

Universidad de Costa Rica

Facultad de Ciencias Agroalimentarias

Escuela de Tecnología de Alimentos

“Incorporación de proteína de suero en la elaboración de un queso blanco y valoración del efecto provocado en su rendimiento, agrado general y contenido de triptófano”

Proyecto de Graduación presentado a la Escuela de Tecnología de Alimentos como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Tecnología de Alimentos

José Rafael Arce Méndez

900238

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

2011

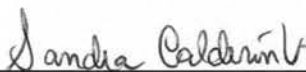
Proyecto de Graduación presentado a la Escuela de Tecnología de Alimentos como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Tecnología de Alimentos

Presentado por:
José Rafael Arce Méndez

Aprobado por:



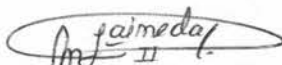
Lic. Eduardo Thompson Vicente
Director del Proyecto




Lic. Sandra Calderón Villaplana
Asesora del Proyecto



Lic. Ibrahim Sánchez Vargas
Asesor del Proyecto



Dra. María Lourdes Pineda Castro, M.Sc.
Presidente del Tribunal



Lic. Marjorie Henderson García
Profesor Designado

DEDICATORIA

En primer lugar a Dios, porque siempre ha cuidado de mí. Si algo he logrado en la vida, ha sido por su misericordia y amor incondicional a pesar de todas mis flaquezas.

A mis padres y a mi abuelita Gloria, que en paz descansan, por su apoyo durante los años que transcurrió mi formación académica.

A mi esposa e hijos por conceder el tiempo que era de ellos, para la ejecución de este proyecto.

RECONOCIMIENTOS

Para los que no me conocen, soy parte del grupo de estudiantes que se egresa, consigue trabajo, se hace de familia y no termina su tesis. Con mis cuarenta años y las múltiples responsabilidades que da el ser padre, esposo y jefe de planta; hay que reconocer que se hace muy necesaria la ayuda que le puedan brindar los buenos amigos.

En este sentido quiero empezar por agradecerles a mis jefes Hannia Jiménez, Martín Solano e Ibrahim Sánchez por todo el apoyo que me dieron desde que inicié con este proyecto, al permitirme desarrollar la parte experimental dentro de la empresa donde laboro, haciendo uso de las instalaciones, equipos, laboratorios, materias primas y en ocasiones del recurso humano como lo fue con los paneles sensoriales. Agradezco a ellos también la ayuda por parte de la empresa para la cancelación de los análisis de triptófano que se realizaron en Estados Unidos y la logística para el envío correspondiente de las muestras. Mi agradecimiento sincero a Víctor Marín y Cinthya Sánchez por su amable colaboración al respecto.

A Nadia Ramírez por su ayuda y asesoramiento con el uso del panel sensorial y el texturómetro de la empresa donde laboramos.

A Mariella Herrera de Scanco por su valiosa ayuda, disposición y entrega al operar el texturómetro y bajar los resultados las dos fechas que tardaron los análisis correspondientes.

A Roberto Boniche y Sandra Méndez por toda la colaboración brindada durante los paneles sensoriales. De igual manera a Abel Fonseca.

A Rebeca López y Marjorie Henderson por haberme ayudado a conseguir un tema para realizar mi trabajo final y por la paciencia durante todo el tiempo que he dilatado en este proyecto.

Agradezco a mi profesora asesora Sandra Calderón por toda su ayuda con el uso del panel del CITA y el análisis de los datos.

A María Lourdes Pineda por sus buenos consejos y su tan siempre buena disposición a ayudar. Mi más sincera gratitud y admiración.

A mi director de tesis, Eduardo Thompson, agradezco su guía, consejo y tiempo que ha dedicado en revisar y asesorarme. Gracias por la paciencia, el trato afable y su tan buena disposición.

INDICE GENERAL

TRIBUNAL EXAMINADOR	i
<hr/>	
DEDICATORIA	ii
<hr/>	
RECONOCIMIENTOS	iii
<hr/>	
INDICE GENERAL	iv
<hr/>	
INDICE DE FIGURAS	vii
<hr/>	
INDICE DE CUADROS	ix
<hr/>	
RESUMEN	xiii
<hr/>	
1. JUSTIFICACIÓN	1
<hr/>	
2. OBJETIVOS	4
2.1. Objetivo General	4
2.2. Objetivos Específicos	4
<hr/>	
3. MARCO TEORICO	5
3.1. Reseña histórica	5
3.2. Producción y consumo nacional de queso	6
3.3. Elaboración de queso fresco	9
3.3.1. Estandarización	11
3.3.2. Pasteurización	11
3.3.3. Enfriamiento	11
3.3.4. Adición del cloruro de calcio	11
3.3.5. Coagulación	12
3.3.6. Corte y agitado	13
3.3.7. Desuerado	13
3.3.8. Salado	13
3.3.9. Moldeo	13
3.3.10. Prensado	14
3.3.11. Empaque y almacenado	14
3.4. Lactosuero	14
3.4.1. Composición del lactosuero	15

3.4.2.	Proteínas del lactosuero	16
3.4.3.	Extracción de la proteína del lactosuero	21
3.4.4.	Propiedades de la proteína del lactosuero	23
3.4.5.	Problemática ambiental asociada al lactosuero	30
3.4.6.	Usos e industrialización del lactosuero	31
3.5.	Análisis Sensorial	31
3.5.1.	Definición	31
3.5.2.	Pruebas	32
3.5.3.	Reología y textura de los quesos	35
3.5.4.	Medición instrumental de la textura en quesos	37

4. MATERIALES Y METODOS **42**

4.1.	Ubicación Geográfica	42
4.2.	Materia Prima	42
4.2.1.	Leche íntegra	42
4.2.2.	Lactosuero	42
4.3.	Equipo para la elaboración de queso y recuperación de la proteína	42
4.4.	Metodología	43
4.4.1.	Elaboración de queso fresco	43
4.4.2.	Extracción de la proteína de suero	45
4.4.3.	Determinación de la etapa de proceso donde adicionar la proteína de suero	46
4.4.4.	Determinación de la cantidad de proteína a adicionar para el enriquecimiento del queso fresco	47
4.4.5.	Comparación del contenido de triptófano del queso fresco enriquecido con la proteína de suero respecto a un queso fresco normal	48
4.4.6.	Comparación de las propiedades de textura: fuerzas de corte, penetración y perfil de textura (TPA) entre el queso fresco con incorporación de la proteína de suero y un queso fresco normal	49
4.4.7.	Estudio del factor económico asociado al proceso de recuperación de la proteína de suero e incorporación a un queso fresco	50
4.4.8.	Métodos de Análisis	50

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN **52**

5.1.	Establecimiento de la etapa para la adición de la proteína de suero	52
5.2.	Establecimiento de la cantidad de proteína a ser adicionada	57
5.3.	Determinación del contenido de triptófano, humedad, proteína y grasa del queso fresco enriquecido con proteína de suero	62
5.4.	Propiedades reológicas	65
5.5.	Consideraciones económicas del producto desarrollado	69

6. CONCLUSIONES **72**

7. RECOMENDACIONES **73**

8. BIBLIOGRAFIA	74
<hr/>	
9. APENDICES	82
9.1. Primera serie de corridas experimentales	82
9.2. Encuesta empleada en los paneles de agrado	83
9.3. Datos experimentales primer panel de agrado aplicado a tres tratamientos de queso fresco elaborados con incorporación de proteína de suero en etapas diferentes	84
9.4. Segunda serie de corridas experimentales	85
9.5. Datos experimentales segundo panel de agrado aplicado a cuatro tratamientos de queso fresco elaborados con incorporación de proteína de suero en cantidades diferentes	86
9.6. Tercera serie de corridas experimentales	87
9.7. Cuarta serie de corridas experimentales	88
9.8. Gráficos del análisis de perfil de textura	89
<hr/>	

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo para la elaboración de queso fresco (FAO, 2006)	10
Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de recuperación de la proteína de suero (Inda, 2000)	23
Figura 3. Condiciones iniciales para la realización de un ensayo TPA	37
Figura 4. Primera compresión durante la realización de un ensayo TPA	38
Figura 5. Se retira sonda luego de la primera compresión	38
Figura 6. Se pierde contacto entre la sonda y la muestra	38
Figura 7. Segunda compresión	39
Figura 8. Se retira sonda luego de la segunda compresión	39
Figura 9. Se pierde contacto entre la sonda y la muestra. Fin del ensayo	39
Figura 10. Diagrama de flujo del proceso de elaboración del queso fresco control	44
Figura 11. Diagrama de flujo del proceso de recuperación de la proteína de suero	45
Figura 12. Promedio de agrado de tres tratamientos de queso fresco elaborados con incorporación de proteína de suero en etapas diferentes del proceso y resultado de la prueba de Tukey	54
Figura 13. Composición de los conglomerados encontrados en un panel de agrado de queso fresco elaborado con incorporación de proteína de suero en etapas diferentes	55

