es crítico que haya un periodo de “reposo”, sin ninguna agitación, inmediatamente después de la primer señal de precipitación. Cualquier agitación durante este periodo puede destruir el “colchón” de aire y la cuajada no flotará como es debido. Es necesario cerrar la válvula de vapor (inyección directa) y dejar el sistema en completo reposo por lo menos durante 10 minutos, pudiéndose dejar activo el vapor indirecto en la chaqueta.

La precipitación de las proteínas también se puede inducir mediante la adición de concentraciones suficientemente altas de iones calcio, sin la manipulación del pH, como se describe más adelante al comentar el trabajo de Viana-Mosquim et al. (1993), pero según Hill et al. (1982), con este enfoque aumenta mucho la cantidad de compuestos que se determinan como cenizas en el queso y eso puede hacer que se aprecie un sabor amargo indeseable.

El valor óptimo del pH para la coagulación depende del tipo de lactosuero y éste está en parte relacionado con el pH inicial y, por consiguiente, con el contenido de calcio en los lactosueros. La recuperación teórica máxima de proteína “cruda” ($N \times 6.38$) a partir de lactosuero es de 55 % a 65 % porque la fracción proteosa-peptona, que es estable al calor, y los compuestos nitrogenados no protéicos (NNP) representan entre el 35 y el 45 % del nitrógeno en un lactosuero típico como el proveniente de la fabricación de quesos Cheddar o Mozzarella. Por este motivo, como afirman Hill et al. (1982), los procesos comerciales deberían recuperar por lo menos el 50% de la proteína “cruda”; es decir, de la cifra resultante de multiplicar el contenido de nitrógeno por 6.38.

Cuando el quesero decide añadir leche al lactosuero para elaborar requesón, es imprescindible no añadir la leche antes de inactivar térmicamente el cuajo residual en el lactosuero. De no hacerlo así, se corre el riesgo de que coagulen las caseínas de la leche antes de tiempo y se pierda el lote. Para inactivar el cuajo residual en el lactosuero, un tratamiento clásico de pasteurización (62°C - 65°C, durante 25 a 30

minutos) es suficiente, siempre y cuando el pH del lactosuero no sea menor de 6.6 (Harper y Lee, 1975).

Si el lactosuero proveniente de la operación de quesería tiene un pH más bajo, es importante añadir un neutralizante grado alimentario para elevar el pH a un valor no menor de 6.6. A medida que el lactosuero sea más ácido - que tenga un pH más bajo - mayor será la actividad residual del cuajo después del tratamiento térmico de pasteurización. La leche se debe añadir justo después de este tratamiento de inactivación del cuajo y entonces se puede proceder con el procedimiento escogido para la fabricación de requesón.

En síntesis, basándose en la ciencia y tecnología de formación de estas estructuras, es posible partir de la composición, costo y textura deseadas en el requesón y, mediante "ingeniería inversa", diseñar los requerimientos de materias primas y las variables de procesamiento, como por ejemplo: el rendimiento por tina, la relación entre el contenido de Ca^{++} y el contenido de proteína en el sistema, el perfil de temperatura y pH, etc.

La Figura 3 muestra un diagrama de bloques del proceso tradicional. Este diagrama, en su parte final, se refiere a la pasteurización de requesones untados de alto contenido de humedad. Las adiciones de sal y de leche fluida son opcionales.

Entre los ácidos empleados industrialmente se encuentran los ácidos láctico, cítrico, acético y fosfórico, grado alimentario. Al seleccionar el ácido se deben considerar varios factores, tales como: disponibilidad, costo, seguridad en su almacenamiento y manejo, características físicas de la cuajada y sabor y rendimiento de los requesones.

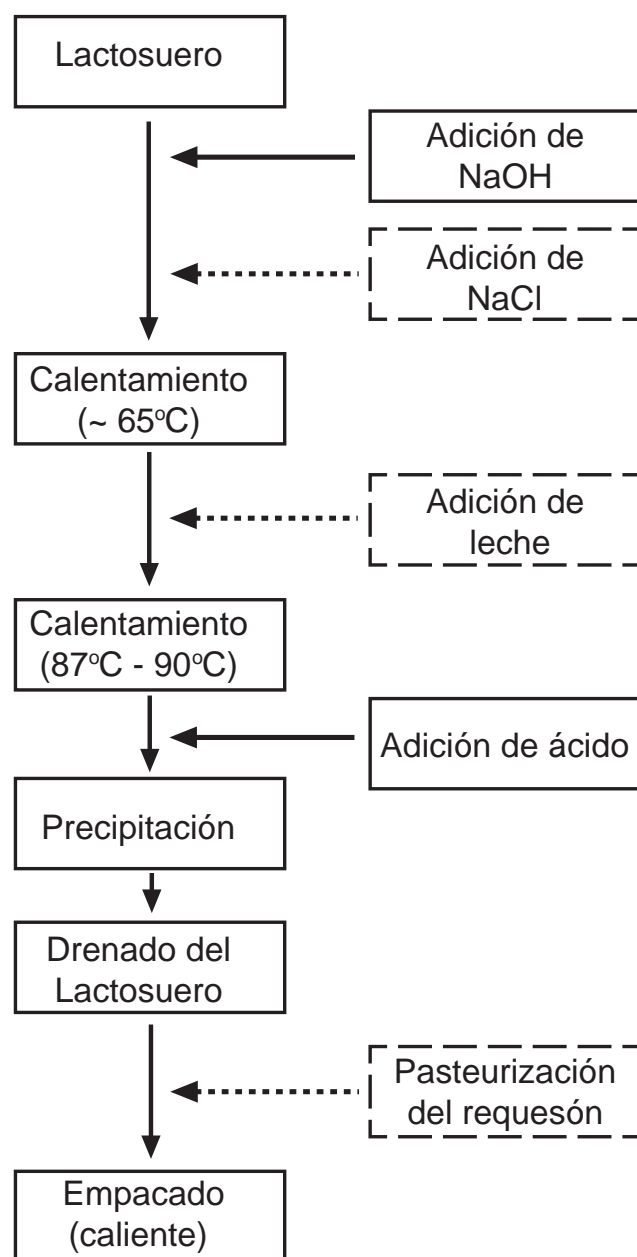


FIGURA 3. Proceso tradicional para la fabricación de requesones (Adaptado de Weatherup, 1986)

En la elaboración artesanal del requesón generalmente se utiliza vinagre (una solución acuosa de ácido acético) o jugos de frutas ácidas (soluciones

acuosas de ácido cítrico) en volúmenes de aproximadamente 5 a 10 % en relación al volumen del lactosuero. El ácido tiene como función bajar el pH hasta valores cercanos al punto isoeléctrico de estas proteínas. Ésto, junto con las reacciones de desnaturalización térmica, conduce a la floculación y precipitación de las proteínas lactoséricas.

Otra opción para la elaboración de requesón consiste en utilizar cloruro de calcio en sustitución del ácido empleado tradicionalmente (Viana-Mosquim et al., 1993). En este caso, la acción del calcio sobre las proteínas lactoséricas se puede interpretar a través del fenómeno conocido en química de proteínas como “salting-out” o “desestabilización salina”. El calcio añadido al lactosuero interacciona con los grupos cargados eléctricamente de las proteínas, obstaculizando las interacciones proteína-agua y promoviendo la floculación. El requesón obtenido con este proceso puede ser menos ácido, con textura más firme, y tener mayor contenido de calcio.

En 1973, True publicó uno de los estudios más completos acerca de los factores que afectan la recuperación de proteínas lactoséricas, así como del mejoramiento de los procedimientos de procesamiento para la fabricación de requesón.

Se hicieron 22 lotes de requesón a partir de lactosuero proveniente de la elaboración de queso Cheddar o Edam. Se estudiaron los efectos de la acidez inicial de los lactosueros, de la temperatura final del calentamiento y de la acidez final al momento de la coagulación. Los criterios para juzgar las mejores condiciones fueron: naturaleza de la coagulación, rendimiento, pérdidas de sólidos en el lactosuero residual y facilidad con la que se pudo separar la cuajada del lactosuero.

Para estudiar el efecto de la acidez inicial, True (1973) hizo experimentos con lactosueros entre 0.13 % y 0.37 % de acidez titulable. En este caso, la acidez fue producto de los microorganismos de los fermentos lácticos presentes en los lactosueros. Se calentó hasta 87.8°C, agitando suavemente, y se añadió 0.1 % de ácido cítrico granular al final del calentamiento. En ese momento se dejó de calentar y de agitar y se dejó

reposar el lactosuero durante 15 minutos. La Tabla 10 muestra los resultados.

Se puede apreciar que, al aumentar la acidez inicial (al bajar el pH), disminuyó el grado de coagulación de las proteínas lactoséricas. Los datos de la Tabla 10 sugieren que no se debe emplear lactosuero con acidez titulable mayor de 0.14 %.

TABLA 10
EFFECTO DE LA ACIDEZ INICIAL DEL LACTOSUERO
EN LA COAGULACIÓN DE PROTEÍNAS LACTOSÉRICAS*

Acidez inicial (%)	Coagulación	Rendimiento de Requesón (g/l)
0.13	Buena	~ 40
0.14	Buena	~ 47
0.16	No hubo coagulación	-
0.22	No hubo coagulación	-
0.37	No hubo coagulación	-

* True (1973)

Notas: 1. Temperatura final de calentamiento = 87.8°C.
2. Cantidad de ácido cítrico añadido = 0.1 %.

La Tabla 11 muestra el efecto de la temperatura final de calentamiento. El lactosuero fue previamente calentado hasta ~ 52°C para eliminar la mayoría de los microorganismos del fermento láctico y mantener así constante la acidez. True (1973) dejó reposar la cuajada durante 15 minutos, después de acidificar.

Se observó que la firmeza de la cuajada aumentó al aumentar la temperatura final de calentamiento, lo cual probablemente se debe a mayor grado de sinéresis, argumento consistente con el menor

rendimiento obtenido al aumentar la temperatura. A 90.6°C y temperaturas más altas, True (1973) detectó sabor a quemado y concluyó, entonces, que la temperatura óptima es 87.8°C.

TABLA 11
EFEECTO DE LA TEMPERATURA FINAL DE CALENTAMIENTO EN LA COAGULACIÓN DE PROTEÍNAS LACTOSÉRICAS*

Temperatura final de calentamiento (°C)	Coagulación	Rendimiento de requesón (g/l)
82.2	Suelta, frágil, suave, pobre	-
85.0	Suelta, frágil, suave, pobre	-
87.8	Buena, cuajada firme	52
90.6	Buena, cuajada firme	48
93.3	Muy buena, cuajada firme	(sin dato)

* True (1973).

Notas: 1. Cantidad de ácido cítrico añadido = 0.1 %.

2. Acidez titulable inicial = 0.11 %.

Para estudiar el efecto de la velocidad de calentamiento (en pequeña escala, en el laboratorio), True (1973) usó lactosuero con 0.14 % de acidez. La Tabla 12 muestra los resultados.

Este autor concluyó que la velocidad de calentamiento más satisfactoria, para obtener la mejor coagulación y poder separar la cuajada del lactosuero residual con facilidad, es de ~2°F/min (~1.1°C/min). Es desafortunado que este estudio, como muchos otros, se haya realizado estudiando los efectos de cada variable importante una a la vez, por separado. Con este enfoque experimental no es posible aprender lo suficiente acerca de los efectos de las interacciones entre las variables, mismos que generalmente resultan ser muy importantes, si no es que indispensables, para el diseño óptimo de productos o procesos.

TABLA 12
EFFECTOS DE LA VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO EN LA
COAGULACIÓN DE PROTEÍNAS LACTOSÉRICAS*

Velocidad de calentamiento	Tiempo de Coagulación	Características del requesón
Lenta	45 min.	Cuajada firme, fácil de separar del lactosuero.
Rápida	15 min.	Cuajada frágil, suave, difícil de separar.

* True (1973)

- Notas:
1. Acidez titulable inicial = 0.14 % .
 2. Calentamiento a 85°C.
 3. Cantidad de ácido cítrico añadido = 0.16 %.
 4. Tiempo de reposo = 15 minutos.

True (1973) hizo también pruebas en planta piloto, con el siguiente procedimiento:

1. Usó lactosuero fresco con acidez titulable entre 0.12 y 0.15 %.
2. Se usó calentamiento indirecto (chaqueta de vapor), a una velocidad tal que se llegara a 87.8°C en cerca de 45 minutos.
3. Se suspendió la agitación y el calentamiento al llegar a 87.8°C.
4. Se añadió ácido cítrico granular hasta obtener una acidez titulable final de 0.30 %.
5. Se dió un tiempo de reposo de 30 minutos.
6. Se recuperó la cuajada con una criba, se colocó en moldes para queso Cheddar cubiertos de lienzo para quesería y se dejó desuerando por gravedad en un cuarto frío, de la noche a la mañana.
7. Se midió el rendimiento y se añadió 0.5 % de sal.

Con el procedimiento listado arriba, cuyos resultados se muestran en la Tabla 13, True (1973) recuperó cerca del 50 % de la proteína y obtuvo un rendimiento de cerca de 60 g de requesón/kg de lactosuero. El contenido de humedad varió dentro del rango entre 75 % y 78 % y el contenido de grasa varió dentro del rango entre 5.5 % y 6.5 %. El análisis de una muestra dio ~9.5 % de proteína. El pH de los requesones varió dentro del rango entre 4.7 y 4.9 y su vida de anaquel, definida como el tiempo para que las cuentas microbianas totales no fueran mayores de 100 UFC/g, fue de por lo menos 3 semanas a 4.5°C.

TABLA 13
RECUPERACIÓN DE PROTEÍNA Y RENDIMIENTO DE
REQUESÓN A PARTIR DE CINCO LOTES DE LACTOSUERO*

LOTE	PROTEÍNA ¹ (%)		RECUPERACIÓN DE PROTEÍNA (%)	RENDIMIENTO (%)
	Antes	Después		
1	1.38	0.62	~ 55	6.2
2	1.32	0.74	~ 32	5.8
3	1.27	0.62	~ 51	6.2
4	1.40	0.68	~ 51	6.1
5	1.30	0.70	~ 46	5.8
Media	1.33	0.67	~ 49	~ 6.0

* Adaptada de True (1973) .

1. Determinada mediante el método micro-Kjeldahl.

La Tabla 14 en la siguiente página muestra el rendimiento y la composición esperadas, con los factores de conversión óptimos para estas tecnologías y con la composición típica de lactosuero de queso Cheddar, para requesón con 76.5 % de humedad, aproximadamente el promedio de los datos de contenido de humedad obtenidos por True (1973).

TABLA 14
RENDIMIENTO Y COMPOSICIÓN ESPERADAS DE
REQUESÓN A PARTIR DE LACTOSUERO
DE QUESO CHEDDAR

Rendimiento:	~ 5.7 kg de requesón/100 l de lactosuero
Humedad	76.5 % (dato)
Proteína	~ 10.3 %
Grasa	~ 5.0 %
Lactosa	~ 4.2 %
Minerales	~ 4.0 %

- Notas
1. Factores de conversión: caseínas ~95%, proteínas lactoséricas ~60%, materia grasa ~ 95 %, % de lactosa ~ (% de humedad x 0.055), minerales ~ 45 %.
 2. Composición del lactosuero: 0.9 % de proteína, 0.3 % de materia grasa, 0.5 % de minerales y 5 % de lactosa. Sólidos totales ~ 6.7%.

La comparación entre los datos en la Tabla 14 y los resultados obtenidos por True (1973) indica que los factores de conversión empleados para los cálculos son razonables. Estos son los factores que se pueden obtener en la práctica con procesos 100 % eficientes y que se usarán más adelante en los ejemplos 3 y 4 de cálculos de rendimiento y composición en la elaboración de requesones.

Streiff et al. (1979) reportaron un proceso modificado en el que el lactosuero se condensa hasta 30% de sólidos por evaporación con vacío y el pH se estandariza a 6.5. El lactosuero condensado se procesa después calentándolo a 44°C, añadiendo 0.8 % de NaCl, calentando a 88°C y ajustando el pH a 4.8-5.0. El requesón se separa del lactosuero desproteinizado residual por filtración. De esta manera se obtuvo un requesón aceptable con lactosuero concentrado hasta 21% de sólidos. Los rendimientos fueron cercanos al 21% y se recuperó por lo menos el 59 % de la proteína cruda. Las ventajas de este método son que se evita la

recolección manual del requesón, que el calentamiento se hace en tinas cerradas y que se recupera esencialmente toda la proteína precipitada. Esto sugiere que a mayor concentración de proteína, mayor es su factor de conversión, del lactosuero al requesón.