Figura 14. Resultados por conglomerado de en un panel de agrado para quesos frescos elaborados con incorporación de proteína de suero en etapas diferentes del proceso	55
Figura 15. Promedio de agrado de cuatro tratamientos de queso fresco elaborados con incorporación de proteína de suero en diferentes cantidades y resultado de la prueba de Tukey	59
Figura 16. Composición de los conglomerados encontrados en un panel de agrado de queso fresco elaborado con incorporación de proteína de suero en diferentes cantidades	60
Figura 17. Agrado promedio para los conglomerados hallados en un panel de queso fresco elaborado con incorporación de proteína de suero en diferentes cantidades	60
Figura 18. Gráfico promedio del análisis de perfil de textura con texturómetro Texture Analyser TA.XT PLUS de Stable Micro Systems, UK y el software Exponent versión 5.1.1.0 de tres repeticiones de queso fresco sin incorporación de proteína de suero	89
Figura 19. Gráfico promedio del análisis de perfil de textura con texturómetro Texture Analyser TA.XT PLUS de Stable Micro Systems, UK y el software Exponent versión 5.1.1.0 de tres repeticiones de queso fresco con incorporación de proteína de suero	89

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición del lactosuero dulce y ácido (Parra, 2009)	15
Cuadro 2. Contenido de vitaminas del lactosuero (Parra, 2009)	16
Cuadro 3. Proteínas del lactosuero (Walstra <i>et al.</i> , 2006; Archibal, 2008)	17
Cuadro 4. Composición en aminoácidos de las proteínas de la leche (mol / kg de cada proteína) (Walstra <i>et al.</i> , 2006; Belitz & Grosch, 1997)	20
Cuadro 5. Contribución de aminoácidos esenciales en 100 g de proteína de leche	21
Cuadro 6. Tabla comparativa de la calidad proteica de la proteína de suero	24
Cuadro 7. Parámetros para la medición de las fuerzas de corte y penetración en quesos frescos medidos con un texturómetro Texture Analyser TA. XT. PLUS (Stable Micro Systems, UK)	49
Cuadro 8. Tratamientos utilizados para establecer la etapa del proceso de elaboración del queso donde se debe incorporar la proteína de suero	52
Cuadro 9. Prueba triangular aplicada a tres tratamientos de queso fresco elaborado con incorporación de proteína de suero en etapas diferentes	52
Cuadro 10. Análisis de varianza y conglomerados de un panel de agrado de tres tratamientos de queso fresco con incorporación de proteína de suero en etapas diferentes	54
Cuadro 11. Rendimiento del queso fresco elaborado con incorporación de proteína de suero en etapas diferentes del proceso	56

Cuadro 12. Porcentaje de humedad, grasa, sal y pH promedio hallado en el queso fresco elaborado con incorporación de proteína de suero en etapas diferentes del proceso	57
Cuadro 13. Tratamientos empleados para determinar el porcentaje del recuperado de proteína de suero a ser adicionado en la leche	58
Cuadro 14. Resultados de la prueba triangular aplicada a cuatro tratamientos de queso fresco elaborado con incorporación de proteína de suero en diferentes cantidades	58
Cuadro 15. Análisis de varianza y conglomerados de la prueba de agrado aplicada a cuatro tratamientos de queso fresco con incorporación de proteína de suero en diferentes cantidades	59
Cuadro 16. Rendimiento del queso fresco elaborado con incorporación de proteína de suero en diferentes cantidades	62
Cuadro 17. Porcentaje de humedad, proteína, grasa y triptófano promedio hallado en los dos tratamientos evaluados	63
Cuadro 18. Porcentaje de humedad de las muestras obtenidas con incorporación de un 100 % de proteína de suero en la leche y sin dicha adición en dos series de corridas	64
Cuadro 19. Contenido promedio de proteína, grasa y triptófano en los quesos elaborados, en función de la cantidad de leche empleada	64
Cuadro 20. Contenido de humedad y porcentaje de triptófano en base seca calculado para los quesos Mozzarella de baja humedad, Monterrey y fresco con adición de proteína de suero	65
Cuadro 21. Fuerzas de corte y penetración promedio de dos tipos de queso fresco: con incorporación de proteína de suero y sin dicha adición (n=5)	66
Cuadro 22. Resultados del análisis de perfil de textura (TPA) realizado a dos tratamientos de queso fresco, con y sin incorporación de proteína de suero (n=5)	66

Cuadro 23. Cohesividad de diversos tipos de queso preparados con leche bovina	67
Cuadro 24. Rendimiento promedio alcanzado de un queso fresco control sin adición de proteína de suero y otro con incorporación de un 100 % de recuperado de proteína en tres corridas experimentales diferentes	70
Cuadro 25. Costo de los insumos adicionales requeridos para extraer la proteína a 50 L de lactosuero. Valor en colones al 29 de marzo de 2011	71
Cuadro 26. Datos experimentales del proceso de recuperación de proteína de suero empleado en la primera serie de corridas	82
Cuadro 27. Datos experimentales de rendimiento y composición de las muestras elaboradas en la primera serie de corridas	82
Cuadro 28. Datos experimentales del proceso de recuperación de proteína de suero empleado en la segunda serie de corridas	85
Cuadro 29. Datos experimentales de composición de las muestras elaboradas en la segunda serie de corridas	82
Cuadro 30. Datos experimentales del proceso de recuperación de proteína de suero empleado en la tercera serie de corridas	87
Cuadro 31. Datos experimentales de rendimiento y composición de las muestras elaboradas en la tercera serie de corridas	87
Cuadro 32. Datos experimentales del proceso de recuperación de proteína de suero empleado en la cuarta serie de corridas	88

Cuadro 33.

Datos experimentales de la leche de partida empleada en el proceso de elaboración de las muestras de queso fresco en la cuarta serie de corridas 88

Cuadro 34.

Datos experimentales de rendimiento y composición de las muestras elaboradas en la cuarta serie de corridas 88

RESUMEN

Arce Méndez, José Rafael.

Incorporación de proteína de suero en la elaboración de un queso blanco y valoración del efecto provocado en su rendimiento, agrado general y contenido de triptófano.

Tesis Tecnología de Alimentos. -San José, C.R.

Arce, J. 2011.

105 h.; 19 il. - 84 refs.

Dos aspectos relevantes en la problemática que aqueja la industria quesera costarricense motivaron este proyecto; aprovechar el suero que normalmente se desecha, provocando pérdidas económicas y contaminación de las aguas, y mejorar el valor nutricional del queso más consumido en el país. Ante esta situación, se buscó desarrollar un queso fresco con incorporación de proteína de suero obtenida por precipitación térmica, y valorar el efecto producido en su rendimiento, composición y agrado general.

Para lograr los objetivos se establecieron tres etapas. En la primera se determinó dónde adicionar la proteína, comparando la incorporación en la leche antes de la coagulación con el momento donde se adiciona la sal. En la segunda se compararon diferentes niveles de incorporación de proteína, un 100 %, 80 % y 50 % del obtenido a partir del suero dulce que se extrae de 20 L de leche. En la tercera etapa se comparó el contenido de humedad, grasa, proteína y triptófano, y algunas propiedades de textura dadas por un TPA y fuerzas de corte y penetración, entre el queso desarrollado y otro sin adición de proteína. Respecto a las herramientas empleadas para discriminar entre tratamientos, en la primera y segunda etapa se realizaron análisis sensoriales de agrado con evaluación de conglomerados, prueba triangular y evaluación del rendimiento. En la tercera etapa, se compararon los datos de la composición, propiedades de textura y rendimiento empleando el criterio t de Student y el cálculo del error para el rendimiento con una potencia $(1 - \beta) = 0,80$.

En las tres etapas se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los rendimientos de los quesos elaborados con y sin incorporación de proteína de suero; de igual manera entre todos los tratamientos evaluados con la prueba triangular ($p < 0,01$).

Las muestras elaboradas con adición de proteína en la cuajada mostraron ser más quebradizas y heterogéneas respecto a las realizadas con incorporación en la leche. A pesar de encontrarse una interacción significativa entre el tipo de producto y conglomerado ($p < 0,0001$ en ambas etapas), no fue posible establecer diferencias de agrado entre los tratamientos con adición de proteína de suero. De los rendimientos obtenidos, no se pudo establecer diferencias significativas entre los tratamientos en la primera etapa a diferencia de la segunda, observados entre el producto con incorporación de un 100 % respecto al 50 % ($p < 0,05$). Se escogió la incorporación de la proteína de suero en la leche debido a que con ello se logró un producto más “homogéneo y menos quebradizo”. Se escogió la adición de un 100 % de la proteína obtenida del suero porque permitió alcanzar rendimientos mayores y se maximiza el proceso de extracción-incorporación. El queso con proteína de suero resultó con menos grasa, mayor rendimiento de triptófano, y tuvo menos fuerza de penetración, cohesividad, masticabilidad y resiliencia respecto al queso control.

JA

Proteína de suero, queso fresco, triptófano, TPA, agrado.

Director: Lic. Eduardo Thompson Vicente.

Escuela de Tecnología de Alimentos, UCR.

1. JUSTIFICACIÓN

En el 2009, el sector lácteo costarricense movió cerca de 890 millones de kilogramos de leche fluida, aproximadamente 2,4 millones por día, que van en aumento (Barrientos & Villegas, 2010). De ese total, un 32,5 % se transformó en quesos frescos artesanales sin tomar en cuenta lo destinado a la misma actividad en las industrias más tecnificadas (Cámara Nacional de Productores de Leche, 2010), que podría rondar en un 9 % adicional.

A pesar de que no existen referencias que indiquen directamente cuánto lactosuero se produce en Costa Rica, se puede estimar que para este mismo año se obtuvieron 240 millones de kilogramos procedentes de queserías artesanales, considerando que en la fabricación de queso, por cada kilogramo de leche, se producen aproximadamente 0,83 kg de suero (Brealey, 2005). Agrega Brealey que “en el país, el lactosuero se utiliza principalmente para la alimentación de animales domésticos, pero la mayor parte se desecha a los ríos o suelos, convirtiéndose en un gran contaminante ambiental”. Cada 1000 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 al día por 450 personas (Inda, 2000).

Además de ser un problema ecológico, desechar el lactosuero representa un enorme desperdicio de nutrientes, ya que contiene un poco más del 25 % de la proteína de la leche, cerca de un 8 % de la materia grasa y cerca de un 95 % de la lactosa (Inda, 2000).

En otras palabras, 1000 litros de lactosuero contienen más de 9 kg de proteína de alto valor biológico, 50 kg de lactosa y 3 kg de grasa de leche, lo que es equivalente a los requerimientos diarios en proteína de cerca de 130 personas y los requerimientos diarios de energía de más de 100 personas (Henderson, 2008).

Por consiguiente, es muy importante que la industria quesera costarricense pueda manejar opciones asequibles a sus condiciones tecnológicas y de presupuesto que permitan darle un valor agregado a este subproducto y a la vez contribuir de manera beneficiosa con el ambiente.

Cabe señalar que, desde el punto de vista económico, la incorporación de suero dentro de las materias primas empleadas en la elaboración de queso puede reducir el peso del valor de la leche en los costos de manufactura hasta en un 10 % (Inda, 2000).

Más allá del efecto en la disminución de la contaminación ambiental y en el mejoramiento de las posibilidades económicas de los productores de queso, el empleo de los productos derivados del lactosuero en la dieta presenta importantes ventajas a nivel de salud pública, propiamente el uso de su proteína, tema central del presente trabajo.

Las proteínas del lactosuero se distinguen por el aporte de aminoácidos esenciales y péptidos bioactivos, capaces de afectar procesos biológicos o sustratos que impactan las funciones del cuerpo o condiciones de la salud (Gerdes *et al.*, 2001).

Estudios recientes han demostrado que la proteína del suero tiene otros beneficios para la salud humana donde se destacan la generación de sustancias con efecto sobre el control de la presión sanguínea, la disminución de los niveles de colesterol en la sangre, el reforzamiento del sistema inmunológico y la inhibición de algunos procesos que provocan enfermedades como la trombosis y el cáncer (Gerdes *et al.*, 2001; Crib & Sorensen, 2001).

El uso de la proteína de suero como ingrediente de algunos alimentos funcionales tiene otros beneficios como, por ejemplo, el de servir como sustrato para el aumento de la masa muscular y el de proveer una sensación de saciedad, hecho que le ha servido para formar parte de las fórmulas alimentarias empleadas para bajar de peso (Gerdes, 2002).

Desde el punto de vista industrial, la proteína de suero tiene la propiedad de funcionar como estabilizante y/o emulsificante en bebidas, salsas, aderezos, pudines, yogurt, natilla, queso crema, quesos análogos, quesos procesados, postres congelados, etc. Se emplea también como ingrediente para normalizar el contenido proteico de ciertos alimentos, como por ejemplo, barras nutricionales. En la elaboración de galletas y otros productos de repostería se utiliza para reemplazar una parte de la harina con el propósito de disminuir las calorías totales y proveer la consistencia deseada (Gerdes, 2005).

En términos de composición, se puede decir que la proteína del suero complementa la caseína debido a que contiene aminoácidos esenciales que son limitantes en esta última, destacándose el triptófano, cuya contribución, proporcionalmente, es más débil en la caseína total. En 100 g de proteína de leche, el triptófano ubicado en las fracciones α -lactoalbúmina, β -lactoglobulina y sero albúmina equivale a un 52 % del presente en la caseína (Walstra *et al.*, 2006).

Dadas las valiosas propiedades descritas, en el presente proyecto se desarrolló un queso fresco enriquecido con proteína de suero y se evaluó el efecto producido en el

rendimiento, las propiedades reológicas y sensoriales, y en la cantidad del aminoácido triptófano presente, en comparación con un queso fresco sin dicha incorporación.

Además del impacto que podría desencadenar este proyecto en la salud pública, ya que los quesos frescos son los de mayor demanda en el país (Barquero, 2008), se pretende ofrecer una oportunidad para que la industria quesera costarricense mejore sus ingresos al incorporar materias primas que normalmente se desechan o se utilizan como alimento animal con bajo valor agregado. De más está decir que con ello se lograría disminuir el impacto ambiental que provoca el suero al ser vertido a los ríos y quebradas (Salazar, 1999).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Elaborar un queso fresco con la incorporación de proteína de suero, y valorar el efecto producido en su rendimiento, propiedades reológicas, contenido de triptófano y agrado general.

2.2. Objetivos Específicos

- 2.1. Establecer la etapa de elaboración y la proporción de proteína de suero a adicionar a un queso enriquecido, mediante la valoración del efecto causado en su rendimiento y agrado general.
- 2.2. Comparar el contenido del aminoácido triptófano y el agrado general en un queso fresco con y sin la incorporación de proteína del lactosuero.
- 2.3. Comparar la textura de un queso fresco con y sin la incorporación de la proteína del lactosuero mediante la evaluación de las fuerzas de penetración, corte y análisis del perfil de textura (TPA) instrumental.

3. MARCO TEORICO

3.1. Reseña histórica

Algunos arqueólogos creen que la humanidad conoció del queso entre el 6000 y el 7000 a.C. en la zona geográfica que hoy ocupa Irak. Se cree que la leche era transportada en sacos elaborados a partir de pieles. Con el calor y la agitación provocada por el caminar de las bestias de carga, la leche se fermentaba y se formaba la cuajada. El suero constituía una bebida refrescante durante los viajes calurosos, y la cuajada, conservada por la fermentación ácida y la adición de un puñado de sal, un importante alimento de elevado contenido proteico que suplementaría un suministro de carne muy escaso (Scott, 1991).

Los primeros datos referidos a las vacas y a la leche se encuentran en escritos de los sumerios (4000 años a.C.) y en los babilonios (2000 años a.C.).

Granados y Álvarez (2007) sugieren que la fabricación del queso inició cuando las tribus nómadas del este mediterráneo transportaban leche de mamíferos en sacos confeccionados con piel de animal (vejigas y estómagos). Los antiguos observaron que la secreción de los rumiantes jóvenes poseía propiedades de coagulación de la leche, lo que introdujo la utilización de un cuajo (extracto enzimático de la secreción del cuarto estómago de los terneros).

A través de las diferentes rutas comerciales y de la migración de algunos grupos étnicos, Europa, Asia y el norte de África conocieron el queso. Con el pasar de los siglos, cada región adaptó la elaboración de este alimento a sus condiciones climáticas, de relieve y culturales. Fue así como en las regiones montañosas de Europa y Asia se desarrolló la producción de quesos a partir de leche de oveja y cabra; y en las llanuras, la elaboración con leches de vaca. Otros animales, que suplieron y que actualmente se emplean como productores de leche para la producción de quesos, son la burra, camella, búfala, yak, cebú, reno, yegua y camella (Scott, 1991).