En resumen, la máxima recuperación de proteína se obtiene desnaturalizando las proteínas del lactosuero a valores de pH entre 6.0 - 7.0 y a temperaturas mayores de 90°C durante 10 -30 minutos, seguido de precipitación a valores de pH entre 4.5 y 5.0. El efecto del pH en la agregación disminuye en la presencia de calcio. El contenido de cenizas aumenta al neutralizar el lactosuero y se minimiza precipitando a valores muy bajos de pH (3.5 - 4.6). Hacer la desnaturalización antes y la precipitación ácida después minimiza la solubilidad de la proteína. La recuperación teórica máxima de nitrógeno es 55 % - 65 %, por lo que aquí usaremos el factor 0.60 para la recuperación de proteína en procesos industriales 100 % eficientes.

Las condiciones de proceso se controlan para producir una cuajada flotante que facilite su retiro de la tina. La flotación se debe a oclusión de aire, que reduce la densidad (Weatherup, 1986). La eficacia de la flotación está influenciada por la cantidad de grasa y por la acidez del lactosuero. La acidez titulable del lactosuero debe ser menor de 0.16 %. El uso de lactosuero ácido conduce a precipitación prematura y a menores rendimientos. De ahí la práctica de neutralizar el lactosuero a pH ~ 6.8 usando soluciones acuosas de hidróxido de sodio (sosa cáustica) o de hidróxido de calcio *grado alimentario*, como lo justifican los datos de la Tabla 15. Los autores no indican si estos datos de rendimiento fueron ajustados a humedad constante, pero lo más probable es que no lo fueron.

TABLA 15

EFFECTO DE LA NEUTRALIZACIÓN DEL LACTOSUERO DE QUESERÍA EN EL RENDIMIENTO DE REQUESÓN*

pH inicial del lactosuero	Rendimiento, (%)		% de aumento en rendimiento
	Sin neutralizar	Neutralizado ¹	
6.3	2.80	3.41	~ 22
6.0	1.76	3.34	~ 90
5.5	1.92	3.61	~ 88
5.0	1.30	3.28	~ 152

* Adaptada de la Tabla 3 de Mathur y Shahani (1981) .

1. Con NaOH o Ca(OH)₂ , hasta pH 6.8.

La influencia de la concentración de Ca⁺⁺ en el factor de conversión de las proteínas lactoséricas se puede apreciar en la Tabla 16, que muestra algunos de los resultados reportados por Mathur y Shahani (1981).

TABLA 16

EFFECTO DE LA ADICIÓN DE DISTINTOS NIVELES DE Ca⁺⁺ EN LA RECUPERACIÓN DE PROTEÍNAS A PARTIR DE DISTINTOS LACTOSUEROS*

Tipo de lactosuero	% de recuperación de proteínas		
	Control	500 ppm de Ca ⁺⁺	2000 ppm de Ca ⁺⁺
De queso Cheddar	48.2	65.4 (+36%) ¹	77.8 (+61%) ¹
De queso Husker	45.4	66.1 (+46%)	74.1 (+63%)
De queso Monterey			
Jack	53.6	66.3 (+24%)	72.7 (+36%)
De queso Mozzarella	48.9	65.3 (+34%)	72.4 (+48%)
De queso Suizo	53.0	63.7 (+20%)	78.3 (+48%)

* Adaptada de la Tabla 4 de Mathur y Shahani (1981) .

1 % de aumento con respecto al control.

En la Tabla 16, 500 ppm de Ca^{++} equivalen a ~ 56 g de Ca^{++} /kg de proteína en un sistema consistente solamente de lactosuero (con ~0.9 % de proteína) y 2000 ppm de Ca^{++} equivalen a ~222 g de Ca^{++} /kg de proteína en el mismo sistema. Los resultados de las Tablas 15 y 16 demuestran que los factores de conversión para proteínas lactoséricas son, en realidad, también una función del pH y de la concentración de Ca^{++} en el sistema.

Para estudiar y conocer mejor los efectos de la concentración de calcio, no es suficiente conocer la cantidad de CaCl_2 añadido por cada cierto volumen de lactosuero. Es más importante conocer la concentración de Ca^{++} con respecto a la concentración de proteína en el sistema, puesto que el efecto del calcio sobre el rendimiento y la textura de los requesones se debe a su acción sobre las proteínas en el sistema.

El contenido de calcio se puede manipular, como mencionamos antes, añadiendo cantidades variables de cloruro de calcio a la leche y/o manipulando el pH de la leche. Al añadir cantidades crecientes de cloruro de calcio, aumentarían el rendimiento y el factor de transferencia para minerales y, por otro lado, al disminuir el pH, disminuye el factor de transferencia para minerales debido a la descalcificación parcial de la estructura.

De acuerdo a Sloth-Hansen y Jensen (1977), los iones calcio están involucrados en la etapa final de la desestabilización térmica de las proteínas lactoséricas. El calentamiento a valores de pH entre 6.6. y 6.9, con adición de solución de cloruro de calcio, da lugar a precipitación independiente del pH, durante el enfriamiento. Sin embargo, tratándose de producción comercial, se regula el pH a un valor entre 4.5 y 4.8, para producir "hojuelas" grandes y fáciles de separar del lactosuero residual. La optimización de las relaciones tiempo/temperatura/pH produce un rendimiento máximo de cerca del 60 % de las proteínas no caseínicas. Se recomiendan temperaturas entre 85°C y 100°C, con tiempos de reacción no menores de 15 min, junto con disminución del pH usando, por ejemplo, ácido acético al 33 %.

Los minerales, especialmente el fosfato tricálcico, precipitan en cantidades crecientes junto con las proteínas a los valores más altos de pH. Por ejemplo, sobre la base de materia seca, un precipitado térmico obtenido a

pH 4.0 contiene cerca de 90 % de proteína y cerca de 1.1 % de minerales, mientras que, a pH 6.0, el precipitado contiene, sobre la base de materia seca, cerca de 47 % de proteína y cerca de 37 % de minerales (Sloth-Hansen y Jensen, 1977). Por consiguiente, el pH tiene un gran efecto sobre el contenido de minerales en el producto y sobre su textura.

El contenido de materia grasa de un requesón es un reflejo del contenido de materia grasa en el lactosuero. Sin embargo, en la práctica, otra forma de controlar el contenido de materia grasa es empleando crema con un contenido fijo de materia grasa, para estandarizar el producto terminado. De acuerdo a Mathur y Shahani (1981), el requesón fresco (de mezclas de lactosuero y leche) absorbe muy bien la crema.

Los requesones son en realidad toda una familia de productos. Por ejemplo, una vez obtenido un requesón tradicional de alto contenido de humedad, mediante calentamiento, moldeado y prensado se puede disminuir a voluntad el contenido de humedad para obtener un rango amplio de productos para distintos usos, desde requesones untables hasta requesones para rallar, incluyendo requesones para rebanar. Por otro lado, como hemos mencionado, es posible estandarizar a voluntad su contenido de materia grasa, incorporando crema.

Los requesones se pueden comercializar como tales o se pueden usar para reemplazar parcial o totalmente el queso empleado en quesos procesados para untar (Irvine et al., 1982), o como bases para la formulación de "dips" similares a los que usualmente se fabrican a base de crema ácida (True y Patel, 1973). Dado que los requesones de alto contenido de humedad son muy perecederos, se pueden empacar en atmósferas inertes, tales como mezclas de CO₂ y N₂. Con este método, Kosikowski (1967) obtuvo requesón - de leche - con vida de anaquel de más de 70 días a 5°C.

Ejemplo 3. Requesón Untable. En el Ejemplo 1 (Sección 3.4), la composición del lactosuero resultante de la fabricación de queso blanco pasteurizado con 50 % de humedad fue la siguiente:

Proteína $\approx 0.9\%$, grasa $\approx 0.3\%$, lactosa $\approx 5.2\%$, minerales $\approx 0.5\%$ y sólidos totales $\approx 6.9\%$.

Si deseamos obtener un requesón untable con 67 % de humedad y 1.5% de sal, ¿cuál sería el rendimiento de requesón, su composición y la composición del lactosuero desproteínizado residual, si la eficiencia de fabricación del requesón fuera 100%?

Usando los factores de conversión mencionados anteriormente, y 100 kg de lactosuero como base de cálculo, se transfieren al requesón las siguientes cantidades de los componentes del lactosuero:

Caseínas (glicomacropéptido)	=	$0.9 \times 0.13 \times 0.95$	=	0.11 kg
Proteínas lactoséricas	=	$0.9 \times 0.87 \times 0.60$	=	0.47 kg
Materia grasa	=	0.3×0.95	=	0.29 kg
Minerales	=	0.5×0.45	=	0.23 kg
				<hr/> 1.10 kg

Si el porcentaje de humedad en el requesón es 67 %, el porcentaje de lactosa será aproximadamente $67 \times 0.055 \approx 3.7\%$. Por consiguiente, la suma de proteínas, grasa y minerales constituye el $100 - 67 - 3.7 - 1.5 \approx 27.8\%$ del requesón y, entonces, el rendimiento esperado es de: $1.10/0.278 \approx 4$ kg de requesón/100 kg de lactosuero.

Su composición esperada es:

Humedad	67 % (dato de diseño)
Sal	1.5 % (dato de diseño)
Proteína	$(0.11 + 0.47)100/4 \approx 14.5\%$
Grasa	$(0.29)100/4 \approx 7.3\%$
Lactosa	$\approx 3.7\%$
Minerales	$(0.23)100/4 \approx 5.8\%$

Finalmente, se obtendrán aproximadamente $100 - 4(1 - 0.015) \approx 96$ kg de lactosuero desproteínizado residual, con la siguiente composición:

Sólidos totales ≈ 5.9 %, proteína ≈ 0.3 %, grasa ≈ 0.02 %, lactosa y minerales ≈ 5.6 %.

Como veremos en la siguiente sección, el lactosuero residual desproteínizado resultante de la elaboración de requesón se puede utilizar para la fabricación de bebidas refrescantes.

Las cifras anteriores son aproximadas, pero razonables para un proceso industrial altamente eficiente. Desde luego, pueden variar dependiendo de la manipulación del pH, del tratamiento térmico y de la adición de iones calcio.

Ejemplo 4. Requesón de Pasta Dura. En el Ejemplo 2 (Sección 3.4), la composición del lactosuero resultante de la elaboración de queso blanco pasteurizado para rallar, con 35 % de humedad, fue la siguiente:

Proteína ≈ 0.8 %, grasa ≈ 0.2 %, lactosa ≈ 5.3 %, minerales ≈ 0.5 % y sólidos totales ≈ 6.9 %.

Si deseamos obtener un requesón de pasta dura con 50 % de humedad y 2.5% de sal, ¿cuál sería el rendimiento de requesón, su composición y la composición del lactosuero desproteínizado residual, si la eficiencia de fabricación del requesón fuera 100%?

Haciendo cálculos semejantes a los del ejemplo anterior, el rendimiento esperado es de 2.1 kg de requesón/100 kg de lactosuero y el requesón tendría la siguiente composición:

Humedad	50 %	(dato de diseño)
Sal	2.5 %	(dato de diseño)
Proteína	≈ 24.8 %	
Grasa	≈ 9.1 %	
Lactosa	≈ 2.7 %	
Minerales	≈ 10.8 %	

Finalmente, se obtendrán aproximadamente $100 - 2.1(1 - 0.025) \approx 98$ kg de lactosuero desproteínizado residual, con la siguiente composición:

Sólidos totales \approx 5.9 %, proteína \approx 0.3 %, grasa \approx 0.01 % y lactosa y minerales \approx 5.6 %.

Entonces, partiendo de 1,000 kg de leche, con procesos 100 % eficientes se pueden obtener: (a) 12.8 kg de queso blanco pasteurizado con 50 % de humedad y 4 kg de requesón unttable con 67 % de humedad (Ejemplos 1 y 3), o (b) 7.9 kg de queso blanco pasteurizado para rallar, con 35 % de humedad, y 2.1 kg de requesón de pasta dura con 50 % de humedad (Ejemplos 2 y 4).

Para concluir, si además se utiliza el lactosuero residual desproteínizado para elaborar bebidas refrescantes, son tres los productos que se pueden obtener a partir de la leche, todos ellos de valor agregado y con la enorme ventaja de que no se contamina el ambiente y no se desperdician nutrimentos valiosos.

4.3 BEBIDAS

Los lactosueros tienen muchos usos además de los que se mencionan con algo de detalle en este capítulo. Entre los usos convencionales para las empresas pequeñas y medianas, algunos requieren poca tecnología y volúmenes modestos (uso del lactosuero como fertilizante y uso como complemento alimenticio para cerdos y becerros), mientras que otros requieren tecnologías industriales convencionales y cantidades mayores (fabricación de lactosueros en polvo, de jarabes edulcorantes concentrados para la industria alimentaria, de bebidas refrescantes, etc.)

Las bebidas o fórmulas lácteas son bebidas nutricionales análogas de leche, ideales para programas gubernamentales, que se pueden elaborar a base de lactosueros *no salados*. El contenido de proteína de las bebidas lácteas nutricionales debería ser el mismo de la leche, \sim 30 g/l, pero su contenido de materia grasa puede variar dentro del rango entre 1 y 33 g/l, como lo es en las leches descremadas, semidescremadas y enteras, siendo estas consideraciones de diseño más bien un reflejo de los propósitos y las estrategias de dichos programas.

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

La Tabla 17 muestra información acerca de tres posibles bebidas lácteas nutricionales basadas en un lactosuero típico proveniente de la fabricación de un queso blanco pasteurizado. Para fines de costeo, se ha asignado al lactosuero un costo de US\$0.03/l, a los concentrados de proteína al 80% US\$5/kg, a la grasa vegetal US\$0.8/kg, a los carbohidratos US\$0.4/kg y al agua US \$0.001/l.

En conclusión, con ~333 a ~940 litros de lactosuero de quesos blancos pasteurizados se pueden fabricar 1,000 litros de bebidas lácteas con contenido de grasa entre 0.1 y 3.3 % y con 3.0 % de contenido de proteína, a un costo de materia prima dentro del rango entre US\$0.18/l y \$0.19/l. Este es un costo muy atractivo para los programas gubernamentales. A los costos asignados, la grasa vegetal representa entre el 0 y el 13 % de dicho costo, los carbohidratos representan entre el 0 y el 7 %, el lactosuero representa entre el 5 y el 16 % y el concentrado de proteína entre el 71 y el 89 %. No se incluye aquí el costo del agua, de los probables saborizantes ni el costo de probables aditivos vitamínicos.

Como su contraparte, la leche, estas bebidas nutricionales se pueden elaborar pasteurizadas, saborizadas (fresa, chocolate, etc.) o no saborizadas, fortificadas (vitamina A, calcio, etc.), o no fortificadas; con lactosa como carbohidrato principal o con gran parte (80% o más) de la lactosa hidrolizada, usando la enzima lactasa, para consumidores intolerantes a la lactosa.

TABLA 17
BEBIDAS LÁCTEAS¹ A PARTIR DE LACTOSUERO
DE QUESO BLANCO PASTEURIZADO
Composición y requerimientos para 1,000 l de bebida

COMPOSICIÓN	Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3
Materia grasa	0.1 %	2.0 %	3.3 %
Proteína (Nx6.38)	3.0 %	3.0 %	3.0 %
Carbohidratos	4.7 %	4.7 %	4.7 %
Minerales	0.7 %	0.9 %	1.0 %
Sólidos totales	~ 7.5 %	~ 10.7 %	~ 12.0 %
<u>Contenido</u>			
<u>Energético</u>	~28 Kcal/100g	~55 Kcal/100g	~61Kcal/100g
<u>REQUERIMIENTOS</u>			
Lactosuero ⁽²⁾	~ 333 l	~ 940 l	~ 940 l
Grasa vegetal	-	~ 17 kg	~ 30 kg
Concentrado de proteína ⁽³⁾ al 80 %	~ 34 kg	~ 27 kg	~ 27 kg
Carbohidratos ⁽⁴⁾	~ 31 kg	-	-
Agua	~ 602 l	~ 16 l	~ 3 l
COSTO DE MATERIA PRIMA	~US\$0.19/l	~US\$0.18/l	~US\$0.19/l

NOTAS:

1. Bebidas pasteurizadas, homogenizadas, con pH ajustado a 6.6 - 6.7.
2. Composición del lactosuero: 0.9 % de proteína, 0.3 % de materia grasa, 5.0 % de lactosa y 0.5 % de minerales.
3. El concentrado de proteína puede ser WPC-80, aislado de proteína de soya al 80%, o una combinación de ambos.
4. Los carbohidratos pueden ser sólidos de jarabe de maíz ("glucosa") y/o maltodextrinas.