A pesar de que no existe evidencia del momento preciso en que inició la producción quesera nacional, Blanco y Granados (2007) indican que la elaboración de quesos frescos en Turrialba data desde 1865, cuando a una familia de apellido Vargas, de procedencia española, posiblemente originaria de La Mancha y de tradición quesera, le fueron concedidas tierras en las faldas del volcán Turrialba. Partiendo de este punto, Don Lucas

Vargas inició con la actividad comercializando queso en la zona de Turrialba y Cartago; posteriormente, con la incorporación del ferrocarril en 1890, se empezó a vender en el Mercado Central de San José. Otras zonas conocidas como tradicionales en la elaboración de quesos frescos en Costa Rica son Zarcero, Bagaces y San Carlos (Blanco & Granados, 2007).

3.2. Producción y consumo nacional de queso

Costa Rica es un país altamente consumidor de quesos, tanto que la demanda no alcanza a ser cubierta por la producción nacional (Granados & Alvarez, 2007). Como regla general, la clase popular (mayoría) consume quesos como parte de su dieta diaria sin ser muy exigentes con su calidad. Estos quesos son generalmente del tipo frescos y sin procesar (PROCHILE, 2007).

Tradicionalmente, la producción de queso en Costa Rica, como en toda Centroamérica, se ha caracterizado por el dominio de los quesos frescos con nada o muy poca maduración, muchos procesados a partir de leche cruda (sin pasteurizar) e integra, aunque también se producen cantidades relativamente importantes de quesos maduros que compiten internacionalmente.

La preferencia hacia el queso fresco en Costa Rica supera el 90 % a todo nivel social sobre cualquier otro tipo de queso. Para 1989, el consumo anual aproximado de queso fresco se estimaba en 14076 TM y, para 1997 el consumo per cápita fresco se estimó en 8,4 kg/habitante/año (Granados & Álvarez, 2007).

Este comportamiento se observa en todo Centroamérica, en donde, después de la leche fluida, el queso fresco constituye el derivado que más se consume, significando un ingrediente fundamental en la dieta de los centroamericanos. Por idiosincrasia, el centroamericano consume quesos frescos con una preferencia del 80 al 90 % sobre los denominados maduros (Granados & Álvarez, 2007).

La producción de quesos en Costa Rica se realiza en una gran variedad de unidades de fabricación, desde las de tipo familiar hasta industrias de mediana dimensión. Existen en el país siete empresas industriales pequeñas, una empresa industrial mediana (Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos R.L.) y varios cientos de empresas artesanales.

La Cooperativa Dos Pinos utiliza, para la fabricación de diferentes tipos de productos lácteos, el 45,18 % de la leche producida en el país; las empresas medianas

procesan el 15 % (Monteverde: 2,13 %, SIGMA: 2,08 %, Lácteos de Costa Rica: 1,69 %, Coopeleche: 1,68 %, Coopecoronado: 1,51 %, Coopebrisas: 0,55 %, Blanco y Negro: el 0,19 %); y el sector informal procesa el 40 % (Granados & Álvarez, 2007). De ese 40 %, un 81 %, aproximadamente 780 mil litros de leche por día, se dedica a la producción artesanal de queso (Barrientos & Villegas, 2010).

Las plantas de mayor dimensión producen quesos frescos más estandarizados y el mayor porcentaje de quesos maduros que se fabrica en el país, principalmente los del tipo: Gouda, Cheddar, Edam, quesos Suizos y quesos italianos (Mozarella y Parmesano), entre otras variedades adaptadas al medio.

El queso fresco, o “tierno”, término usado en algunas regiones para referirse a un queso con mayor contenido de humedad, es el tipo de queso de fabricación más común en las plantas artesanales, aunque también se elaboran otros tipos como semiduro, ahumado, semi-maduro, queso duro (salado), queso arrollado (tipo Mozzarella, conocido en Costa Rica como queso “Palmito”) y queso deshidratado (molido). En muy pocos casos se produce queso maduro.

Las plantas artesanales, conocidas como el “sector informal de lácteos”, pertenecen al grupo de los pequeños productores lecheros, no entregan su producción a las plantas industrializadoras, se caracterizan por el manejo y comercialización de leche en tarro (lechero), o se dedican a la transformación del producto en agroindustrias rurales de tipo casero o familiar, artesanal y miniplanta (Granados & Álvarez, 2007).

Este sector artesanal de fabricación de quesos ha sido considerado como la agrupación más importante y reconocida dentro de las fronteras nacionales, en términos de su participación en el mercado quesero costarricense (Granados & Álvarez, 2007).

En términos generales, las queserías rurales en Centroamérica presentan algunas características comunes (Granados & Álvarez, 2007):

- La producción de leche aumenta en la estación lluviosa, por lo que la oferta de queso aumenta y los precios disminuyen.
- En áreas rurales, el mecanismo de comercialización se hace mediante intermediarios, los cuales agregan valor a la producción hasta en un 100 %, lo que beneficia a la cadena agroalimentaria, pero afecta al productor de leche. El queso se vende en bloques de 3 a 6 kg.

- En la fabricación se utiliza muy poco el cultivo láctico. Los cuajos utilizados son en forma líquida, pastilla y, en algunos casos, cuajo natural conservado en suero y sal común.
- Los rendimientos leche / queso oscilan entre 5,5 a 1 y 12 a 1.
- En plantas donde se estandariza la grasa, el ingreso por la venta de crema es de 4 a 6 veces mayor por litro de leche comparado con el queso.
- En general, el nivel de conocimiento teórico-básico de los procesadores de plantas rurales empleados de las plantas es insuficiente para adoptar medidas tecnológicas modernas y requerimientos de calidad.
- La preservación es por medio de la cadena de frío, salado, ahumado o deshidratado.

Agregan los autores citados que la industria quesera rural costarricense se caracteriza por:

- Tener de 2 a 5 empleados.
- Producir únicamente queso y natilla.
- Producir aproximadamente 240 kg de queso y 1200 kg de suero por día.
- Verter el suero a los potreros o utilizarlo como alimento para la crianza de cerdos.
- No dar tratamiento al suero ni a las aguas residuales.
- Presentar un consumo de agua / kg de queso 5,14 L / kg.
- No madurar el queso.

En Costa Rica, los quesos frescos también se conocen con el nombre de Queso Blanco, cuyas características son similares en cuanto al sabor y la textura. Las diferencias básicas que existen entre estos productos se deben al contenido de humedad, grasa y sal. De estas variaciones se llegan a establecer cuatro tipos de queso:

- Queso blanco fresco (tipo Turrialba).
- Queso blanco semiduro.
- Queso blanco duro (tipo Bagaces).
- Queso hilado (tipo Palmito).

Tradicionalmente, en Costa Rica el queso blanco se clasifica en los siguientes tres grupos denominados por la zona geográfica que los elabora:

- “Queso Turrialba”, queso fresco, algo húmedo y grasoso.
- “Queso Bagaces”, queso seco y salado.

- “Queso Zarcero”, queso hilado, algo elástico, también denominado “queso Palmito”.

Se identifican además la zona de San Carlos como una cuarta región de fabricación, pero sin especificar un tipo de queso particular.

La forma de elaboración de estos tres tipos de queso es semejante en cuanto al uso de cuajo para la coagulación de la caseína, pero diferente en el tratamiento de la cuajada y las condiciones de prensado que afectan el contenido de humedad, grasa y sal.

Cinco son los cantones del país donde se produce la mayor cantidad de queso blanco: Turrialba, Alvarado de Cartago, San Carlos, Naranjo y Alfaro Ruiz. Santa Cruz de Turrialba es la región donde se encuentra localizada la mayor cantidad de unidades queseras del país, seguida por San Carlos, Guanacaste y Zarcero.

De acuerdo con la investigación realizada por Granados y Álvarez (2007), el queso blanco puede caracterizarse por presentar los siguientes parámetros:

- Contenido de humedad entre 53 y 56 %.
- Contenido de grasa entre 10 y 26 %.
- Contenido de sal entre 1 y 3 %.
- Color de blanco a crema.
- Olor y sabor semejante al de la leche.
- Textura algo hulosa y firme, pero suave.
- Corte limpio, no grasoso.
- Presencia leve de suero.

3.3. Elaboración de queso fresco

En la Figura 1 se muestra el diagrama de flujo que describe el proceso de elaboración de un queso fresco basado en una ficha técnica de FAO (2006) con modificaciones.

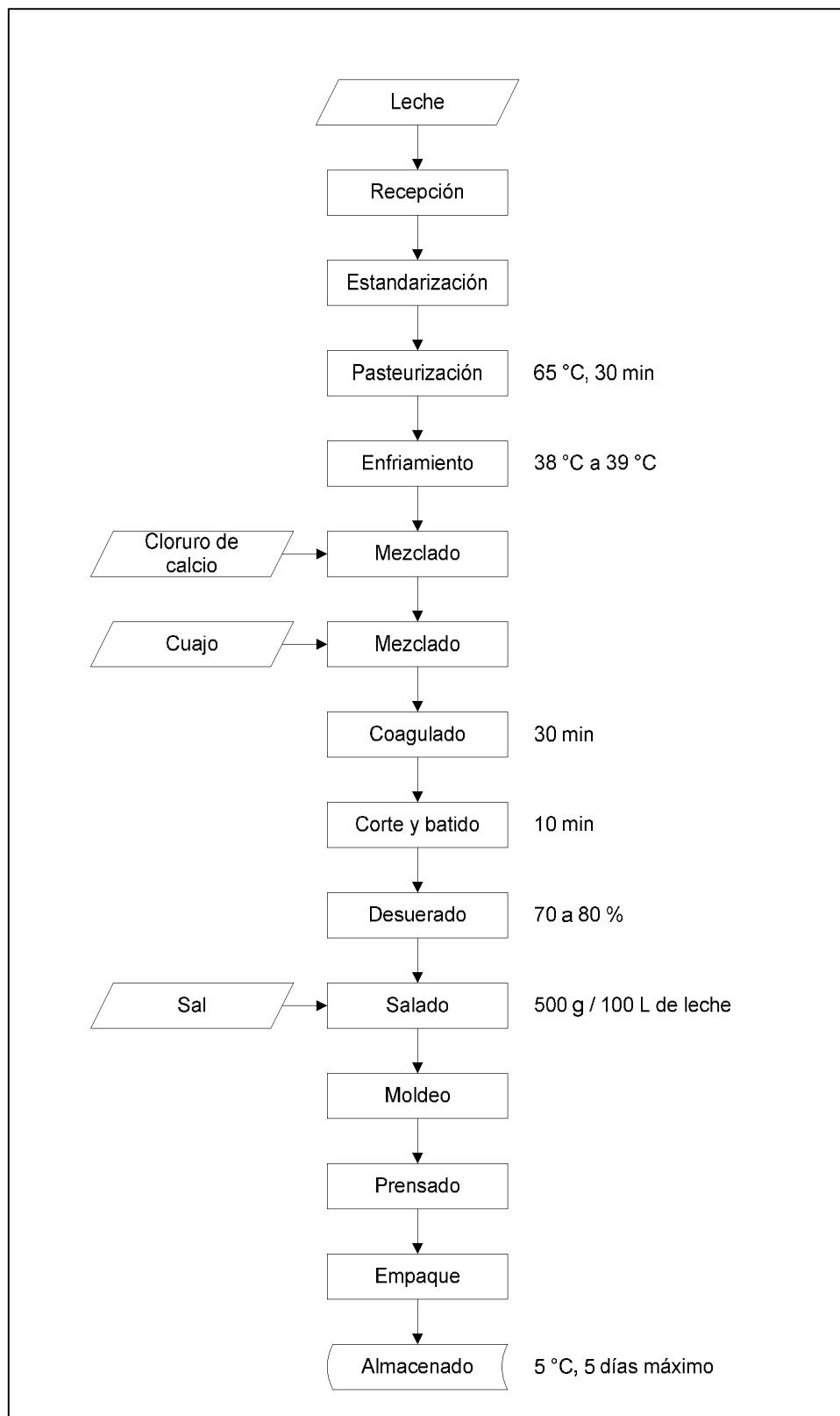


Figura 1. Diagrama de flujo para la elaboración de queso fresco (FAO, 2006)

3.3.1. Estandarización

La estandarización se realiza con el objeto de ajustar los atributos sensoriales y de composición del queso ante las variaciones estacionales que sufre la leche en su contenido de grasa y proteína. De igual manera, se realiza con el propósito de ofrecer productos más descremados ante la demanda creciente de la población por alimentos reducidos en grasa, o sea, más saludables (Scott, 1991). Muchas plantas queseras realizan la operación de estandarización o normalización de la leche con el objeto de darle un valor agregado a la crema extraída en la elaboración de natillas, crema dulce, queso crema, mantequilla y helados. La utilización de leches con altos contenidos de grasa, normalmente produce sueros altos en sólidos grasos, hecho que representa una importante pérdida económica para las plantas procesadoras. Para regular el porcentaje de grasa, se descrema parte de la leche que se va a utilizar, mezclándose luego con leche íntegra, en una proporción tal que se logren obtener los valores requeridos de grasa (Revilla, 1985).

El descremado de la leche se hace posible gracias a la diferencia entre la gravedad específica de la grasa ($ge_g = 0,93$) y la de la leche descremada ($ge_d = 1,035$), aprovechando la inestabilidad de la emulsión en la que se encuentra la grasa de la leche (Revilla, 1985).

3.3.2. Pasteurización

Esta operación consiste en un calentamiento controlado por tiempo definido. Es empleada con el propósito de eliminar los microorganismos patógenos, otros microorganismos y enzimas perjudiciales para el proceso de elaboración asociados naturalmente a la leche (Scott, 1991).

3.3.3. Enfriamiento

En este proceso se enfría la leche a 38 - 39 °C con el objeto de obtener el ambiente propicio para la coagulación y el desarrollo de los cultivos lácticos (Scott, 1991).

3.3.4. Adición del cloruro de calcio

Este aditivo se adiciona con el propósito de recuperar el equilibrio entre las sales de calcio presentes entre la fase soluble, la coloidal y el complejo fosfocaseinato cálcico, ya que el proceso de coagulación depende precisamente de este equilibrio (Scott, 1991).

Esta sal se adiciona en una cantidad menor o igual a 200 ppm (Kosikowski, 1982), confiriéndole a la cuajada mayor firmeza, menor pérdida de finos y mayor rendimiento en el producto final.

3.3.5. Coagulación

La coagulación de la leche es una etapa esencial en el proceso de elaboración del queso para lograr la eliminación del agua y dar paso a la consiguiente concentración de sólidos (Chan, 1992).

Este proceso se da por la acción enzimática (proteolítica) del cuajo sobre las moléculas de caseína. Las enzimas proteasas de mayor uso son la renina y la pepsina, aunque también se usan otras de origen vegetal presentes en extractos de cortezas, látex, etc. (Jiménez, 1994). Las de mejor funcionamiento son la quimosina y la pepsina bovina (Corrales, 2004).

En la leche fresca, la caseína existe en solución de partículas coloidales aproximadamente esféricas, compuestas por miles de moléculas individuales de los cuatro tipos de caseína (α , α_1 , β y κ -caseína), conteniendo en su estructura fosfato de calcio que contribuye a la estabilidad de las micelas. La κ -caseína funciona como protectora de las micelas, impidiendo su fusión (Chan, 1992).

De acuerdo con Scott (1991), la coagulación de la leche por acción de las enzimas proteolíticas es el resultado de tres fases. En la primera, se rompe la cadena de aminoácidos de la κ -caseína entre las posiciones 105 y 106 ocupadas por los aminoácidos fenilalanina y metionina dando lugar a la formación de la para- κ -caseína y un macropéptido que precipita; este fenómeno se conoce como floculación (Chan, 1992). Con la κ -caseína hidrolizada a un 85 % aproximadamente, inicia la segunda fase de la coagulación (Brown, 2002); la formación de la paracaseína. En esta etapa las micelas de caseína, antes protegidas y estabilizadas por la κ -caseína, se unen entre sí mediante puentes de fósforo y calcio dando lugar a la formación de una red tridimensional que engloba el resto de los componentes de la leche tales como agua, grasa, vitaminas y lactosa, entre otros, produciendo un gel o coágulo.

La tercera fase de acción del cuajo, que inicia al finalizar la coagulación de la leche, consiste en la proteólisis de las caseínas α y β debido a que aproximadamente un 6 % del cuajo sigue funcionando en el queso.

3.3.6. Corte y agitado

Esta etapa consiste en hacer pasar una lira, que consiste en un marco de acero inoxidable con hilos dispuestos horizontal o verticalmente, distanciados aproximadamente 1 cm (Murillo, sf.), a través del gel formado durante la coagulación. En este proceso se generan cubos de cuajada que flotan en el suero, luego de lo cual se agitan provocando la salida del suero atrapado por sinéresis (Brown, 2002), produciendo lo que se conoce como granos de cuajada. El tiempo, la velocidad de agitación y la temperatura en esta etapa determinarán la textura y la humedad del producto terminado. En la elaboración de los quesos frescos, una correcta manipulación de los tres factores citados es crítica para la obtención de buenos rendimientos.