El lactosuero también se puede utilizar para la fabricación de bebidas refrescantes de alto contenido energético. La Tabla 18 muestra una formulación que contiene 30 % de lactosuero.

TABLA 18

**INGREDIENTES Y COMPOSICIÓN SUGERIDAS PARA
UNA BEBIDA REFRESCANTE DE ALTO CONTENIDO
ENERGÉTICO, A BASE DE LACTOSUERO**

<u>INGREDIENTES</u>	
Lactosuero (lactosa hidrolizada* con lactasa, \geq 80% de conversión)	30 %
Azúcar (sacarosa)	~ 8.0 %
Ácido cítrico/citrato de sodio como acidulante	C.M.N.** (para pH 3.0 - 3.9)
Saborizante	C.M.N.
Colorante	C.M.N.
Benzoato de sodio, como conservador	0.1% (Máximo)
Hidrocoloides (gomas)	C.M.N.
Agua	Balance (~ 60 %)
<u>COMPOSICIÓN</u>	
Materia grasa	0.09 %
Proteína	0.27 %
Carbohidratos	~ 9.5 %
Minerales***	0.3 %
Sólidos totales	~10.2 %
pH	3.0 - 3.9
Contenido energético	96 Kcal/porción de 240 ml

* Para prevenir problemas con consumidores intolerantes a la lactosa y tener mayor poder edulcorante. **Este es un proceso opcional.**

** Cantidad Mínima Necesaria.

*** El contenido de calcio sería de 38 mg/porción de 240 ml, si el lactosuero contiene 47 mg de calcio/100 ml.

Se trata de bebidas económicas consistentes en lactosuero, agua, acidulantes, azúcares, saborizantes, colorantes, etc., envasadas en plástico y dirigidas principalmente al segmento de mercado de niños. Las bebidas comerciales de este tipo contienen entre cerca de 30 % y 90 % de lactosuero (Jelen et al., 1987). Son bebidas pasteurizadas y se recomienda el envasado caliente, a temperatura no menor de la de pasteurización, bajo condiciones en las que el ambiente en el área de envasado sea de calidad microbiológica controlada. Desde el punto de vista comercial, pudiera ser de interés que estas bebidas estuvieran enriquecidas con vitamina C y con calcio.

Este tipo de bebidas refrescantes se puede fabricar también a base de lactosueros residuales desproteinizados resultantes de la elaboración de requesón. En la práctica, estos lactosueros contienen alrededor de 0.4 % de proteína, menos de 0.1 % de grasa y un poco más de 5 % de lactosa y minerales. Debido al alto contenido de lactosa, su poder contaminante sigue siendo casi tan alto como el del lactosuero de quesería, por lo que sigue siendo importante darles un uso, preferentemente que tenga valor agregado.

Una de las opciones más sencillas consiste en hacer bebidas refrescantes, como la que se describe en la Tabla 19. El procedimiento consiste en filtrar el lactosuero para eliminar partículas pequeñas de queso, diluirlo ~ 1:1 (una parte de lactosuero en una parte de agua purificada), añadir alrededor de 8 % de azúcar (8 kg de azúcar por cada 100 kg de bebida), añadir jugo de alguna fruta localmente disponible (limón de distintas variedades, naranja, toronja, maracuyá, mora, piña, mango, etc., solos o en combinación) en cantidad de 10 % o más, pasteurizar la bebida de la manera usual y envasarla caliente (a temperaturas no menores de 70°C) en un recipiente de plástico o de vidrio, previamente higienizado, que tenga tapa hermética, de preferencia a base de rosca.

De esta manera, por cada 100 litros de lactosuero residual, se obtendrán por lo menos 250 litros de bebida refrescante. En este caso se puede considerar el uso de un conservador, en particular si la cadena comercial no garantiza que la bebida estará siempre en refrigeración a temperatura no mayor de 4 °C. Puesto que el lactosuero residual tiene un pH cercano a 5.5 y los jugos

son de frutas ácidas, el conservador adecuado es el benzoato de sodio y la dosificación máxima es de 0.1 % (100 g de benzoato de sodio por cada 100 kg de bebida). Es importante recordar que la función de un conservador es conservar una buena calidad que ya existe, pero no la puede mejorar. En otras palabras, además de usar el conservador, sigue siendo esencial usar buenas prácticas de manufactura (BPM).

TABLA 19
INGREDIENTES Y COMPOSICIÓN SUGERIDOS PARA
UNA BEBIDA REFRESCANTE DE ALTO CONTENIDO
ENERGÉTICO, A BASE DE LACTOSUERO
RESIDUAL DESPROTEINIZADO*

<u>INGREDIENTES</u>	
Lactosuero desproteínizado	40 %
Azúcar (sacarosa)	~ 8.0 %
Jugos de frutas ácidas	10 % (Mínimo)
Benzoato de sodio, como conservador	0.1 % (Máximo)
Agua	Balance (~ 40 %)
<u>COMPOSICIÓN</u>	
Materia grasa	0.01 %
Proteína	0.15 %
Carbohidratos	~11 %
Minerales	~ 0.1 %
Sólidos totales	~11.5 %
pH	3 - 4
Contenido energético	~110 Kcal/porción de 240 ml

* Resultante de la elaboración de requesón.

Las bebidas de este tipo tienen vida de anaquel de hasta 21 días, a temperaturas de refrigeración comercial, $8 \pm 1^\circ\text{C}$ (Torres et al., 1989).

4.4 OTRAS OPCIONES DE USO

Los “quesos” tipo Mysost son productos comerciales de origen escandinavo, que tienen las ventajas de usar todos los sólidos del lactosuero y de que su procesamiento no requiere grandes inversiones. Su tecnología de producción es esencialmente un proceso de concentración de sólidos, casi idéntica a la de fabricación de dulce de leche. De hecho, los productos tienen el color del dulce de leche, debido a las reacciones de oscurecimiento no enzimático y pueden ser formulados con textura para cortar o para untar. La Figura 4 muestra en forma esquemática el proceso de elaboración de estos productos.

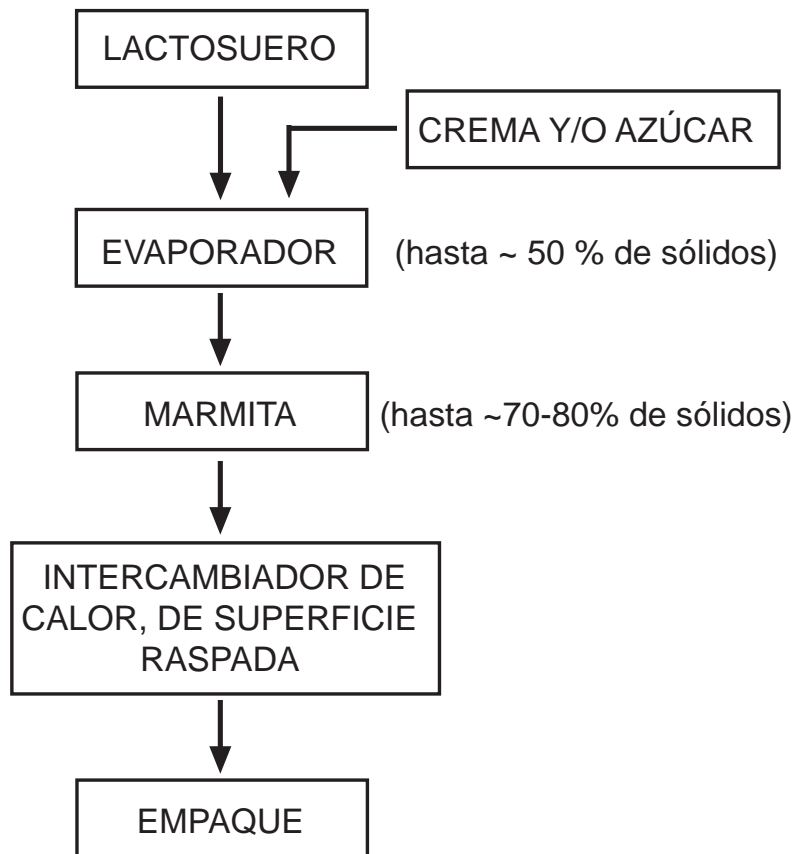


FIGURA 4. Proceso de elaboración de “quesos” tipo Mysost.
(Adaptado de Jelen y Buchheim, 1976)

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

El primer paso consiste en concentrar la mezcla de ingredientes a 50 % - 55 % de sólidos en un evaporador convencional como los usados para evaporar leche o lactosuero. La concentración final se hace en forma intermitente en marmitas o cocinadoras equipadas con agitador, como las usadas en la industria de los dulces de leche. Para afinar la textura, el color y el sabor a caramelo, la pasta se calienta a cerca de 110°C durante varios minutos en un intercambiador de calor de superficie raspada tipo “Votator”, para evitar “arenosidad” en la textura, debida a lactosa cristalizada durante el tiempo del producto en el anaquel. Para ésto, es importante que más del 90 % de los cristales de lactosa sean menores de 50 micras (Jelen y Buchheim, 1976; Wilson, 1981).

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

La Tabla 20 muestra un ejemplo con los ingredientes, el rendimiento, la composición y el valor energético típicos de “quesos” Mysost de pasta dura y untable. Como es usual tratándose de productos nuevos, el reto principal es el desarrollo de mercados. Para las industrias de quesería, se trata de adaptar las formulaciones escandinavas al gusto de los mercados latinoamericanos, y el producto sería una innovación. Por su bajo costo y alto valor nutrimental, esta familia de productos tiene grandes posibilidades para programas escolares de alimentación infantil.

TABLA 20
PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE “QUESOS”
MYSOST DE PASTA DURA Y UNTABLE

	<u>“QUESO” DE PASTA DURA</u>	<u>“QUESO” UNTABLE</u>
	<u>I n g r e d i e n t e s</u>	
	Lactosuero y crema al 60 % de grasa (100 / 4)	Lactosuero y sacarosa (100 / 1)
RENDIMIENTO		
(kg/100 kg)	~ 9.4	~ 10.9
COMPOSICIÓN		
Humedad (%)	~ 14	~ 28
Grasa (%)	~ 29	~ 4
Proteína (%)	~ 10	~ 8
Lactosa (%)	~ 42	~ 46
Sacarosa (%)	-	~ 9
Cenizas (%)	~ 5	~ 5
Valor energético		
(Kcal./100g)	~ 470	~ 290

En Nueva Zelanda, la irrigación (por aspersión) de tierras para pastura con lactosuero ha sido un método exitoso para disponer del exceso de este material. El lactosuero se aplica a razón de 110 - 125 litros por hectárea, por *día* (Radford et al., 1986). Este es otro ejemplo de una situación ganar-ganar: los agricultores reciben un buen reemplazo de fertilizante a bajo costo y los queseros aumentan su rentabilidad al vender el lactosuero y no contaminar el medio ambiente. Desde luego, es probable que el agricultor y el quesero sean la misma persona.

Cien litros de lactosuero de quesería contienen alrededor de 150 gramos de nitrógeno, 33 gramos de fósforo inorgánico, 150 gramos de potasio, 14 gramos de azufre, 50 gramos de calcio y 55 gramos de sodio. Es importante que el lactosuero empleado en esta aplicación sea lactosuero *dulce* de quesería; es decir, aquél que no haya desarrollado acidez en exceso y que no contenga sal. En términos prácticos, lo que esto significa es que se debe usar lactosuero fresco, o lactosuero enfriado rápidamente para minimizar el desarrollo de acidez.

Finalmente, si no se puede hacer otra cosa con el lactosuero, se le puede dar el uso más conocido, como complemento alimenticio para cerdos y becerros. En este caso, es importante que el lactosuero no contenga sal y que no se haya acidificado. De cualquier forma, como podemos apreciar, es realmente posible no arrojar al medio ambiente prácticamente nada de lactosuero.

Capítulo 5. CALIDAD E INOCUIDAD EN LA INDUSTRIA DE QUESERÍA

5.1 INTRODUCCIÓN

La industria alimentaria tiene una responsabilidad especial en cuanto al mejoramiento de la calidad. Aunque la calidad es siempre multidimensional, en la industria alimentaria hay un atributo particular de calidad que es indispensable: la inocuidad. Todo es importante, la presentación, los atributos sensoriales, el valor nutrimental, la variedad, el costo razonable, la atención y rapidez en el servicio, etc., pero lo más importante es que los alimentos no representen un riesgo para la salud de los consumidores.

La presencia ampliamente difundida de microorganismos patógenos en el medio ambiente, la capacidad de algunos de ellos para sobrevivir y multiplicarse aún en condiciones adversas y, en algunos casos, las bajas concentraciones necesarias para causar enfermedades, son factores que indican la magnitud de los riesgos potenciales y, como consecuencia, también la magnitud de la responsabilidad de la industria alimentaria ante la sociedad.

Por otro lado, no se puede dejar la responsabilidad por la inocuidad en manos del público consumidor. Los principios y las prácticas de los sistemas de aseguramiento de inocuidad requieren conocimientos de microbiología de alimentos y estos conocimientos están al alcance de las empresas, pero no del público en general. De hecho, aún en sociedades industriales avanzadas, la mayoría de los consumidores no tiene suficientes conocimientos básicos y una alta proporción maneja los alimentos sin las prácticas adecuadas para minimizar las incidencias de enfermedades transmitidas por los alimentos (Altekruse et al., 1995; Daniels, 1998).

Por consiguiente, un valor central en la industria alimentaria debiera ser la conciencia de que las pérdidas impartidas a la sociedad por falta de calidad en un alimento son mucho más severas que las pérdidas causadas por falta de calidad en otras actividades. En nuestra actividad, las pérdidas no son solamente económicas, sino que incluyen la salud y, en casos

extremos, la vida de los consumidores. Así, una de las responsabilidades primarias de los gerentes de empresas de servicios alimentarios es contar con un sistema *preventivo* de aseguramiento de la calidad enfocado primordialmente hacia la inocuidad.

Desde una perspectiva más amplia, para que un sistema de aseguramiento de inocuidad y calidad sea eficaz, debe ser parte de un sistema gerencial que lo contenga, de una filosofía o política de empresa que enfatice, ante todo, la prevención de fallas o defectos y que no dependa, como suele suceder, de la inspección de los productos terminados. Desde este punto de vista, hay *cuatro acciones principales* que se deben llevar a cabo para asegurar la calidad sanitaria de un alimento (Tompkin, 1986):

1. **El Control del Proceso.** Los enfoques más apropiados para este fin son el Sistema denominado HACCP, que se describe abajo, y las herramientas del Control Estadístico de Procesos.
2. **La Integración de la Calidad Mediante la Formulación.** Los técnicos en alimentos deben ser parte del equipo, aportando sus conocimientos sobre actividad de agua, pH, tratamientos térmicos, conservadores, etc., para construir, por diseño, alimentos menos susceptibles al deterioro microbiano.
3. **El Uso de Materiales de Empaque y de Etiquetas Apropriadas.** Más allá de cuestiones estéticas y comerciales, el empaque tiene la función de mantener al alimento en un medio ambiente que conserve la calidad del diseño. De igual manera, más allá de los requisitos legales, la etiqueta es el mejor medio para informarles a los consumidores sobre el manejo adecuado y la vida útil de los alimentos.
4. **La Combinación de las Anteriores.** Idealmente, el alimento con la mayor inocuidad posible es aquél que ha sido elaborado bajo condiciones de procesamiento que aseguren la destrucción de todos los microorganismos patógenos, que fue formulado para minimizar el crecimiento o supervivencia de los microorganismos patógenos y

de deterioro y que fue empacado de tal forma que el empaque retarde el crecimiento microbiano y proporcione a los consumidores instrucciones claras para su manejo y almacenamiento apropiados. Generalmente, estas combinaciones son sinérgicas.

Si todo lo anterior llegase a fallar, en cumplimiento inesperado de la Ley de Murphy, la empresa debe estar preparada para retirar el producto del mercado. Esta acción tiene tres propósitos principales (Nelson, 1987):

1. Retirar en forma pronta y eficaz el producto defectuoso o de calidad cuestionable.
2. Lograr el retiro del producto con un mínimo de consecuencias adversas. Un retiro de producto no puede ni debe ser una operación encubierta. Si existe un riesgo para la salud, la empresa debe informar de inmediato al público.
3. Destruir apropiadamente el producto defectuoso.

Una cuestión fundamental es comprender que las pérdidas causadas por la industria alimentaria a la sociedad son desconocidas e imposibles de conocer puesto que, por ejemplo, los casos de infección o intoxicación que salen a la luz pública o se reportan en las estadísticas oficiales son sólo los más severos y existe un consenso entre los profesionales en este tema, que tales casos constituyen solamente “la punta de un témpano”. Es cuestión de conocimiento y de intención por mejorar permanentemente todo lo que hacemos, lo técnico y lo gerencial.