3.3.7. Desuerado

El desuerado consiste en la separación de la cuajada y el suero. Normalmente, la operación se realiza drenando la cuajada a través de parrillas y desagües colocados en la parte inferior de las tinajas de elaboración (Kosikowski, 1982). En las queserías rurales, la cuajada se deja sedimentar y seguidamente se retira el suero con picheles, cubetas o palanganas. Dependiendo de la fórmula, se puede dejar la cuajada en cierta cantidad de suero o la misma cuajada colocada a los costados de la tina de elaboración, manteniendo un espacio libre en el centro por donde termina de drenarse (Kosikowski, 1982).

3.3.8. Salado

Esta operación se realiza adicionando sal directamente a la cuajada con agitación de la misma. El porcentaje de sal añadido varía con la fórmula; Granados y Álvarez (2007) sugieren un 0,3 % en función del volumen de leche de partida, para obtener un porcentaje de 1 a 3 % en el producto terminado. Otros autores como FAO (2006) proponen un 0,5 %. La sal tiene como objetivo acentuar el sabor de los quesos frescos, favorecer el proceso de desuerado y retardar el desarrollo de algunos microorganismos indeseables (Frazier & Westhoff, 1993).

3.3.9. Moldeo

Luego del salado, se procede a recoger la cuajada en moldes de plástico o acero inoxidable cuyo tamaño y forma varía dependiendo de la presentación final del producto terminado. Es importante destacar que los bloques de queso obtenidos al final del

proceso de elaboración, tendrán la forma y el tamaño de los moldes donde fue contenida la cuajada.

3.3.10. Prensado

Esta operación consiste en ejercer presión sobre los moldes con cuajada a temperatura ambiente durante un tiempo definido. Algunos autores recomiendan entre 10 kPa y 20 kPa por un tiempo de 20 a 30 min (Murillo, sf.). En tanto que otras fuentes, como FAO (2006), recomiendan realizar la etapa de prensado con el peso del mismo molde, haciendo volteos. Sea cual sea el método usado, el propósito de esta etapa es el compactar y terminar de drenar el suero de los bloques individuales de queso.

3.3.11. Empaque y almacenado

Una vez prensado, el queso se desmolda y se coloca en bolsas plásticas. Posteriormente se refrigera entre 2 y 5°C por un máximo de 5 días hasta su consumo (Granados & Álvarez, 2007). Las temperaturas de refrigeración conservan el queso (Frazier & Westhoff, 1993) y favorecen la compactación del producto terminado.

3.4. Lactosuero

Se define el lactosuero o suero lácteo como “la sustancia líquida obtenida por separación del coágulo de leche en la elaboración de queso”. Es un líquido translúcido, verde amarillento, por su alto contenido de riboflavina (Calvo, sf), obtenido de la leche después de la precipitación de la caseína. Contiene principalmente agua, lactosa, proteínas, minerales, vitaminas y grasa (Parra, 2009).

No todos los lactosueros son iguales. Una de las diferencias principales entre ellos es su composición, que depende de la leche de partida, del contenido de humedad del queso, del pH al que el suero se separa de la cuajada (Inda, 2000) y de la manera en que se realiza el proceso de coagulación. Al respecto, agrega Parra (2009) que existen dos tipos de lactosuero, el primero se conoce como suero dulce, que se produce luego de la coagulación enzimática de la leche por acción del cuajo, tal y como ocurre con el proceso de elaboración de la mayoría de los quesos y, el otro, conocido como suero ácido, que resulta del proceso de fermentación o de adición de ácidos orgánicos o minerales, como sucede con el proceso de elaboración del queso Cottage (Scott, 1991; Kosikowski, 1982).

3.4.1. Composición del lactosuero

En el Cuadro 1 se detalla la composición nutricional de los lactosueros dulce y ácido, observándose que el dulce tiene un mayor contenido de lactosa y proteína respecto al ácido, en tanto que el suero ácido, tiene una mayor cantidad de calcio respecto al dulce (Inda, 2000; Parra, 2009).

Cuadro 1. Composición del lactosuero dulce y ácido (Parra, 2009)

Componente	Lactosuero dulce (g/L)	Lactosuero ácido (g/L)
Sólidos totales	63,0 - 70,0	63,0 - 70,0
Lactosa	46,0 - 52,0	44,0 - 46,0
Proteína	6,0 - 10,0	6,0 - 8,0
Calcio	0,4 - 0,6	1,2 - 1,6
Fosfatos	1,0 - 3,0	2,0 - 4,5
Lactato	2,0	6,4
Cloruros	1,1	1,1

En cualquiera de los dos tipos obtenidos, se estima que por cada kg de queso se producen 9 kg de lactosuero, alcanzándose un rendimiento promedio, en kg de queso obtenido por kg de leche de partida, del 10 % al 15 %, con una retención por parte del lactosuero del 55 % de los nutrientes de la leche.

Los más abundantes son la lactosa (4,5 - 5 % m/v), las proteínas solubles (0,6 - 0,8 % m/v), los lípidos (0,4 - 0,5 % m/v) y las sales minerales (8 - 10 % de extracto seco), destacándose el potasio, seguido del calcio, fósforo, sodio y magnesio. Cuenta también con vitaminas del grupo B (tiamina, ácido pantoténico, riboflavina, piridoxina, ácido nicotínico, cobalamina) y ácido ascórbico (Parra, 2009). En el Cuadro 2 se registra el contenido de vitaminas del suero y las necesidades diarias desde el punto de vista de la nutrición humana, encontrándose con que el ácido pantoténico presenta la mayor concentración con 3,4 mg/mL, seguido del ácido ascórbico con 2,2 mg/mL.

Cuadro 2. Contenido de vitaminas del lactosuero (Parra, 2009)

Vitamina	Concentración (mg/mL)	Necesidades diarias (mg)
Tiamina	0,38	1,5
Riboflavina	1,2	1,5
Ácido nicotínico	0,85	10-20
Ácido pantoténico	3,4	10
Piridoxina	0,42	1,5
Cobalamina	0,03	2
Ácido ascórbico	2,2	10-75

3.4.2. Proteínas del lactosuero

Las proteínas del lactosuero representan entre un 18 y 20 % del nitrógeno total contenido en la leche de vaca (Jovanović *et al.*, 2005) y se definen como aquellas que se mantienen en solución tras precipitar las caseínas a un pH de 4,6 y a una temperatura de 20 °C. Esta separación entre caseína y proteínas del lactosuero fue llevada a cabo por primera vez por Hammarsten en 1883, utilizándose todavía el término "caseína de Hammarsten" para designar a la obtenida de esta forma. Este científico consideró que la proteína del lactosuero era una "globulina", es decir, el tipo de proteína soluble en soluciones salinas pero insoluble en agua destilada. Trabajos posteriores, especialmente de Sebelien, en 1885, demostraron que estas proteínas eran más bien del tipo de las albúminas, solubles en agua destilada. La polémica de lactoalbúmina versus lactoglobulina ha dejado los nombres para las dos principales proteínas del lactosuero (Calvo, sf).

En la actualidad se sabe que estas proteínas son globulares, presentan relativamente una alta hidrofobicidad y cadenas peptídicas compactas. Dentro de las conformaciones más comunes cabe destacar la α -hélice y la β -hojas plegadas con una distribución de carga relativamente homogénea, volviéndose insolubles a causa de su propia desnaturalización en la leche cuando el pH baja de 6,5 y se calienta (Walstra *et al.*, 2006). A continuación, en el Cuadro 3 se muestra una descripción de las principales proteínas del suero.

Cuadro 3. Proteínas del lactosuero (Walstra *et al.*, 2006; Archibal, 2008).

Proteína	g / kg leche	g / 100 g proteína láctea	Comentarios
β -lactoglobulina	3,2	9,8	Fuente de aminoácidos esenciales y de cadena ramificada (BCAA). Estimula la fijación y biodisponibilidad de vitaminas liposolubles.
α -lactoalbúmina	1,2	3,7	Principal proteína del suero encontrada en la leche humana. Fuente de aminoácidos esenciales y BCAA. Contiene niveles más elevados de triptófano. Previene el cáncer.
Glicomacropéptido	-	2 - 5	Proporciona un efecto modulador del sistema inmunológico y un sistema de defensa pasivo a recién nacidos. Estimula al organismo a producir colecistoquinina, la hormona liberada tras la ingestión de alimentos y que es responsable por la sensación de saciedad.
Lactoferrina	-	1 - 2	Promueve el crecimiento de bacterias benéficas, tales como <i>Bifidus</i> . Regula la absorción y la biodisponibilidad de hierro. Proporciona un efecto modulador del sistema inmunológico y actividad contra bacterias, virus, cáncer y trombosis.
Sero albúmina	0,4	1,2	Proteína de la sangre. Provee todos los aminoácidos esenciales.
Proteosa peptona	0,8	2,4	Heterogénea.
Inmunoglobulinas	0,8	2,4	Glicoproteínas. Potencia y fortalece el sistema inmunológico.

La α -lactoalbúmina biológicamente funciona como una coenzima en la síntesis de lactosa. Esta proteína es pequeña, compacta y algo esférica. No se encuentra asociada excepto por interacciones iónicas. Su conformación se encuentra estabilizada por la presencia de enlaces con calcio. Al disminuir el pH a valores cercanos a 4, las moléculas pierden el calcio causándose desdoblamientos parciales y provocando vulnerabilidad a la desnaturalización irreversible con tratamientos térmicos a relativamente baja temperatura. La α -lactoalbúmina nativa en la leche puede presentar una desnaturalización reversible con tratamientos térmicos si se aísla de las otras proteínas (Walstra *et al.*, 2006).

La β -lactoglobulina es la proteína del suero que se encuentra en mayores proporciones, tendiendo sus propiedades a dominar las características de los preparados de proteínas de suero, especialmente las reacciones que ocurren con los tratamientos térmicos. Su solubilidad depende fuertemente del pH y de las interacciones iónicas ambientales. Las estructuras secundarias y terciarias de la β -lactoglobulina se conocen en detalle. Las moléculas presentan dos enlaces disulfuro -S-S- y un grupo sulfhidrido -SH. Esta proteína se encuentra expuesta a una serie de cambios en sus estructuras terciaria y cuaternaria al modificarse el pH o la temperatura. Se presenta como un dímero enlazado entre sí fuertemente por interacciones hidrofóbicas. Este dímero se disocia a altas temperaturas. A un pH de 5,5 la β -lactoglobulina se asocia en un octámero a pesar de que se pueden formar grupos menores. Por debajo de 3,5 no se dan asociaciones y a un pH de aproximadamente 7,5, únicamente es posible encontrar la proteína en forma de monómeros. Estos cambios en la conformación de la proteína por efecto del pH hacen que se expongan los grupos sulfhidrilos, generando moléculas levemente reactivas. La β -lactoglobulina se encuentra en tres versiones genéticas A, B y C. Los tipos A y B difieren únicamente en la estabilidad conformacional. Esta proteína tiende a formar enlaces con algunas moléculas polares como el retinol y algunos ácidos grasos, aumentando su importancia tecnológica o nutricional (Walstra *et al.*, 2006).

La sero albúmina o albúmina de la sangre es una molécula larga compuesta de tres péptidos globulares. Esta proteína contiene 17 enlaces -S-S- y un -SH. Proviene del suero sanguíneo.

Las inmunoglobulinas son anticuerpos sintetizados en respuesta a la presencia de antígenos específicos. Se encuentran en la sangre y en la leche, y se componen de largas moléculas de glicoproteínas con composición heterogénea. Se distinguen varias

clases de inmunoglobulinas, incluyéndose las gammaglobulinas “G” y las macroglobulinas “A” y “M”. Cada molécula IgG se encuentra polimerizada con dos cadenas fuertes (H) y dos cadenas débiles (L). La molécula contiene dos sitios reactivos idénticos que le sirven para unirse a los antígenos mediante puentes de hidrógeno, interacciones hidrofóbicas o electrostáticas. La IgG inmunoglobulina puede ejercer acción sobre varios antígenos, inhibiendo el desarrollo bacteriano. La IgM consiste en un pentámero de moléculas tipo IgG. Ésta es una molécula larga con un diámetro cercano a los 30 nm. La IgM puede funcionar como anticuerpo de algunos tipos de polisacáridos presentes en la pared celular de las bacterias. Puede actuar sobre “partículas”, incluyendo bacterias y virus. Este anticuerpo tiene gran importancia en la leche; incluye las llamadas lactenina L1 y L3, capaces de inhibir bacterias Gram positivas naturales de dicha secreción mamaria. Esta proteína se desnaturaliza con los tratamientos térmicos, volviéndose insoluble (Walstra *et al.*, 2006).

En el Cuadro 4 se muestra una comparación del aporte individual de aminoácidos de las proteínas de suero respecto a la caseína, por ser esta última la mayoritaria y precursora de los quesos elaborados por precipitación ácida o coagulación enzimática (Fennema, 1985).

Centrando la atención en los aminoácidos esenciales, por tratarse de los que tienen un efecto directo sobre el valor nutricional de la proteína, puede deducirse que el triptofano es el aminoácido esencial cuya contribución, proporcionalmente, es más débil en la caseína, con un contenido de 0,06 mol / kg, en comparación con la α -lactoalbúmina y la β -lactoglobulina, que presentan valores de 0,28 y 0,11 mol / kg, respectivamente.

Cuadro 4. Composición en aminoácidos de las proteínas de la leche (mol / kg de cada proteína) (Walstra *et al.*, 2006; Belitz & Grosch, 1997)

Componente	Caseína total	α -lactoalbúmina	β -lactoglobulina	Sero albúmina
Glicina	0,25	0,42	0,22	0,24
Alanina	0,36	0,21	0,82	0,69
Valina*	0,62	0,42	0,49	0,54
Leucina*	0,74	0,92	1,20	0,92
Isoleucina*	0,47	0,56	0,55	0,21
Prolina	1,02	0,14	0,44	0,42
Fenilalanina*	0,33	0,28	0,22	0,41
Tirosina	0,34	0,28	0,22	0,29
Triptófano*	0,06	0,28	0,11	0,03
Serina	0,68	0,49	0,38	0,42
Treonina*	0,38	0,49	0,44	0,51
Cisteína	0,02	0,56	0,27	0,53
Metionina*	0,21	0,07	0,22	0,06
Arginina*	0,22	0,07	0,16	0,35
Histidina*	0,19	0,21	0,11	0,26
Lisina*	0,56	0,85	0,82	0,89
Asparagina	0,31	0,56	0,27	0,18
Ac. Aspártico	0,22	0,92	0,55	0,63
Glutamina	0,74	0,42	0,49	0,29
Ac. Glutámico	0,87	0,49	0,88	0,91

*Aminoácidos esenciales

Para una mejor comprensión de la contribución de las proteínas del suero, en el Cuadro 5 se muestran los aminoácidos esenciales de la caseína y del suero presentes en 100 g de proteína láctea. En la última columna se tiene la fracción de aminoácidos esenciales presentes en el suero, en relación con los presentes en la caseína.

Cuadro 5. Contribución de aminoácidos esenciales en 100 g de proteína de leche¹

Aminoácido	Caseína (g)	Proteínas suero ² (g)	Fracción en función de la caseína
Valina	5,69	0,82	14
Leucina	7,60	2,13	28
Isoleucina	4,83	1,01	21
Fenilalanina	4,27	0,61	14
Triptófano	0,85	0,44	52
Treonina	3,54	0,80	23
Metionina	2,45	0,37	15
Lisina	6,41	1,79	28

¹ Valores obtenidos de los Cuadros 3, 4 y de las masas moleculares de los aminoácidos esenciales

² El dato se tomó de las proteínas mayoritarias del suero, α -lactoalbúmina, β -lactoglobulina y sero albúmina

Del Cuadro 5 se observa que en 100 g de proteína de leche, el triptófano contenido en las proteínas del suero equivale al 52 % del triptófano presente en la caseína, a pesar de que la proteína del suero representa un 19 % de las proteínas de la leche.

3.4.3. Extracción de la proteína del lactosuero

Existen dos maneras generales para extraer la proteína del lactosuero. Mediante procesos de membranas por ultrafiltración (Walstra *et al.*, 2006; Jovanović *et al.*, 2005) o por desnaturalización térmica acompañada del uso de cloruro de calcio y acidificación (Inda, 2000; Kosikowski, 1982; Jovanović *et al.*, 2005). El segundo de los métodos fue utilizado durante la etapa experimental de este proyecto.

Se entiende por desnaturalización, cualquier proceso que no involucre la ruptura de enlaces peptídicos y que cause un cambio en la estructura tridimensional de la proteína a partir de la forma que existe en su estado nativo; lo que incluye la ruptura de enlaces -S-S- entre cadenas polipeptídicas, o la modificación química de ciertos grupos en la proteína (Inda, 2000).