Vivimos en una era que ha sido llamada la “Era del Conocimiento” porque, estamos observando que la calidad de vida en un país depende cada vez menos del acceso a recursos no renovables, como el petróleo, y de la creación de empresas atraídas principalmente por salarios bajos. En contraste, estamos reconociendo que la esperanza de una vida mejor está sustentada en los conocimientos y en los valores.

Si hiciéramos una encuesta acerca de esto, prácticamente todos estarían de acuerdo. Sin embargo, para que esa visión llegue a ser realidad, un

requisito previo indispensable es nuestra propia re-educación, en el sentido de una transformación en nuestra forma de pensar acerca de la gerencia y de la calidad. En otras palabras, si estamos de acuerdo en que la principal ventaja competitiva sostenible es la conjunción de conocimientos y valores, tenemos ante nosotros un serio problema y, a la vez, un enorme reto y una gran oportunidad.

Por ejemplo, la gerencia ha estado tradicionalmente sustentada casi exclusivamente en los temas de la economía y de la tecnología. Se administra casi totalmente por cifras numéricas y por eso, en el estilo prevaleciente de gerencia de calidad, todavía existe la creencia de que “lo que no se puede medir no se puede mejorar”. Sin embargo, en el complejo mundo de los negocios, estamos comenzando a aprender que lo anterior no es suficiente. A los temas de la economía y la tecnología debemos añadir los temas de la ética (tales como la confianza, la cooperación y decir la verdad) y de la estética (tales como tener empresas en las que todos sientan alegría en el trabajo). Entre otras cosas, esto significa que debemos aprender a administrar con cifras tangibles, cuantitativas y con cifras intangibles, cualitativas.

Para ser competentes y desarrollarnos, vale la pena hacernos algunas preguntas importantes: ¿Qué nos motiva a hacer un trabajo con calidad? ¿Cómo podemos aprovechar la riqueza de conocimiento tácito que toda empresa tiene en la experiencia de su personal? ¿Cómo podemos alinear los esfuerzos de todos para trabajar como equipo hacia la satisfacción de nuestros clientes?

En la industria de productos lácteos, la elaboración de queso es un proceso complejo desde el punto de vista de la calidad, aún en el caso de quesos blancos o frescos “simples” fabricados por coagulación enzimática con cuajo, en ausencia de fermentos. Por ejemplo, en relación a los aspectos técnicos de la calidad del queso y de su mejoramiento, incluyendo los aspectos relacionados con la inocuidad, el sistema de causas de variación es grande y, a manera de ilustración, aquí se señalan solamente algunas de las causas más importantes:

1. La leche. Por su origen biológico, es intrínsecamente variable en cuanto a contenidos y estado fisicoquímico de materia grasa y proteína, relación entre materia grasa y caseínas, pH y características de la población microbiana.

2. El manejo de la leche. La falta de higiene, los tiempos largos a temperatura ambiente, la agitación y el bombeo excesivo promueven la separación y la oxidación de la materia grasa y la degradación de grasas y proteínas.

3. El proceso en la tina de quesería. Aquí, el propósito principal es recuperar la mayor cantidad posible de los sólidos de la leche y controlar la textura y el contenido de humedad de la cuajada, de acuerdo al diseño del queso. Este es siempre un proceso clave. Hay interacciones muy importantes entre el nivel de conocimiento del personal y el diseño y estado del equipo, accesorios e instrumentos de medición. Las variaciones introducidas en este proceso son casi imposibles de corregir posteriormente.

4. La filosofía gerencial de la empresa. Toda empresa tiene políticas sobre cómo comprar, cómo vender, a quién contratar, cómo capacitar, cómo recompensar, cómo reducir costos, etc. Por ejemplo, el medio ambiente en la sala de manufactura y el resto de la empresa, tanto físico como psicológico, es una manifestación importante de la filosofía gerencial. Con frecuencia, aquí se encuentran causas importantes por las que la fabricación de queso es innecesariamente menos productiva de lo que pudiera y debiera ser. Todas estas fuentes de variación están interrelacionadas.

Si la variación no está controlada, como sucede en la mayoría de los casos, el proceso de fabricación es impredecible y, por consiguiente, también serán impredecibles los rendimientos, los costos y los atributos de calidad del queso. Si bien es cierto que la variación no se puede eliminar, debido a la incertidumbre y complejidad intrínsecas a todos los procesos, sí es posible y deseable controlarla dentro de ciertos límites, que se hacen cada vez más estrechos a medida que transcurre el tiempo dedicado al mejoramiento. Claramente, como señala Gravani (1993), el éxito de un sistema como

HACCP requiere el compromiso por parte de la gerencia, mismo que debe incluir la educación y la capacitación de *todos* los empleados.

5.2 ESTRATEGIAS PARA EL MEJORAMIENTO CONTINUO

Todos percibimos con claridad, ya sea en forma tácita o explícita, que en la empresa todo es variable. Parte de nuestro trabajo consiste en intentar comprender lo que sucede y luego, en base a nuestra comprensión, tomamos decisiones.

Generalmente, hacemos esto con la ayuda de cifras o datos, que son un reflejo directo de lo que sucede, de los acontecimientos. Sin embargo, como señala Wheeler (1993), aunque tomamos datos que sirvan como base para actuar, muchas veces no sabemos qué significan. En otras palabras, no comprendemos cómo digerir los números para extraer el conocimiento que encierran. Esto se debe a que generalmente hacemos unas cuantas comparaciones entre los números actuales y los números del pasado (resultados previos) o los del futuro (pronósticos). Aquí, la clave es que unas cuantas comparaciones son muy limitadas y, entonces, pueden generar mensajes contradictorios y equivocados.

Cuando tomamos decisiones basados en unos cuantos datos, es natural pensar que toda variación en los datos debe tener una causa directamente identificable. Pero, como lo advierte Kume (1985): “Ese es un enfoque directo y, a primera vista, parece ser eficiente. Sin embargo, en la mayoría de los casos, las causas encontradas por medio de ese enfoque no son las verdaderas. Si se aplican soluciones a los problemas basándose en el conocimiento de dichas causas falsas, el intento puede no tener resultados y se perderá el esfuerzo. El primer paso para encontrar la causa verdadera es una observación cuidadosa del fenómeno”. Luego de dicha observación cuidadosa, y con ayuda de algunas herramientas estadísticas sencillas, se podrá identificar la causa o causas verdaderas.

Las herramientas estadísticas sirven para darle objetividad y precisión a las observaciones. Lo que Kume resalta es la importancia de pasar del

nivel de unos cuantos acontecimientos aislados al nivel del comportamiento dinámico en el tiempo. Al graficar los datos contra el tiempo, podemos observar “la película” y esto nos dirá mucho más que ver unas cuantas “fotografías”, o sea, los datos fragmentados registrados en tablas. Pasar a este segundo nivel de comprensión es un gran salto hacia adelante para saber qué nos está tratando de decir la variación.

Según Box y Bisgaard (1987), hay dos elementos esenciales para descubrir algo: “Necesitamos un *acontecimiento crítico* que contenga información significativa, ... pero nadie va a ver el acontecimiento crítico, nadie lo va a aprovechar, a menos que esté presente un *observador perceptivo*”. Mencionan también que una de las formas de aumentar la probabilidad de que coincidan un acontecimiento crítico y un observador perceptivo consiste “en asegurarse que los acontecimientos informativos que ocurren en forma natural sean captados por la atención de un observador perceptivo” y a esto le llaman *observación informada*. La herramienta más importante, a la vez sencilla y poderosa, para la observación informada es la Carta o Gráfico de Control de Shewhart (Kume, 1985; Wheeler y Chambers, 1992).

Normalmente, cuando ocurre algún problema, el sentido común nos dice que actuemos sobre el sistema para corregir. Aunque este es un propósito noble, la gran mayoría de las veces el sistema nos derrotará y la situación empeorará. Esto nos sucede porque el sentido común nos indica que debemos intentar corregir el problema en el mismo lugar donde éste se manifiesta, buscando evidencia en el pasado cercano a la manifestación del problema. Pero, debido a la no linealidad en el comportamiento de los sistemas, esta estrategia es casi siempre incorrecta. Dice Peter Senge (1990): “existe un desajuste fundamental entre la naturaleza de la realidad en sistemas complejos y nuestras formas predominantes de pensar acerca de dicha realidad. El primer paso para corregir ese desajuste consiste en abandonar la idea de que las causas y los efectos están cerca de sí, tanto en tiempo como en espacio”. Deming (1994) le llamó “entrometimiento” al hecho de cambiar un proceso para tratar de corregir un error o defecto individual.

A partir de los años 20, Shewhart (1931) desarrolló los conceptos y la herramienta fundamental para la interpretación de la variación. Concluyó

que hay dos tipos de variabilidad: a) la que se debe a causas comunes; es decir, a la forma en que se diseñó y se opera normalmente el sistema y b) la que se debe a causas especiales o asignables. Al no comprender la diferencia entre estos dos tipos de causas, de buena fe se cometen dos tipos de errores:

1. Tratar una falla, queja, error o accidente como si se debiera a algo especial o asignable, cuando de hecho proviene del sistema; es decir, que es variación aleatoria debida a causas comunes, y
2. Tratarlos como si se debieran a causas comunes, cuando de hecho se debieron a alguna causa especial o asignable.

Cometer estos errores aumenta la variación y el costo. El primer tipo de error es el más común. Sucede algo indeseable y la reacción inmediata es responder como si se tratara de un acontecimiento aislado, esporádico. Se supone implícitamente que el sistema o proceso es exacto, que nunca se equivoca. Como lo describen Nolan y Provost (1990), con esto se incurre en pérdidas innecesarias como las siguientes:

- * Culpar a la gente por problemas que están fuera de su control.
- * Gastar dinero en equipo nuevo innecesario.
- * Perder tiempo buscando explicaciones por lo que se percibió como una tendencia, siendo que nada ha cambiado.
- * Tomar acciones cuando lo mejor hubiera sido no hacer nada.

Las causas comunes son aquellas que son parte inherente del proceso y que afectan a todos los que están trabajando dentro de él. Al ser graficada en una carta de control, la variación debida a estas causas muestra una distribución aleatoria y refleja la variación proveniente del diseño y de la forma normal de operar el proceso. La clave, para no cometer el primer tipo de error, es que no es posible averiguar la causa de una instancia aislada de variación debida a causas comunes.

Esta variación aleatoria proviene de un número muy grande de interacciones entre todos los factores que intervienen en un proceso (personal, medio ambiente, maquinaria y equipo, métodos y procedimientos,

materias primas). Por esto, cuando el proceso sólo se ve afectado por causas comunes, se dice que es un *proceso estable* o que está en un estado de *control estadístico*. En este estado, el proceso tiene identidad, su desempeño es predecible, su calidad es la máxima posible y su costo es el mínimo posible, a menos que se tomen acciones gerenciales para mejorar el diseño del proceso.

Las causas especiales o asignables son aquellas que no forman parte del diseño del proceso, sino que ocurren debido a circunstancias específicas; no ocurren todo el tiempo ni afectan a todos. Esta variación, al ser graficada en una carta de control, no muestra una distribución aleatoria. Su origen se puede averiguar mediante una investigación, con ayuda de la gente y con apoyo de otras herramientas tales como el Diagrama de Causa-Efecto o Diagrama de Ishikawa. Si un proceso se ve afectado por causas comunes y especiales, se dice que es *inestable* o que está *fuera de control estadístico*. Su desempeño, su calidad y su costo son impredecibles.

El propósito fundamental de las Cartas de Control de Shewhart es justamente ayudarnos a distinguir entre las dos situaciones. Estas cartas son series de tiempo, en las que la gente en el proceso hace un “mapeo” de la variable de interés a través del tiempo. De allí su nombre; se trata de *cartografía* o elaboración de mapas de la voz del proceso, de lo que el proceso hace en la realidad.

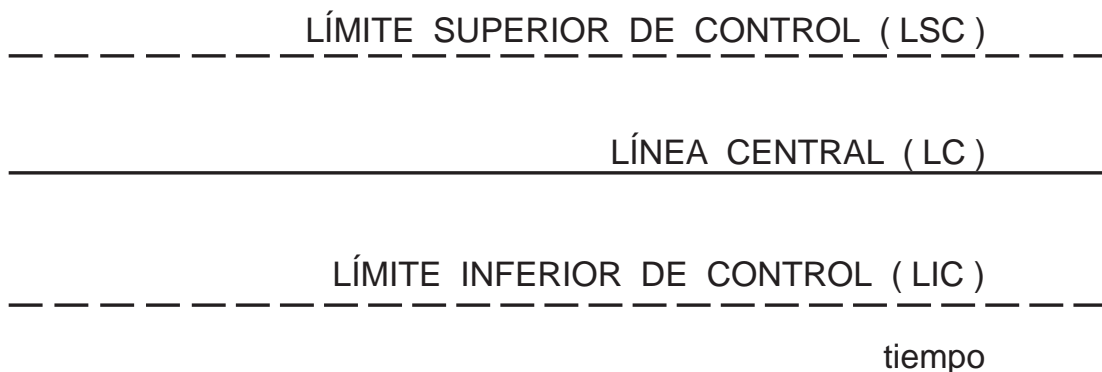


FIGURA 5. Características esenciales de una Carta de Control.

Existen varios tipos de cartas de control, según la naturaleza del proceso o de los atributos de calidad que se quieran controlar. Así, por ejemplo, en una quesería, se puede graficar una medición de pH, o el promedio y rango de un conjunto de mediciones de contenido de proteína en la leche, o una cuenta de quesos defectuosos, o una cuenta del número de defectos por queso. Sin embargo, la interpretación es esencialmente la misma en todos los casos.

Utilizando fórmulas algebraicas sencillas desarrolladas por Shewhart, a partir de los datos graficados contra el tiempo en las Cartas de Control se calculan valores llamados Límites de Control (Wheeler y Chambers, 1992). Estos valores son la definición, para fines operacionales, de la frontera entre la zona de causa comunes y la zona de causas especiales o asignables. La intención de Shewhart al desarrollar estas fronteras fue minimizar el costo económico de cometer los dos tipos de errores descritos antes.

Cuando todos los datos están dentro de los Límites de Control y su distribución es aleatoria, se adopta el criterio que el proceso es estable desde el punto de vista estadístico; es decir, que tiene variación controlada dentro de límites. El otro criterio es que solamente en este estado podemos afirmar que el proceso tiene identidad y es posible predecir su costo y su calidad. En la Figura 6, Nolan y Provost (1990) contrastan esta forma de concebir la variación y la concepción tradicional en términos de “bueno” o “malo”; es decir, en términos de especificaciones. Una de las limitantes más serias de interpretar los datos variables como “buenos” o “malos” es que no obtenemos información acerca de las causas verdaderas y, por lo tanto, tampoco para mejorar el proceso. Las cartas de Control de Shewhart son el método o definición operacional para ver si el proceso es o no es estable. Su interpretación requiere la observación cuidadosa de un número razonablemente grande de datos; equivale a ver “la película” y en esto reside fundamentalmente su poder de predicción hacia el futuro cercano.

Si hay datos fuera de los Límites de Control o si su distribución no es aleatoria, el criterio es que el proceso tiene causas especiales o asignables de variación y que, por consiguiente, está fuera de control estadístico y su

desempeño, costo y calidad son impredecibles. Cuando se identifican causas especiales, los gerentes deben ayudar a la gente a eliminarlas, con el propósito de estabilizar el proceso. Es importante reconocer que quitar causas especiales no es mejorar el proceso, sino que es tan sólo dejarlo como debería haber estado siempre. A esto se le denomina resolver problemas o apagar fuegos. Hay que hacerlo, pero no es mejoramiento. Resolver problemas puede aumentar la eficiencia, haciendo mejor las cosas, pero la eficacia - hacer cosas mejores - requiere el cuestionamiento crítico acerca del sistema mismo, no emitiendo juicios acerca de él, sino buscando áreas de alto apalancamiento para efectuar cambios estructurales, pensando juntos.

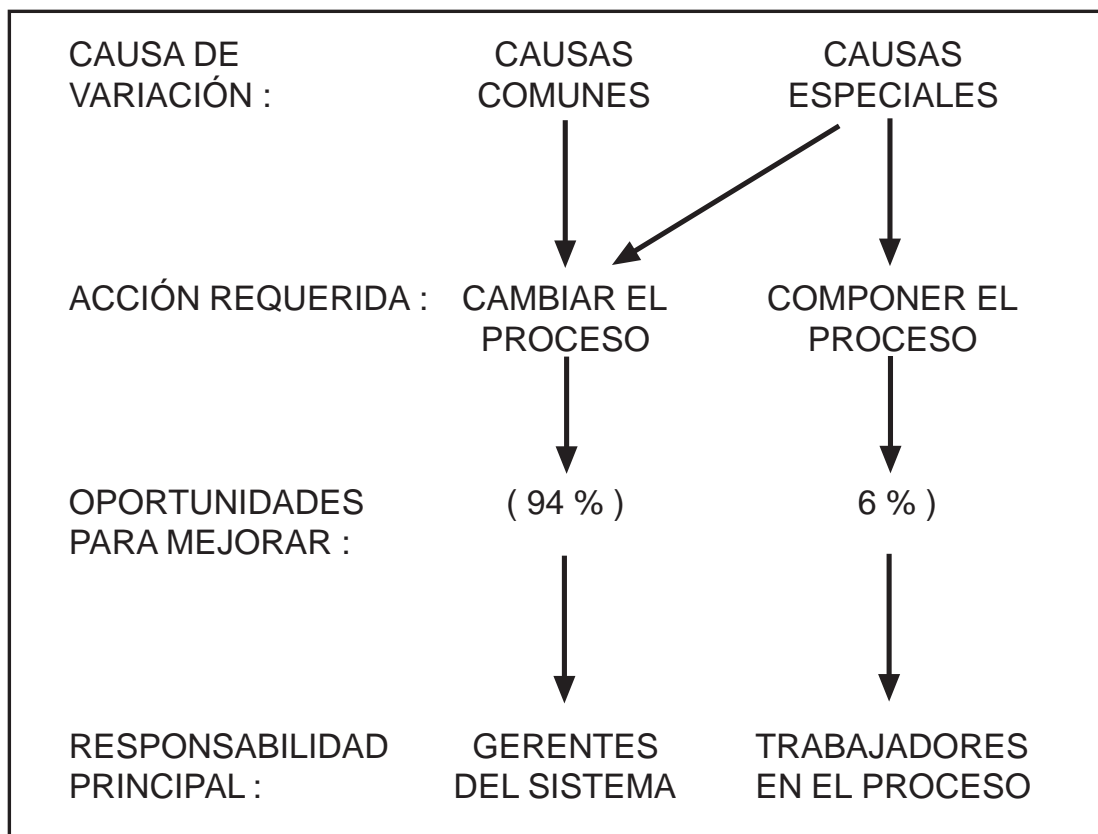


FIGURA 6. Diagrama esquemático de las reponsabilidades por el mejoramiento de la calidad.

Adaptado de Nolan y Provost (1990).

Uno de los errores más comunes en la industria es confundir los Límites de Control del proceso con las especificaciones de la empresa. Los Límites de Control se calculan estrictamente a partir de los datos generados por el proceso, pues el propósito de la carta es indicar lo que el proceso está haciendo y no lo que nosotros quisiéramos que hiciera.

De ahí que a las Cartas o Gráficos de Control se les conozca como “La Voz del Proceso”. Las metas numéricas y los presupuestos son especificaciones, por lo que no deben estar en una Carta de Control. Solamente confunden a la gente y hacen que cometa errores innecesarios e involuntarios.

Sin embargo, lograr que el proceso esté bajo control no significa necesariamente que el proceso sea de calidad desde el punto de vista del cliente. Para lograr que el proceso sea de calidad desde el punto de vista del cliente, hay que proceder a mejorarlo; es decir, a efectuar cambios estructurales mediante intervenciones gerenciales, ya sea para disminuir la amplitud de la variación, para modificar el promedio de lo que el proceso produce, o ambas cosas. Para esto sí se necesitan las especificaciones, pues representan La Voz del Cliente y deben ser la guía para las intervenciones gerenciales de mejoramiento.

Entonces, mejorar un proceso significa, en este contexto, trabajar sobre el sistema, sobre su diseño y sobre su forma usual de funcionamiento, con la ayuda de todos, para construir uno mejor. Es por lo anterior que el mejoramiento de los procesos es principalmente responsabilidad de la alta gerencia, pues solo ésta tiene los medios y la autoridad para hacer cambios estructurales. Finalmente, debe haber un seguimiento cuidadoso, para asegurar que las mejoras se mantengan, sin olvidar que siempre habrá cosas adicionales por mejorar.

Con demasiada frecuencia, las empresas se limitan a eliminar causas especiales, bajo la suposición (implícita) de que todo es cuestión de resolver problemas, de apagar incendios. Por otro lado, tener conocimientos sobre Control Estadístico de Procesos es indispensable, pero insuficiente. Es igualmente importante tener conocimientos sobre Ciencia y Tecnología de elaboración de quesos. Pero aún esta combinación es insuficiente,

pues es imprescindible que la empresa tenga una filosofía gerencial que permita que fructifiquen los esfuerzos de mejoramiento.

Mientras existan barreras y obstáculos que impidan que la empresa utilice los resultados de llevar Cartas de Control en la sala de producción, no habrá mejoramiento significativo de la calidad ni disminución perdurable de los costos.

Algunos ejemplos comunes de estas barreras y obstáculos son:

- * Políticas de compras y de contratación basadas solamente en el precio.
- * Sistemas de recompensas basados en el desempeño individual.
- * Insuficiente inversión en capacitación, en investigación y desarrollo y en investigación de los deseos y expectativas de los clientes.
- * Una atmósfera de temor y desconfianza.
- * Un liderazgo sustentado en el mando y en el control.
- * Falta de constancia en los propósitos.

En la fabricación de quesos blancos pasteurizados, las variables preferidas para su control estadístico serían, por ejemplo, el conteo de células somáticas en la leche cruda, la relación grasa/proteína en la leche, las condiciones tiempo/temperatura de pasteurización, la relación cuajo/leche, el pH al momento de retirar el lactosuero, etc.

Es importante reconocer que el control de la variación es más eficaz en tanto se realice más “aguas arriba”, en las primeras etapas, para prevenir la propagación descontrolada de la variación en las etapas siguientes del proceso.

Concluyendo, el sendero de la optimización y el mejoramiento continuo de la calidad es arduo y lento pero, con el tiempo, los beneficios para todos crecen en forma exponencial. Se requiere constancia en los propósitos y en el aprendizaje. Como decía Deming (1994), “no hay pudín instantáneo” ni recetas mágicas. Optimizar procesos es una tarea cuyos avances se miden en años.

5.3 EL SISTEMA HACCP

*“Todo alimento tiene un valor nutritivo igual a cero,
a menos que alguien se lo coma”*

Malcolm M. Bourne
Cornell University

El sistema “Análisis de Riesgos y Puntos Críticos de Control”, conocido más bien como HACCP, por el acrónimo de su nombre en inglés (Hazard Analysis and Critical Control Points), existe desde hace casi cuatro décadas. Fue desarrollado originalmente por la empresa The Pillsbury Co., en la década de los años 60, en colaboración con la NASA y con los U.S. Army Natick Research and Development Laboratories, como un medio para asegurar la ausencia de riesgos en los alimentos producidos para el programa espacial de EUA.

Estas instituciones habían comprendido que los métodos de “control” de calidad existentes en ese entonces en la industria alimentaria *no* permitían *asegurar* que no habría problemas asociados con los alimentos, durante las misiones espaciales. ¿Se pueden Uds. imaginar el costo de tener que “abortar” una misión espacial porque un astronauta se enfermó de fiebre tifoidea?

Este sistema pasó al dominio público en 1971 y, a partir de entonces, ha sido incorporado en la práctica empresarial y en la legislación de un número grande y creciente de países. Actualmente es parte integral del Codex Alimentarius, organización subsidiaria de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y de la Organización Mundial de la Salud (OMS), que cuenta con 156 países afiliados (Helguera, 1998). Sin embargo, la verdadera fuerza motriz que ha impulsado la adopción de este sistema ha sido el comercio, a través de la demanda de los clientes de la industria alimentaria.

En este sistema se reconocen tres tipos de riesgos que pueden afectar la salud pública: biológicos, químicos y físicos. Todos son importantes, pero predominan los biológicos y, dentro de esta categoría, los microbiológicos.

La mayoría de los problemas de salud pública causados por falta de calidad en los alimentos se deben a intoxicaciones y a infecciones. Las primeras se producen al ingerir un alimento que contenga toxinas producidas por microorganismos, generalmente bacterias, mientras que las segundas se producen al ingerir alimentos que contengan microorganismos patógenos viables, de nuevo generalmente bacterias, que pueden crecer y establecerse en nuestro cuerpo.

El sistema se basa en la definición operacional de riesgo (“cualquier propiedad biológica, química o física que pueda causar un riesgo inaceptable para la salud del consumidor”) acuñada por el Comité Nacional Asesor sobre Criterios Microbiológicos para los Alimentos, de EUA, y consta de siete principios generales (Pierson y Corlett, 1992)

1. Evaluación de los Riesgos a través de todo el proceso.
2. Determinación de los Puntos Críticos de Control que se requieren para controlar dichos riesgos.
3. Establecimiento de los Límites Críticos que se deben cumplir en cada uno de los Puntos Críticos.
4. Establecimiento de procedimientos para dar seguimiento a los límites críticos.
5. Establecimiento de acciones correctivas que se realizarán cuando se identifique una desviación al dar seguimiento a los Puntos Críticos.
6. Establecimiento de sistemas eficaces de registro para documentar el sistema, y
7. Establecimiento de procedimientos para verificar que el sistema HACCP está funcionando correctamente.

A lo anterior comunmente se le añaden, por ejemplo, la designación de un coordinador, el desarrollo de un diagrama de flujo del proceso y el establecimiento de programas permanentes de capacitación para operarios y supervisores.

Uno de los aspectos más interesantes del Sistema HACCP es que está basado en principios *generales*. Esto le permite una gran flexibilidad de adaptación a todo tipo de empresas alimentarias pero, a la vez, contiene

un mensaje implícito de responsabilidad para la empresa en el sentido de que, en la práctica, el sistema solamente será tan bueno como lo sean los *métodos* empleados para ponerlo en práctica.

Es aquí donde el nivel de conocimiento de la empresa y su filosofía gerencial juegan un papel central. Por ejemplo, hay formas mejores que otras para hacer un flujograma del proceso, se requiere un nivel razonable de conocimiento en ciencia y tecnología de alimentos, particularmente en el área de microbiología aplicada; es importante que haya una atmósfera libre de temor para que fluya la comunicación y el sistema funcionará mucho mejor en una empresa donde la capacitación sea vista como una inversión y no como un gasto.

Así, por ejemplo, la metodología de ISO 9000 puede ser la mejor para fines de registro, de calibración de instrumentos de medición y de documentación de procedimientos. De hecho, no hay realmente incompatibilidad entre HACCP e ISO 9000. Sus fundamentos filosóficos son muy semejantes.

Por otro lado, tal vez el mejor método que se conoce para representar el proceso en un diagrama de flujo es el de Flujogramas de Despliegue (Tribus, 1989), ya que permite ver y mejorar las interacciones entre la gente y las operaciones de su trabajo. Los diagramas de flujo tradicionales son diagramas idealizados de operaciones y, para asegurar y mejorar la calidad y la inocuidad, no debemos olvidar que el trabajo lo hacen las personas interactuando entre sí y con las operaciones.

Estamos hablando, pues, de conocimiento aplicado a lograr inocuidad y mejoramiento de la calidad. Por ejemplo, la integración de la calidad microbiológica mediante la adición de conservadores es una acción muy valiosa cuando el caso la amerita y cuando se emplea el conservador adecuado y se añade en la cantidad apropiada, pero puede llegar a ser desastrosa cuando se usa un conservador inadecuado ya sea por falta de conocimientos, porque la empresa tiene la política de comprar al proveedor de menor precio o, en el caso más grave, por la combinación de ambos factores.

Algunas de las creencias equivocadas más comunes son aquellas que afirman que todos los conservadores son eficaces en todos los alimentos, justificándose así el empleo casi universal de aquellos de menor precio unitario y aquellas que afirman que los conservadores destruyen microorganismos, por lo que sirven para corregir los problemas originados por falta de Buenas Prácticas de Manufactura en el proceso de elaboración de los alimentos.

El ejemplo clásico es el mal uso y el abuso del benzoato de sodio. No es inusual encontrar empresas en las que la gente no sabe que es prácticamente ineficaz en alimentos con pH mayor a 3.5. Por ser el conservador menos costoso, tiende a ser usado en todo tipo de alimentos. Como consecuencia de estas creencias y prácticas equivocadas, se tiende a descuidar el proceso y se pretende cubrir la falta de calidad con concentraciones inadecuadas de este conservador.

Entonces, de buena fe, pero sin conocimiento suficiente, en ocasiones fabricamos un alimento que no está debidamente protegido y desperdiciamos recursos y oportunidades. En realidad, los conservadores deben su nombre a que conservan una buena calidad ya existente y, desde luego, hay distintos tipos de conservadores para distintos tipos de alimentos.

En el caso de los quesos, por ejemplo, solamente se pueden usar en algunos casos conservadores fungistáticos, aplicados en la superficie del producto. Finalmente, con frecuencia se olvida que los mejores conservadores de la calidad de los alimentos son las medidas preventivas que enfatiza el HACCP, como la higiene y el frío. Al desestimar la importancia estratégica del conocimiento, con demasiada frecuencia manipulamos los símbolos de solución pero no mejoramos la calidad.

Todo lo anterior es, ante todo, una cuestión gerencial y no una cuestión puramente técnica. De esta manera, el sistema HACCP no es una metodología que se puede simplemente *implantar*, sino una que se debe *integrar* a un sistema más grande que lo contenga y en el que encaje en armonía. Toda empresa es un sistema en el que sus componentes deben estar interrelacionados hacia la consecución de un propósito construido y

compartido por todos. En términos sencillos, debe haber congruencia entre lo técnico y lo administrativo. De ahí la importancia de la gestión de la calidad.

Aunque la falta de recursos financieros es con frecuencia la debilidad más visible en las empresas medianas y pequeñas, tal vez la debilidad más importante, y por lo tanto el área más importante de oportunidad para el mejoramiento continuo en el mediano y largo plazo, es una debilidad de índole estructural: el sistema subyacente de gerencia. En este sentido, es importante recordar que HACCP es una herramienta gerencial o, como la describe Jouve (1998), “un enfoque complementario cuyo propósito es desarrollar un plan de aseguramiento de la inocuidad específico para condiciones particulares de producción dentro del marco de un enfoque integral hacia la calidad y la inocuidad de los alimentos”.

Una estrategia sensata para poner en práctica el sistema HACCP debiera incluir la capacitación de la alta gerencia en aspectos gerenciales de largo alcance, en particular control estadístico de procesos, pensamiento sistémico y trabajo en equipo. En la siguiente lista se incluyen algunos ejemplos que reflejan síntomas pertinentes del estilo prevaleciente de gerencia, que se debieran estudiar y mejorar para que la competitividad de la industria de la quesería y la inocuidad de sus productos alcancen niveles de clase mundial en un horizonte de tiempo razonable:

1. Los intentos por tener calidad dependen fuertemente de la inspección de los productos terminados, en lugar de depender del mejoramiento de los procesos “aguas arriba” y del control estadístico. HACCP tiene un énfasis preventivo respecto a los problemas de inocuidad y, por ello, para tener éxito se requiere un cambio en la forma de pensar.

2. El mando y el control son una parte importante de los valores centrales del sistema prevaleciente de gerencia, en lugar de que ese lugar lo ocuparan el liderazgo para la calidad, el aprendizaje en grupo y la autonomía en la toma de decisiones. El mando y el control permiten gerenciar las acciones por separado y obtener obediencia, pero son un obstáculo para la gerencia de las interacciones tales como el trabajo en equipo y el mejoramiento de la calidad, que son esenciales y requieren compromiso.

3. Muchas veces el personal no tiene suficiente información más allá de sus tareas específicas y la información fluye con dificultad. Esto no es solamente un obstáculo para la creatividad y la innovación, sino además para la respuesta rápida y eficaz a los riesgos de salud pública.

4. Tal vez debido en buena medida a la falta de recursos financieros, las políticas de compra muchas veces están inclinadas hacia el menor costo posible. Este es un obstáculo contra las relaciones de largo plazo con el menor número posible de proveedores, crea variación innecesaria en la calidad y aumenta significativamente la cantidad de inspecciones. Como resultado de todo esto, los costos de operación son mucho mayores de lo necesario y el control y aseguramiento de la calidad y de la inocuidad se vuelven extremadamente difíciles.

5. Con frecuencia hay exceso de personal en las plantas de quesería. Si esto es injustificado, tiene un impacto significativo en la competitividad y hace que la operación, incluyendo HACCP, sea más compleja y costosa de lo necesario. Por otro lado, el “adelgazamiento” o despido de personal no es una solución por sí misma y está prácticamente condenada a fracasar si no se estudian cuidadosamente y con anterioridad las causas de fondo que están detrás del exceso de personal.

6. La división estricta y rígida de funciones tiene como consecuencia un alto grado de fragmentación. La gente sabe qué hacer, pero es improbable que sepa *por qué* hace su trabajo y cómo encaja éste en el sistema más grande. Puesto que los procesos ocurren *a través* de todas las funciones, mejorar su desempeño en empresas fragmentadas es muy difícil. Bajo estas condiciones, es altamente probable que exista una sensación falsa de seguridad en lo que concierne a la inocuidad, que la respuesta a los problemas de inocuidad no sea oportuna y que la gente no sienta orgullo por su trabajo. Este último aspecto, aunque intangible, tiene un impacto significativo en la eficacia de una herramienta gerencial como HACCP.

Desde luego, estas debilidades del sistema gerencial están interrelacionadas y no sólo afectan las probabilidades de éxito con HACCP, sino que de hecho trabajan en contra del aseguramiento preventivo de la inocuidad. Entonces, el estilo gerencial es una parte

importante del problema de inocuidad, pero también es una parte importante de la solución.

En última instancia, lo que se requiere es una transformación de la gerencia. Aunque esto toma años, además de la intención de hacerlo, de la constancia de propósitos y del uso de métodos adecuados, es importante adquirir consciencia de que vivimos en una nueva era económica que requiere un estilo gerencial *cualitativamente* diferente para alcanzar una posición competitiva razonable. Desde luego, esto tiene que ver con aprendizaje colectivo y no con señalamiento de culpables. Cuando se enfatiza la gerencia de las interacciones, los señalamientos de culpabilidad no sólo son irrelevantes, sino además contraproducentes.

Debido a muchas razones comprensibles, lo que prevalece en la industria de quesería es la *gerencia por cantidad*, y no la gerencia por calidad. Por ejemplo, se pone un gran énfasis en cumplir con cuotas de producción a como dé lugar; lo que constituye un obstáculo formidable para el control y el mejoramiento de la *calidad*. Este es un asunto que no se debiera soslayar o subestimar, porque la implantación (antisistémica) de sistemas de calidad e inocuidad conlleva un alto grado de riesgo de fracaso, que ocurre típicamente a los dos o tres años de haber comenzado.

En general, los sistemas gerenciales de inocuidad aún no están desarrollados adecuadamente en la industria pequeña y mediana de quesería en América Latina, además de que los recursos financieros son escasos. Por consiguiente, al considerar estrategias para poner en práctica HACCP, es importante detenerse un momento y reconocer que hay una interdependencia crítica entre HACCP y los Programas de Prerequisitos (PPR); es decir, todas aquellas prácticas y condiciones que son esenciales para la inocuidad y que necesitan estarse practicando antes de intentar poner en práctica un sistema como HACCP.

No es posible sobre-enfatizar que las Buenas Prácticas de Higiene (BPH) y las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) “son condiciones frontera para la producción, manufactura y distribución de alimentos inocuos y saludables” (Jouve, 1998). Lo que esto significa en la práctica es que estos requisitos básicos se deben cumplir antes, y distinguirse, aunque no

separarse, del desarrollo del sistema HACCP. Después de todo, HACCP fue creado y desarrollado originalmente desde la perspectiva de industrias alimentarias de gran tamaño en las que las BPM se tomaban por dadas.

Desde esta perspectiva, el establecimiento y verificación de las BPM debiera ser una de las primeras actividades dentro de una estrategia gradual para poner en práctica el HACCP. De hecho, cumplir con los pre-requisitos de HACCP en la industria de la quesería puede demandar más recursos financieros que poner en práctica el mismo HACCP.

Dadas las restricciones financieras prevalecientes, es poco probable que las empresas pequeñas dirijan estos esfuerzos en forma independiente; más bien, como sucede con los negocios menos desarrollados en general (World Health Organization, 1999) es más probable que se requiera algún tipo de intervención gubernamental, que pudiera incluir ayuda para la capacitación y el establecimiento de prioridades y de medidas obligatorias para aquellos productos y procesos identificados como de alta prioridad.

El reto no es trivial. Por ejemplo, es muy probable que en la mayoría de las plantas se deban mejorar por lo menos las siguientes condiciones básicas operativas y ambientales, para llevarlas a su estado de normatividad:

- * Baños y sanitarios.
- * Instalaciones para lavarse e higienizarse las manos.
- * Otras instalaciones y materiales para la higiene personal (cofias, cubrebocas, batas, botas, guardarropas).
- * Instalaciones para disponer de basura y otros desechos.
- * Instrumentación de registro de tratamientos tiempo-temperatura para los equipos de pasteurización.
- * Instrumentación para la medición de pH.
- * Instrumentación para la medición de actividad de agua.
- * Equipo de diseño apropiado para la pasteurización de la leche.
- * Vehículos refrigerados de transporte para la distribución del producto terminado.
- * Laboratorio de microbiología.
- * Salas de capacitación, equipo audio-visual y materiales para capacitación.

Prácticamente todos los empresarios y las agencias gubernamentales están dolorosamente conscientes de estas necesidades, por supuesto. Se mencionan aquí sobre todo para ilustrar que la mayoría de los programas de cumplimiento con requisitos requieren también recursos financieros.

La capacitación es una actividad esencial y permanente, y debiera realizarse en instalaciones razonablemente adecuadas para el propósito. Más aún, la inocuidad es algo que se va construyendo a través de toda la cadena agroalimentaria, y no solamente dentro de las plantas de procesamiento; por lo que esto sugiere que se haga una distinción entre actividades gubernamentales, centradas en la legislación y en el cumplimiento regulatorio, y actividades dentro del ámbito de la producción primaria de leche, de las plantas de quesería y de la distribución y el consumo de los productos terminados.

Si se deposita toda la responsabilidad por la inocuidad en manos de los empresarios queseros, aún el mero seguimiento de todas las materias primas en la búsqueda de riesgos probables se vuelve costoso e ineficaz, la transición a pensar en forma preventiva se vuelve prácticamente imposible y los demás “grupos de interés”, tales como los productores de leche, los que transportan leche cruda de las fincas a las plantas, los distribuidores de los quesos y los operadores en las organizaciones comerciales que atienden al público pudieran perder la oportunidad de mejorar sus propias operaciones.

Una premisa subyacente es que, además de tener los Programas de Requisitos operando, la gente tenga acceso a los materiales de apoyo, al equipo, a la capacitación y a la información. Tomando en cuenta que este esfuerzo toma necesariamente varios años, y que hay menos experiencias en la industria de productos lácteos que en otros ramos de la industria alimentaria, es esencial que los “grupos de interés” estén involucrados en el proceso de desarrollo desde el comienzo; es decir, desde la etapa de diseño.

Como sucede generalmente en todos lados, hay más problemas que recursos y por lo tanto se vuelve imperativo establecer prioridades. Esta es

una cuestión de juicio de valor, pero se debieran considerar los siguientes criterios:

- 1) Alimentos y procesos de alto riesgo, y las características de sus consumidores (quesos blancos de alta humedad, sin fermentos lácticos, por ejemplo).
- 2) Impacto económico de la calidad de los productos sobre la rentabilidad de la empresa.
- 3) Cantidad de inversión requerida.
- 4) Información epidemiológica acerca de las enfermedades transmitidas por los alimentos producidos por la empresa.

La construcción de un sistema eficaz de inocuidad alimentaria a través de una cadena agroalimentaria es un proceso iterativo de aprendizaje para todos los involucrados. Por consiguiente, es sabio visualizar a largo plazo. Parte de esto tiene que ver con el involucramiento de los productores de leche.

Por ejemplo, un plan HACCP en cualquier empresa de quesería que use leche cruda como materia prima significa que necesariamente se debe tener un escrutinio estrecho sobre la leche cruda y, como consecuencia, de su fuente: la finca o granja lechera. Aunque aún no es obligatorio, en varios países ya se está pensando en poner en práctica el sistema HACCP en la granja o finca lechera (Cullor, 1997; Ponce-Ceballo, 1999).

Los planes tradicionales de incentivos para la producción de leche con alta calidad microbiológica dependen básicamente de bonos y penalizaciones, pero esto no es suficiente para el éxito de HACCP, con su énfasis en acciones preventivas. Por lo tanto, también se necesita capacitar a los productores de leche en sistemas aplicados de inocuidad alimentaria y es importante ayudar a facilitar la adquisición de conciencia de los beneficios económicos de estos sistemas en el plazo más largo.

Tener Procedimientos Estándar de Operación (PSO) y Procedimientos Sanitarios Estándar de Operación (PSEO) por escrito no significa mucho

en la práctica cuando la gente se ve obligada a trabajar con lo que tiene a su alcance, aún si es inapropiado o insuficiente. No es inusual observar en la industria latinoamericana de quesería que se requiere mucho ingenio y sacrificio personal para mantener las plantas en operación. Se sabe a qué hora comienza el trabajo, pero la hora de salida es impredecible, ya que está sujeta a la cantidad requerida de producto y a los problemas operativos impredecibles que habrá que resolver sobre la marcha.

Más aún, trabajar bajo tales condiciones de incertidumbre genera costos escondidos adicionales, tales como no tener tiempo para leer literatura técnica y comercial, ni para pensar acerca de cómo mejorar el sistema de producción. Aunque son aparentemente pequeños cuando se intenta expresarlos en cifras numéricas, estos costos no debieran subestimarse porque se acumulan de forma exponencial con el pasar de los años.

Es extremadamente difícil mantenerse actualizado con los desarrollos tecnológicos y gerenciales si el aprendizaje organizacional en las plantas de quesería solamente se da a través de la experiencia operacional bajo condiciones difíciles.

Es importante reconocer que HACCP es solamente una parte de un esfuerzo integrado y más amplio, que toma tiempo desarrollar. En términos de estrategia para poner este sistema en funcionamiento, se debe contar con una plataforma básica que permita poner en práctica el sistema de forma gradual, paso a paso. No se debe esperar que este proceso tome menos de alrededor de tres a cinco años.

El mejoramiento de los recursos de información técnica y gerencial en las empresas debiera incluir la membresía del país en la Federación Internacional de Lechería, aunque el esfuerzo global debe involucrar no solamente libros y revistas técnicas, computadoras, etc., sino aspectos gerenciales tales como adecuar las políticas de acceso de todo el personal a la información.

Uno encuentra que, en general, a la gente en las empresas le gusta la idea de trabajar para el mejoramiento. También se siente orgullosa de

lograr lo que logra, bajo circunstancias a veces difíciles, y tiende a pensar que todo sería mejor si se tuvieran más recursos económicos.

La motivación para el mejoramiento es una fuente importante de fortaleza, pero no siempre se justifica la creencia que todo es cuestión de dinero. De hecho, los recursos financieros son solamente una parte importante de los esfuerzos necesarios para mejorar la posición competitiva.

Cuando hay dinero suficiente, pero no se reinvierte en la empresa, uno de los efectos más serios, además de los riesgos relacionados con la salud pública, es un costo mucho más alto de producción. Lo que esto significa es que es más económico en el mediano y largo plazo reinvertir en la empresa, para mejorarla, que continuar operando bajo condiciones alejadas del óptimo.

Uno de los efectos de la falta de inversión es que muchas plantas no están listas para un programa como HACCP, debido a que no cumplen con algunas de las precondiciones relacionadas con infraestructura e instalaciones apropiadas. Si se intenta poner en práctica el sistema HACCP sin estos prerequisites, principalmente Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) e instrumentación adecuada para la medición de temperatura y pH, necesariamente se tendrá un número excesivo de Puntos Críticos de Control, lo que hace que el sistema sea difícil de manejar y podría ser la causa de que falle (Mitchell, 1998).

En síntesis, la debilidad principal de la mayoría de las empresas pequeñas y medianas de queso en América Latina es la falta severa de recursos financieros, el hecho de que las plantas no están listas para HACCP y el sistema gerencial subyacente, que generalmente le otorga poco valor al conocimiento, le pone demasiado énfasis al corto plazo y depende fuertemente de la autoridad formal, el mando y el control.

Tenemos ciertamente un reto difícil, pero también hay una gran fortaleza en la intención por aprender y trabajar juntos para mejorar el desempeño de nuestras empresas y el bienestar de nuestra gente y ésta es una gran

fuerza de apalancamiento para llegar a ser, luego de algunos años, altamente competentes.

5.4 UN SISTEMA INTEGRAL DE CALIDAD E INOCUIDAD

HACCP es el mejor sistema preventivo de aseguramiento de la inocuidad que la industria alimentaria ha sido capaz de desarrollar en la práctica, pero no es un sistema perfecto; como toda creación humana es susceptible de ser mejorado y, de hecho, está madurando y evolucionando.

Sin embargo, precisamente porque es un sistema que fue originalmente diseñado para asuntos específicos y exclusivos de salud pública, ha dado lugar a controversias que aún persisten, pues hay quienes creen que su papel debe permanecer restringido a cuestiones de salud pública pero también hay otros que creen que debiera formar parte de un sistema integral de control y mejoramiento de la calidad en su acepción más amplia y profunda. Esta controversia no ha sido resuelta y algunos expertos en la materia temen que la integración de los sistemas de calidad y de inocuidad diluya los esfuerzos para controlar los atributos asociados con la salud pública (Buchanan, 1990).

También hay evidencia creciente de que tales temores pueden ser infundados, en el sentido de que se han previsto y observado beneficios tangibles significativos al integrar HACCP con las herramientas del Control Estadístico de Procesos (White, 1988; Surak et al., 1998) o con sistemas de gerencia de calidad total tales como los propuestos por Deming o Ishikawa (Anónimo, 1991; Bolton et al., 1999). Es muy probable que estas integraciones conceptuales y operativas sean las que prevalezcan en el futuro previsible.

De cualquier forma, actualmente, cuando la gerencia de una empresa de la industria de productos lácteos decide iniciar el camino del mejoramiento de la calidad en forma sistemática; es decir, con un método, se encuentra ante una situación confusa pues algunos clientes demandan Certificación ISO, otros Certificación HACCP y, al mismo tiempo, al examinar la oferta

de servicios de consultoría y capacitación, la empresa se encuentra con un número grande de opciones que van, además de ISO y HACCP, desde el Sistema de Conocimiento de W. Edwards Deming hasta “Calidad Total”, “Benchmarking”, “Facultamiento” y “Reingeniería”, por mencionar las más frecuentes.

Claramente, no es sencillo para el empresario saber, con poca incertidumbre, cuál es el mejor enfoque para su empresa. En esta situación, tal vez la mejor recomendación inicial es solicitar la ayuda de un colega empresario que haya tenido éxito sostenido algunos años, no para copiar el enfoque, sino para estudiarlo.

Algunos aspectos son candidatos naturales para el mejoramiento de HACCP y, para explorar algunos, vale la pena ver primero algunas de las definiciones operacionales más importantes de este sistema (Pierson y Corlett, 1992) :

Punto Crítico de Control. Cualquier punto o procedimiento en un sistema específico de producción de alimentos, en el que la pérdida de control puede causar un riesgo inaceptable para la salud pública.

Límite Crítico. Unas o más tolerancias que se deben cumplir para asegurar que un punto crítico de control efectivamente controla un riesgo microbiológico, químico o físico. Los límites en estos puntos representan las fronteras para considerar que el alimento es seguro.

Seguimiento. Una secuencia planificada de observaciones o mediciones, diseñada para producir un registro preciso y verificar que el procedimiento en un punto crítico de control esté dentro de los límites críticos.

Control. El manejo de las condiciones de una operación, para mantener el cumplimiento con los criterios establecidos.

En otras palabras, se trata de que, cuando no se cumple con un Límite Crítico en un Punto Crítico de Control, se debe parar el proceso y se deben efectuar las medidas correctivas del caso. Desde luego, el propósito es noble, pero lo que falta por definir es un método, mismo que el sistema

deja a la discreción de la industria. La ausencia de un método pudiera ser un reflejo de la flexibilidad requerida para que el sistema HACCP se pueda adaptar a cualquier proceso de manufactura de alimentos pero, por otro lado, las definiciones operacionales quedan incompletas, no permiten establecer un lenguaje común en el que estén de acuerdo todos los involucrados y, finalmente, dejan abierta la posibilidad de que el sistema no cumpla con sus propósitos, pues no todos los métodos del “control de la calidad” la controlan en realidad.

Como es de anticiparse, la práctica prevaleciente en la industria consiste en cambiar las condiciones del proceso cada vez que se incumple una especificación hasta que, en la siguiente observación, se verifique que el proceso cumple de nuevo con las tolerancias especificadas en los límites críticos. Este es el problema. Suena lógico, pero no sólo no funciona en forma sostenida sino que empeora el desempeño del proceso la mayoría de las veces.

A simple vista, todo da la impresión de que la calidad en la industria de la quesería sería una maravilla si tan sólo todas las empresas tuvieran certificación HACCP y, mejor aún, certificación ISO además. La pregunta crítica es: *¿Será cierto ésto?* Si no fuera así, pudiera ser que estuviéramos ante un caso de aplicación del Teorema No. 2 del Dr. W. Edwards Deming: “Estamos siendo arruinados por gente haciendo su mejor esfuerzo”.

Tal vez el área principal de oportunidad para mejorar ésto reside en que HACCP es un sistema basado en el cumplimiento con especificaciones; en otras palabras, mientras el proceso o el alimento no se sale de especificaciones, se supone que todo marcha bien y, cuando se sale de especificaciones, se supone que algo marcha mal y se toman acciones correctivas, generalmente haciendo algún cambio en el proceso.

Considerando que cerca del 94 % de las variaciones se deben a causas comunes, como se ilustró en la Figura 6, es fácil equivocarnos al cambiar un proceso sin saber qué fue lo que hizo que se saliera de especificaciones. De hecho, casi siempre el desempeño del proceso empeorará. Lo que esto nos indica es que, para que un sistema como HACCP sea eficaz, también los gerentes requiere capacitación en los

conceptos y las herramientas para el mejoramiento de la calidad, no sólo los operarios y supervisores. Los operarios y supervisores trabajan dentro del sistema, mientras que la tarea de los gerentes es trabajar sobre el sistema, con la ayuda de todos, para mejorarlo.

Una de las tareas principales de los gerentes consiste en crear un medio ambiente en el que se pueda aprender, dialogar, experimentar sin temor, estudiar el entorno, trabajar en equipo, reducir las distancias sociales entre la gente, comunicarse en la verdad, expresar la creatividad; en otras palabras, crear un campo que permita comprometerse con la calidad como forma habitual de trabajo y sentir orgullo y alegría en el trabajo y en el aprendizaje.

Es posible apreciar el grado de avance en esta transformación al visitar empresas de clientes o proveedores potenciales. Se recomienda que se ponga especial énfasis en observar y escuchar cuidadosamente, siendo inquisitivo solamente en relación con los asuntos explícitos y la información factual más importante. Bajo la premisa que “un sistema sólo da lo que es capaz de dar”, mediante observación y la experiencia en el campo no es difícil inferir, con poca incertidumbre, la estructura fundamental y las políticas que generan los acontecimientos que uno observa y escucha, tales como las condiciones físicas en las plantas de quesería, las actitudes del personal, el nivel de tecnología, el conocimiento acerca de la ciencia y la tecnología relevantes, el flujo de información, los niveles de autonomía para la toma de decisiones, las formas de pensar, las percepciones de la gente acerca de sus problemas y sus posibles soluciones, etc.

Todo esto es parte del desempeño del sistema y tiene un impacto definitivo sobre todas las dimensiones de la calidad (Deming, 1994), incluyendo la inocuidad. Aunque es interesante, y aún muy importante para ciertos propósitos, inspeccionar documentos y procedimientos escritos, no es suficiente, sigue habiendo gran apalancamiento en observar y escuchar.

Por ejemplo, es importante observar si la empresa está comprometida con políticas gerenciales de tal forma que no quede fuera del sistema HACCP ninguna parte de la cadena “de la finca a la mesa”, de la cuál una parte esencial es la producción de leche en el campo, y que todos compartan ser

“dueños” de los esfuerzos diarios para asegurar y mejorar la inocuidad, desde los gerentes hasta los operarios, con el propósito último de que el sistema HACCP funcione con eficacia en el *piso de producción*.

Lo anterior constituye, implícitamente, una propuesta para mejorar el sistema HACCP cambiando el enfoque de cumplimiento con especificaciones y substituyéndolo por el pensamiento estadístico y las herramientas del Control Estadístico de Procesos, integrando además el sistema de conocimiento de Deming y procedimientos ISO-9000 actualizados para registro, documentación y calibración, que encajan muy bien en esta propuesta de síntesis.

Por otro lado, además de los cambios sugeridos arriba, tal vez sería necesario también mejorar la nomenclatura; por ejemplo, el término “límites críticos” causa confusión con el término “límites de control” ya que el primero se refiere a especificaciones mientras que el segundo se refiere a la definición operacional de estabilidad dinámica del proceso en el tiempo.

El mensaje central de esta propuesta es que, para ser eficaces, la estandarización y los esquemas de inspección deben ser parte de un sistema más grande que los contenga pues, de otra manera, se puede frecuentemente dar el caso de que la industria de quesería haga muy bien, con eficiencia, lo que no se debe hacer; es decir, que puede caer, de buena fe, en la trampa de institucionalizar la disfuncionalidad, de mejorar la calidad de lo que no debiera existir.

En ese sistema más grande se encuentra la motivación intrínseca de la gente por mejorar la calidad, la inclusión del cliente para ser el verdadero “certificador”, el cuestionamiento de los valores nucleares de la empresa, el estudio permanente del entorno, la ausencia de temor para la experimentación y para cometer errores, la cultura de la auto-observación y el diálogo y un medio ambiente que facilite el trabajo en equipo, el aprendizaje social, la expresión de la creatividad y la innovación. Anticipación, prevención, atención concentrada “aguas arriba”, pensamiento sistémico y pensamiento estadístico son, en esta

propuesta, valores superiores, pero concatenados, a estandarizar, inspeccionar y certificar.

Dicho de otra manera, la propuesta para la industria de la quesería es que sí es posible asegurar la inocuidad de sus productos, pero que un método mejor para lograrlo consiste en hacer una síntesis entre HACCP, el Sistema de Conocimiento de Deming y algunas partes de ISO 9000.

REFERENCIAS

1. Adda, J., Gripon, J. C. y L. Vassal. 1982. **“The Chemistry of Flavour and Texture Generation in Cheese”**. Food Chem. 9(1/2):115-129.
2. Aguilera, J. M. y H. G. Kessler. 1989. **“Properties of mixed and filled-type dairy gels”**. J. Food Sci. 54(5):1213.
3. Altekruise, S. F., Street, D. A., Fein, S. B. y A. S. Levy. 1995. **“Consumer Knowledge of Foodborne Microbial Hazards and Food-Handling Practices”**. J. Food Protect. 59(3):287 - 294.
4. Anónimo, 1997. **“HACCP and Total Quality Management - Winning Concepts for the 90's: A Review”**. Publicado a nombre del Microbiology and Food Safety Committee of the National Food Processors Association, Washington, D.C., EUA. J. Food Protect. 61(5):459-462.
5. Barbano, D.M. 1993. **“Influence of Mastitis on Cheese Yield”**. International Seminar on Factors Affecting Yield of Cheese and Systems For Its Control. International Dairy Federation, Cork, Irlanda.
6. Bolton, D. J., Oser, A. H., Cocoma, G. J., Palumbo, S. A. y A. J. Miller. 1999. **“Integrating HACCP & TQM Reduces Pork Carcass Contamination”**. Food Technol. 53(4):40-43.
7. Box, George y S. Bisgaard. 1987. **“The Scientific Context of Quality Improvement”**. Reporte No. 25. Center for Quality and Productivity Improvement. University of Wisconsin. Madison, WI, EUA.

8. Box, G. E. P., Hunter, W. G. y J. S. Hunter. 1978. STATISTICS FOR EXPERIMENTERS. An Introduction to Design, Data Analysis, and Model Building. Capítulo 10. **“Factorial Designs at Two Levels”**. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, EUA.
9. Buchanan, R. L. 1990. **“HACCP: A re-emerging approach to food safety”**. Trends Food Sci. Technol. 1(5):104-106.
10. Bylund, G. 1995. **“The Chemistry of Milk”**. Capítulo 2 en Dairy processing handbook. Tetra Pak Processing Systems AB, Lund, Suecia.
11. Cabezas, L., Marcos, A., Esteben, M. A., Fernández-Salguero J. y M. Alcalá. 1988. **“Improved Equation for Cryoscopic Estimation of Water Activity in Cheese”**. Food Chem. 30(1):59-66.
12. Callanan, T. 1991. **“Recovery of Milk Constituents in Cheesemaking (Relation to Process Control)”**. Capítulo 4 en: FACTORS AFFECTING THE YIELD OF CHEESE. Monografía No. 9301. International Dairy Federation. Bruselas, Bélgica.
13. Cano-Ruiz, M.E. y R. L. Richter. 1997. **“Effect of Homogenization Pressure on the Milk Fat Globule Membrane Proteins”**. J. Dairy Sci. 80(11):2732-2739.
14. Cayot, P. y D. Lorient. 1997. **“Structure-Function Relationships of Whey Proteins”**. Capítulo 8 en Damodaran, S. y A. Paraf (Editores): FOOD PROTEINS AND THEIR APPLICATIONS. Marcel Dekker, Inc., New York, NY, EUA.
15. Cullor, James S. 1997. **“HACCP (Hazard Analysis Critical Control Points): Is It Coming to the Dairy?”** J. Dairy Sci. 80(12):3449-3452.
16. Dalglish, D. G. 1997. **“Structure-Function Relationships of Caseins”**. Capítulo 7 en Damodaran, S. y A. Paraf (Editores): FOOD PROTEINS AND THEIR APPLICATIONS. Marcel Dekker, Inc., New York, NY, EUA.

-
17. Daniels, R. W. 1998. "**Home Food Safety**". Food Technol. 52(2):54-56.
 18. Dannenberg, F. y H. G. Kessler. 1988. "**Reaction Kinetics of the Denaturation of Whey Proteins in Milk**". J. Food Sci. 53(1):258-263.
 19. De Kanterewicz, R. J., Chirife, J. y E. A. de Lagarde. 1985. "**Preservation of Concentrated Cheese Whey by Combined Factors**". J. Food Sci. 50:1629-1632.
 20. Deming, W. Edwards. 1994. **THE NEW ECONOMICS FOR INDUSTRY, GOVERNMENT, EDUCATION**. 2a. Edición. Massachusetts Institute of Technology Center for Advanced Engineering Study. Cambridge, MA, EUA.
 21. Emmons, D. B., Ernstrom, C. A., Lacroix, C. y P. Verret. 1990. "**Predictive Formulas for Yield of Cheese from Composition of Milk: A Review**". J. Dairy Sci. 73 (6): 1365-1394.
 22. Emmons, D. B., Ernstrom, C. A., Lacroix, C. y P. Verret. 1991. "**Yield Formulae**". En: FACTORS AFFECTING THE YIELD OF CHEESE. Monografía No. 9301. International Dairy Federation. Bruselas, Bélgica.
 23. Esteban, M. A. y A. Marcos. 1990. "**Equations for Calculation of Water Activity in Cheese from its Chemical Composition: A Review**". Food Chem. 35(3):179-186.
 24. Evans, E. W. 1986. "**Interactions of Milk Components in Food Systems**". Capítulo 14 en Birch, G. G. y M. G. Lindley (Editores): INTERACTIONS OF FOOD COMPONENTS. Elsevier Applied Science Publishers, Londres, Inglaterra.
 25. Geurts, T. J., Walstra, P. y H. Mulder. 1974. "**Water binding to milk protein, with particular reference to cheese**". Neth. Milk Dairy J. 28:46-72.

26. Gravani, R. B. 1993. **“The Effectiveness of HACCP in the Dairy Industry”**. Trabajo presentado en el I Simposium Internacional de Ciencia y Tecnología de Productos Lácteos CANILEC '93. Cámara Nacional de Industriales de la Leche. México, D.F., México.
27. Green, M. L. 1980. **“The Formation and Structure of Milk Protein Gels”**. Food Chem. 6:41-49.
28. Harasic, O. y R. Marbán. 1999. **“National Laboratories of Metrology in the Western Hemisphere”**. Quality Progress XXXII (3):59-65.
29. Harper, J. y C. R. Lee. 1975. **“Residual Coagulants in Whey”**. J. Food Sci. 40:282-284.
30. Haschemeyer, R. H. y A. E. V. Haschemeyer. 1973. **“Dynamics of Protein Conformations”**. Capítulo XV en: PROTEINS. A Guide to Study by Physical and Chemical Methods. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, EUA.
31. Helguera, Luis Ignacio. 1998. **“Codex Alimentarius. Códigos adoptados para proteger la salud del consumidor”**. Alim. Proc. 17(10):42-43.
32. Hill. A. R., Irvine, D. M. y D. H. Bullock. 1982. **“Precipitation and Recovery of Whey Proteins: A Review”**. Can. Inst. Food Sci. Technol. J. 15(3):155-160.
33. International Dairy Federation. 1991a. **PROCEEDINGS OF THE XXIII INTERNATIONAL DAIRY CONGRESS**. Dairying in a Changing World. Octubre 8-12, 1990, Montreal. Tópico P: (Economics and Marketing) , Sesión 5 (**Pricing for Dairy Farmers in a Changing Market Place**). Volumen 3, páginas 2330 - 2396. International Dairy Federation, Bruselas, Bélgica.
34. International Dairy Federation. 1991b. **FACTORS AFFECTING THE YIELD OF CHEESE**. Special Issue No. 9301. International Dairy Federation, Bruselas, Bélgica.

-
35. Irvine, D. M., Bullock, D. H. y A. R. Hill. 1982. "**Utilization of sweet whey lactalbumin in cheese spread**". Proceedings of the XXI International Dairy Congress. International Dairy Federation, Bruselas, Bélgica.
 36. Jelen, P. y W. Buchheim. 1976. "**Norwegian Whey "Cheese"**". Food Technol. 30(11):62 - 63, 66, 68-69, 72-74.
 37. Jelen, P. 1979. "**Industrial Whey Processing Technology: An Overview**". J. Agric. Food Chem. 27(4):658-661.
 38. Jelen, P., Currie, R. y V. W. Kadis. 1987. "**Compositional Analysis of Commercial Whey Drinks**". J. Dairy Sci. 70(4):892-895.
 39. Jeness, R., Shipe, W. F. y J. W. Sherbon. 1974. "**Physical properties of milk**". En: FUNDAMENTALS OF DAIRY CHEMISTRY. AVI Publishing Co., Westport, CN, EUA.
 40. Jouve, J. L. 1998. "**Principles of food safety legislation**". Food Control 9(2-3):75-78.
 41. Kilara, A. 1994. "**Whey Protein Funcionality**". Capítulo 11 en Hettiarachchy, N. S. y G. R. Ziegler (Editores): PROTEIN FUNCTIONALITY IN FOOD SYSTEMS. Marcel Dekker, Inc., New York, NY, EUA.
 42. Kilara, A. y V. R. Harwalkar. 1996. "**Denaturation**". Capítulo 3 en Nakai, S. y H. W. Modler (Editores): FOOD PROTEINS. PROPERTIES AND CHARACTERIZATION. VCH Publishers, Inc., New York, N.Y., EUA.
 43. Kinsella, J.E. 1985. "**Proteins from whey: factors affecting functional behavior and uses**". Capítulo 6 en NEW DAIRY PRODUCTS VIA NEW TECHNOLOGY. pp. 87 - 105. IDF Seminar, Atlanta, EUA.

44. Klostermeyer, H. y E. H. Reimerdes. 1977. **“Heat Induced Crosslinks in Milk Proteins and Consequences for the Milk System”**. En Friedman, M. (Editor): PROTEIN CROSSLINKING. Nutritional and Medical Consequences. Plenum Press, New York, NY, EUA.
45. Kosikowski, F.V. 1967. **“The Making of Ricotta Cheese”**. Trabajo presentado en el 4th Annual Marschall Invitational Italian Cheese Seminar, Madison, WI, EUA.
46. Kume, Hitoshi. 1985. HERRAMIENTAS ESTADISTICAS BASICAS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD. **Prefacio**. Editorial NORMA, Bogotá, Colombia (Edición en español impresa en 1994).
47. Lau, K. Y., Barbano, D. M. y R. R. Rasmussen. 1990. **“Influence of Pasteurization on Fat and Nitrogen Recoveries and Cheddar Cheese Yield”**. J. Dairy Sci. 73(3): 561-570.
48. Lawrence, R. C., Gilles, J. e I. K. Creamer. 1983. **“The Relationship Between Cheese Texture and Flavour”**. N.Z. J. Dairy Sci. and Technol. 18(3):175-190.
49. Lawrence, R. C. 1991a. **“Processing Conditions”**. Capítulo 7 en: FACTORS AFFECTING THE YIELD OF CHEESE. Monografía No. 9301. International Dairy Federation. Bruselas, Bélgica.
50. Lawrence, R.C. 1991b. **“Cheese Yield Potential of Milk”**. Capítulo 10 en: FACTORS AFFECTING THE YIELD OF CHEESE. Monografía No. 9301. International Dairy Federation. Bruselas, Bélgica.
51. Lucey, J. A. y P. F. Fox. 1993. **“Importance of Calcium and Phosphate in Cheese Manufacture: A Review”**. J. Dairy Sci. 76(6):1714-1724.
52. Marcos, A. 1993. **“Water Activity in Cheese in Relation to Composition, Stability and Safety”**. Capítulo 11 en P. F. Fox (Editor): CHEESE: CHEMISTRY, PHYSICS AND MICROBIOLOGY. Volume 1. General Aspects. 2a. Edición. Chapman & Hall, London.

-
53. Mathur, B. N. y K. M. Shahani. 1981. **“Ricotta Cheese Could Be Your Best Vehicle For Whey”**. Dairy Field, 164(11):110-112,114.
54. Mitchell, R. T. 1998. **“Why HACCP fails”**. Food Control 9(2-3):101.
55. Moen, R. D., Nolan, T. W. y L. P. Provost. 1991. **IMPROVING QUALITY THROUGH PLANNED EXPERIMENTATION**. McGraw-Hill, Inc., New York, NY, EUA.
56. Morr, C. V. 1975. **“Chemistry of Milk Proteins in Food Processing”**. Symposium: Milk Proteins in Dairy and Food Processing. J.Dairy Sci. 58(7):977-984.
57. Morr, C. V. 1985. **“Manufacture, functionality and utilization of milk-protein products”**. En: Galesloot, T. E. y B. J. Tinbergen (Editores): MILK PROTEINS '84. PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONGRESS ON MILK PROTEINS. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, Los Países Bajos.
58. Nelson, J. H. 1987. **“Fundamentals of Product Retrievals”**. USNAC/IDF Contemporary Quality Assurance Seminar, Chicago, IL, EUA.
59. Nolan, T. W. y L. P. Provost. 1990. **“Understanding Variation”**. Quality Progress XXIII (5): 70-78.
60. Pierson, M. D. y D. A. Corlett (Editores). 1992. **HACCP Principles and Applications**. AVI / Van Nostrand Reinhold. New York, NY, EUA.
61. Ponce-Ceballo, P. 1999. **“Mejora de la Calidad de la Leche: Un Factor Estratégico en la Capacidad Competitiva del Sector Lechero”**. CENLAC, CENSA. La Habana, Cuba.
62. Radford, J. B., Galpin, D. B. y M. F. Parkin. 1986. **“Utilization of Whey as a Fertilizer Replacement for Dairy Pasture”**. N.Z. J. Dairy Sci. Technol. 21:65-72.
63. Rasmussen, L. K., Højrup, P. y T. E. Petersen. 1994. **“Disulfide Arrangement in Bovine Caseins: Localization of Intrachain**

- Disulphide Bridges in Monomers of κ - and α_{s2} -Casein from Bovine Milk**". J. Dairy Res. 61:485-493.
64. Robinson, B. P., Short, J. L. y K. R. Marshall. 1976. **"Traditional lactalbumin manufacture, properties and uses"**. N.Z.J. Dairy Sci. Technol. 11:114-126.
65. Roeper, J. 1970. Proc. XVIII Int. Dairy Congr., 1E, 432.
66. Rüegg, M. 1985. **"Water in Dairy Products Related to Quality, With Special Reference to Cheese"**. En: Simatos, D. y J. L. Multon (Editores). PROPERTIES OF WATER IN FOODS IN RELATION TO QUALITY AND STABILITY. pp. 603-625. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, Los Países Bajos.
67. Schmidt, D. G. 1986. **"Association of Caseins and Casein Micelle Structure"**. Capítulo 2 en Fox, P. F. (Editor): DEVELOPMENTS IN DAIRY CHEMISTRY-1. Proteins. Elsevier Applied Science Publishers, Londres, Inglaterra.
68. Senge, Peter M. 1998. LA QUINTA DISCIPLINA. El arte y la práctica de la organización abierta al aprendizaje. Capítulo 1. Ediciones Granica, México, D.F., México.
69. Shewhart, Walter A. 1931. THE ECONOMIC CONTROL OF QUALITY OF MANUFACTURED PRODUCT. D. Van Nostrand Company, New York, EUA. (Reimpreso por ASQC Quality Press, Milwaukee, WI, 1980).
70. Sloth-Hansen, P. y G. Kjaergaard Jensen. 1977. **"Investigations concerning variations in the composition of whey"**. pp. 1-77. 224, Beretning, States Forsøgsmejeri Hillerød/Dinamarca.
71. Streiff, P. J., Nilsom, K. M., Duthie, A. H. y H. V. Atherton. 1979. **"Whey Ricotta Cheese Manufactured from Fluid and Condensed Whey"**. J. Food Protection 42(7):552-554.

-
72. Surak, J. G., Cawley, J. L. y S. A. Hussain. 1998. **“Integrating HACCP and SPC”**. Food Quality 5(3):41, 43, 45, 47.
73. Tompkin, R. B. 1986. **“Microbiological Safety of Processed Meat: New Products and Processes. New Problems and Solutions”**. Food Technol. 40(4):172-176.
74. Torres, C. C., Cardoso-Brandão, S. C. y A. J. Rezende-Pinheiro. 1989. **“Desenvolvimento de bebidas de baixo custo com soro de queijo”**. Rev. Inst. Latic. Cândido Tostes 44(261-266):71-84.
75. Tribus, Myron. 1989. **ELABORACIÓN DE FLUJOGRAMAS DE DESPLIEGUE**. Dos Videocintas VHS/NTSC y un Manual de Trabajo. Quality and Productivity, Inc., Los Angeles, CA, EUA. Versión en español por GRUPO ROMÁN, C.A., Caracas, Venezuela. Manual reimpresso en México por Desarrollo y Comunicación Empresarial, S.A. de C.V., Saltillo, México.
76. True, L. C. 1973. **“Effects of Various Processing Conditions on Yield of Whey Ricotta Cheese”**. Trabajo presentado en el 10th Annual Marschall Invitational Italian Cheese Seminar, Madison, WI, EUA.
77. True, L. C. y C. C. Patel. 1973. **“Recovered Ricotta Cheese from Whey Acceptable as Snack Dip Base”**. Food Prod. Develop. 7(5):72,76,78.
78. Viana-Mosquim, María Cristina Alvarenga; Uquillas-Loaira, Juan Francisco y Adão José Rezende-Pinheiro. 1993. **“Ricota obtida a través da precipitação com cálcio: Uma avaliação do processo”**. Rev. Inst. Latic. Cândido Tostes 48(287):31-33.
79. Walstra, P. 1993. **“The Syneresis of Curd”**. Capítulo 5 en P. F. Fox (Editor): CHEESE: CHEMISTRY, PHYSICS AND MICROBIOLOGY. Volume 1. General Aspects. 2a. Edición. Chapman & Hall, London, Inglaterra.

80. Weatherup, W. 1986. **“The effect of processing variables on the yield and quality of Ricotta cheese”**. Dairy Ind. Int. 51(9):41,43,45.
81. Weatherup, W. y W. M. A. Mullan. 1993. **“Effects of Low Temperature Storage of Milk on the Quality and Yield of Cheese”**. International Seminar on Factors Affecting Yield of Cheese and Systems For Its Control. International Dairy Federation, Cork, Irlanda.
82. Wheeler, Donald, J. 1993. **UNDERSTANDING VARIATION. THE KEY TO MANAGING CHAOS**. SPC Press, Knoxville, TN, EUA.
83. Wheeler, Donald J. Y David S. Chambers. 1992. UNDERSTANDING STATISTICAL PROCESS CONTROL. Capítulo 13. **“Shewhart’s Control Charts”**. SPC Press. Knoxville, TN, EUA.
84. White, C. 1988. **“A Statistical Approach to HACCP”**. Presentado en TOTAL QUALITY SYSTEMS. A Workshop for the Dairy Industry. Auspiciado por Northeast Dairy Foods Research Center, New York State Cheese Manufacturers Association y Cornell University Cooperative Extension, en cooperación con The National Cheese Institute. Syracuse, NY, EUA.
85. Wilson, A. D. 1981. **“Whey Cheese”**. Food Tech.N.Z. 16(8):3-5.
86. World Health Organization. 1999. **“Strategies for Implementing HACCP in Small and/or Less Developed Businesses”**. Report of a WHO Consultation. WHO Food Safety Programme, Ginebra, Suiza. (Disponible en Internet en <http://www.who.int/fsf>).
87. Zottola, E. A. y L. B. Smith. 1991. **“Pathogens in cheese”**. Food Microbiol. 8:171-182.

Apéndice A.

COMPOSICIÓN DETALLADA DE LA LECHE Y DEL LACTOSUERO

A.1 Composición de leche entera de vaca, con 3.3 % de grasa*

<u>Nutrientos</u>	<u>unidades</u>	<u>Cantidad en 100 gramos</u>
APROXIMADA:		
Agua	g	87.99 ± 0.0060
Energía	Kcal	61
Proteína (Nx6.38)	g	3.29 ± 0.0027
Grasa	g	3.34 ± 0.0056
Carbohidratos	g	4.66
Fibra	g	0
Cenizas	g	0.72 ± 0.0010
MINERALES:		
Calcio	mg	119 ± 0.251
Hierro	mg	0.05 ± 0.0009
Magnesio	mg	13 ± 0.15
Fósforo	mg	93 ± 0.20
Potasio	mg	152 ± 0.352
Sodio	mg	49 ± 1.1
Zinc	mg	0.38 ± 0.0089
VITAMINAS:		
Ácido ascórbico	mg	0.94 ± 0.044
Tiamina	mg	0.038 ± 0.0016
Riboflavina	mg	0.162 ± 0.0020
Niacina	mg	0.084 ± 0.0034
Ácido pantoténico	mg	0.314 ± 0.0107
Vitamina B6	mg	0.042 ± 0.0032
Folacina	µg	5 ± 0.5
Vitamina B12	µg	0.357 ± 0.0116
Vitamina A	UI	126
COLESTEROL	mg	14 ± 0.17

* Adaptada de la Tabla No. 01 - 077 de COMPOSITION OF FOODS. DAIRY AND EGG PRODUCTS. RAW • PROCESSED • PREPARED. AGRICULTURE HANDBOOK No. 8 -1. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE. 1976.

A. 2 Composición de lactosuero dulce fluido *

<u>Nutrimentos</u>	<u>unidades</u>	<u>Cantidad en 100 gramos</u>
APROXIMADA:		
Agua	g	93.12 ± 0.0283
Energía	Kcal	27
Proteína (Nx6.38)	g	0.85 ± 0.017
Grasa	g	0.36 ± 0.013
Carbohidratos	g	5.14
Fibra	g	0
Cenizas	g	0.53 ± 0.017
MINERALES:		
Calcio	mg	47 ± 1.9
Hierro	mg	0.06
Magnesio	mg	8 ± 0.3
Fósforo	mg	46 ± 0.85
Potasio	mg	161 ± 3.99
Sodio	mg	54 ± 4.2
Zinc	mg	0.13
VITAMINAS:		
Ácido ascórbico	mg	0.10
Tiamina	mg	0.036 ± 0.0019
Riboflavina	mg	0.158 ± 0.0043
Niacina	mg	0.074 ± 0.0085
Ácido pantoténico	mg	0.383 ± 0.0076
Vitamina B6	mg	0.031 ± 0.0063
Folacina	µg	1
Vitamina B12	µg	0.277 ± 0.0301
Vitamina A	UI	16 ± 3.2
COLESTEROL	mg	2

* Adaptada de la Tabla No. 01 - 114 de COMPOSITION OF FOODS. DAIRY AND EGG PRODUCTS. RAW • PROCESSED • PREPARED. AGRICULTURE HANDBOOK No. 8 -1. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE. 1976.

Apéndice B.

UNA ESTRATEGIA PARA CONSERVAR LACTOSUEROS CONCENTRADOS.

Es probable que las empresas queseras deban transportar lactosuero concentrado, ya sea mediante evaporación o mediante otro método, de una planta a otra. La manera tradicional de evitar la acidificación del lactosuero durante el almacenamiento y transporte consiste en mantenerlo a temperaturas por encima de 60°C o por debajo de 4°C. Sin embargo, también es posible conservarlo hasta tres meses a temperatura ambiente, ~ 30°C, usando una combinación de reducción del coeficiente de actividad de agua (a_w), disminución de pH y adición de un conservador apropiado (De Kanterewicz et al., 1985).

Estos investigadores estudiaron la estabilidad microbiológica de lactosuero concentrado a 50 % de sólidos totales mediante evaporación. La estrategia está basada en el concepto llamado “efecto de valla” (Leistner et al., 1981), que depende de la sinergia resultante del uso simultáneo de varias barreras antimicrobianas. De Kanterewicz y colaboradores estudiaron la región de a_w entre 0.940 y 0.900, de pH entre 5.0 y 5.6 y de concentración de sorbato de potasio entre 0.0 % y 0.2 %. Como depresores de a_w usaron cloruro de sodio o glicerol y para modificar el pH usaron ácido cítrico.

La actividad de agua del lactosuero concentrado a 50 % de sólidos era 0.940 - 0.945 y el pH estaba dentro del rango entre 5.8 y 6.3. Bajo estas condiciones el lactosuero es altamente perecedero. Lo que De Kanterewicz et al. (1985) encontraron fue que el lactosuero, habiendo sido inoculado con bacterias (104 UFC/ml), mohos (103 - 105 UFC/ml) y levaduras (104 UFC/ml), es microbiológicamente estable durante 90 días a 30°C bajo dos combinaciones de “vallas”: 1) a_w 0.94 - pH 5.2 - 0.2 % de sorbato y 2) a_w 0.92 - pH 5.4 - 0.2 % de sorbato. Bajo estas condiciones, las cuentas microbianas disminuyeron con el paso del tiempo hasta alcanzar valores muy pequeños o cercanos a cero. Estos datos son una guía útil para que las empresas queseras encuentre las combinaciones adecuadas que permitan la conservación de lactosueros concentrados, durante tiempos específicos, a temperaturas específicas, en distintas épocas del año.

Apéndice C.

RECURSOS

C.1 Sitios en Internet

American Dairy Science Association

<http://12.24.208.139/>

Asociación Europea de Productos de Lactosuero

<http://www.ewpa.euromilk.org/>

Australian Dairy Industry Research

<http://www.dairy.com.au/research/index.html>

Codex Alimentarius Commission

<http://www.fao.org/waicent/faoinfo/economic/esn/CODEX/STANDARD/Default.htm>

Codex Alimentarius

Textos básicos sobre higiene alimentaria

http://www.fao.org/waicent/faoinfo/economic/esn/CODEX/STANDARD/fh_basic.pdf

CSIRO Australia

<http://www.csiro.au/>

CTI Publications, Inc.

<http://www.ctipubs.com>

Dairy Network.com

<http://www.dairynetwork.com>

Dairy Research and Development Corporation

<http://www.drdc.com.au/>

FDA (Administración de Alimentos y Medicamentos, EUA)

<http://www.fda.gov/>

Federación Panamericana de Lechería (FEPALE)

<http://www.fepale.org/>

FoodNet (Canadá)

<http://foodnet.fic.ca/>

Food Safety and Hygiene Bulletins

<http://www.foodscience.afisc.csiro.au/fshlist.htm>

HACCP Principles and Applications Guidelines

<http://www.fst.vt.edu/haccp97/>

International Association for Food Protection

<http://www.iamfes.org/>

International Dairy Foods Association

<http://www.idfa.org>

International HACCP Alliance

<http://ifse.tamu.edu/haccpall.html>

La Alliance Pastorale

<http://www.alliancepastorale.fr>

Managing Milk Quality

<http://www.managingmilkquality.com/>

Manual de HACCP - Food Safety Canada

<http://foodnet.fic.ca/safety/haccp.html>

National Food Safety database USDA-FDA

<http://www.foodsafety.org/dbseai.htm>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)

<http://www.fao.org>

Organización Mundial de la Salud. (OMS/WHO)

<http://www.who.org>

The American Cheesemaking Web Page

<http://home.columbus.rr.com/cheesepage/>

The Dairy Practices Council

<http://www.dairypc.org/>

The Scottish Dairy Association

<http://www.efr.hw.ac.uk/SDA/>

VTT Biotechnology and Food Research

<http://www.vtt.fi/bel/>

C