Las proteínas lactoséricas no reaccionan con el cuajo, tienen un peso molecular relativamente bajo y son solubles en su punto isoeléctrico, por lo que es necesario desnaturalizarlas térmicamente para precipitarlas (Inda, 2000). La desnaturalización se

produce a partir de los 60 °C, siendo un proceso irreversible, destacándose la formación de agregados a través de enlaces hidrofóbicos e interacciones tiol disulfuro (Donato & Guyomarc, 2008; Jovanović *et al.*, 2005).

Durante este proceso, la β -lactoglobulina sufre una alteración estructural en la que quedan expuestos 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 a 70 °C (Inda, 2000).

Adicionalmente se producen reacciones secundarias en las que se forman estructuras coloidales de mayor tamaño mediante la agregación no específica de los productos de la reacción primaria. Estas reacciones ya no dependen 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 consiste en que las proteínas lactoséricas desnaturalizadas térmicamente se desestabilicen por la adición de ácido en la presencia de calcio (Inda, 2000).

Agrega el autor citado que 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 la concentración de iones de Ca^{2+} .

En la Figura 2 se muestra un proceso típico de extracción de la proteína de suero.

Para maximizar el rendimiento de la proteína recuperada, algunos autores recomiendan ajustar el pH del lactosuero con hidróxido de sodio a valores cercanos a la neutralidad (Donato & Guyomarc, 2009), luego calentar entre 70 °C y 101 °C y por último ajustar la acidez a valores entre 0,15 y 0,30 %. Cuando el suero empleado tiene un pH por encima de 6,0, se requiere además la adición de cloruro de calcio (Inda, 2000).

Luego de terminar la etapa de calentamiento, se deja el sistema en reposo por aproximadamente 10 minutos, con el objeto de que la cuajada flote por el aire atrapado en su estructura. Seguidamente, y con mucho cuidado, se retira la cuajada del resto del suero (Kosikowski, 1982).

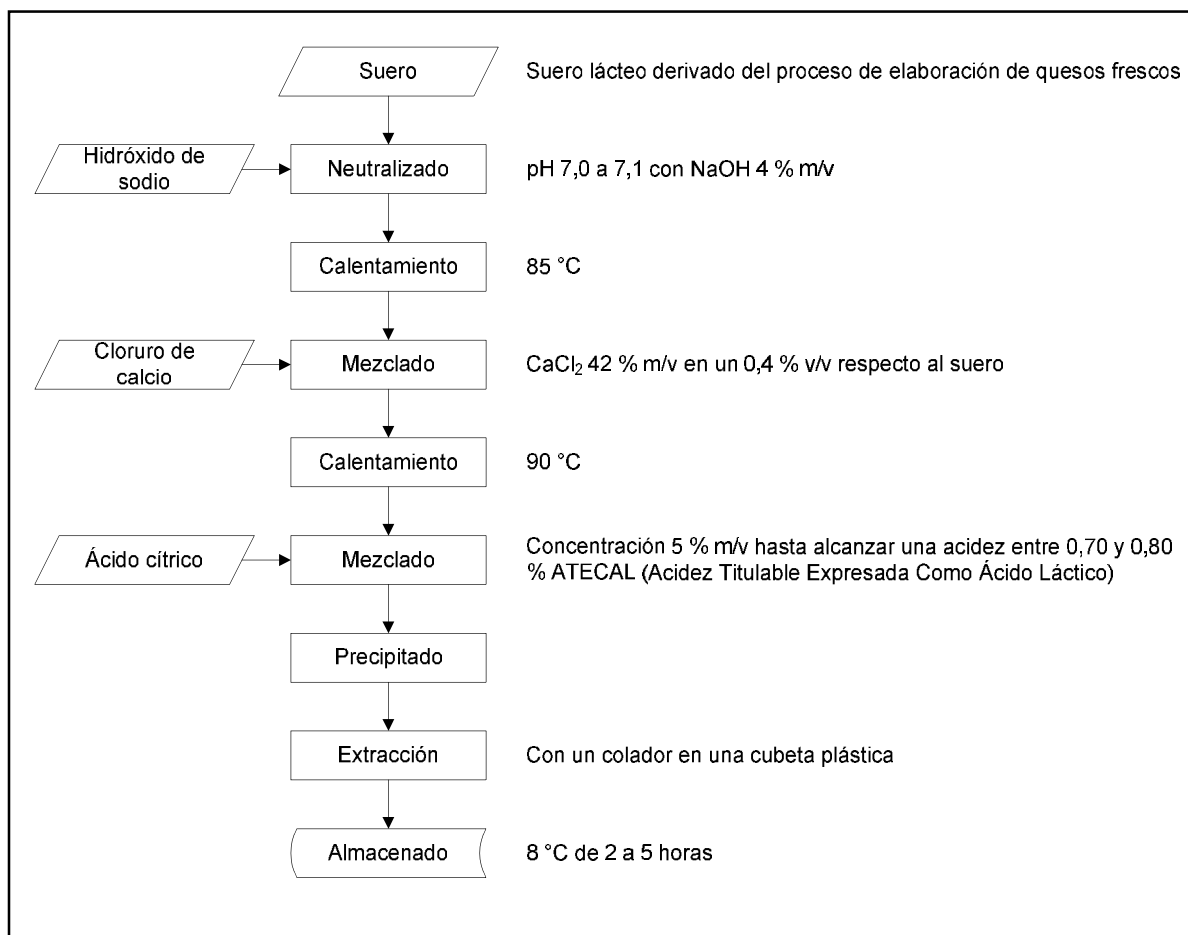


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de recuperación de la proteína de suero (Inda, 2000)

3.4.4. Propiedades de la proteína del lactosuero

Existen tres tipos de propiedades benéficas características de la proteína de suero: su alto valor nutricional, sus propiedades nutraceuticas, entendidas como las particularidades de un alimento cuyo aporte a la salud va más allá de la nutrición básica, y sus características industriales, que le permiten funcionar como ingrediente gracias a su capacidad de gelificar, retener agua y de funcionar como emulsificante (Jovanović *et al.*, 2005).

Respecto a las propiedades nutricionales, la proteína de suero presenta un elevado valor biológico (HBV, sigla en inglés para High Biological Value) y un rico perfil de aminoácidos, destacándose los esenciales, sulfurados y de cadena ramificada (BCAA, sigla en inglés para Branched Chain Amino Acids). Dichos aminoácidos son los

principales responsables del índice PER (Protein Efficiency Ratio), que es un indicador de la eficiencia nutricional que evalúa la ganancia de peso en ratas de laboratorio por gramo de proteína ingerido. En el Cuadro 6 se compara la calidad de la proteína del suero con la de otras proteínas de referencia (Archibald, 2008).

Cuadro 6. Tabla comparativa de la calidad proteica de la proteína de suero

Tipo de proteína	Digestibilidad proteica corregida por el score de aminoácidos (PDCAAS)	Score de aminoácidos esenciales	Índice de eficiencia proteica (PER)	Valor biológico (BV ¹)	Digestibilidad proteica (PD)
Concentrado de proteína de suero	1,00	1,14	3,20	104	99
Huevo integral	1,00	1,21	3,80	100	98
Caseína	1,00	1,19	2,90	77	99
Concentrado de proteína de soja	0,99	1,04	2,20	74	95
Carne bobina	0,92	0,94	2,90	80	98
Gluten	0,25	0,47	0,34	54	91

¹El valor biológico es un índice que valora el nitrógeno retenido frente al absorbido.

La proteína de suero se usa como ingrediente en fórmulas infantiles, ya que contiene entre un 20 y 25 % de α -lactoalbúmina que es la principal proteína encontrada en la leche humana, razón por la que se dice que esta proteína constituye el componente “humanizante” de las fórmulas infantiles (Archibald, 2008). A diferencia de la leche de vaca, donde la proteína del suero apenas representa un 20 % del total de la proteína, en la leche humana constituye cerca del 70 % (Shellhorn & Valdez, 1995).

Contiene albúmina sérica e inmunoglobulinas que incluyen las IgG1, IgG2, IgA e IgM, sustancias que confieren y/o refuerzan la inmunidad pasiva al organismo de lactantes y niños pequeños. Otro de sus componentes, la lactoferrina, es una proteína de transporte con propiedades de fijar hierro. La lactoferrina es ampliamente usada en fórmulas infantiles en varios países asiáticos debido a su aparente capacidad de aumentar y mejorar la absorción de hierro sin causar el estreñimiento que se asocia comúnmente al uso de suplementos a base de hierro inorgánico. Esta proteína ha demostrado propiedades moduladoras del sistema inmunológico mediante su acción antimicrobiana y su efecto inhibitor sobre la producción de toxinas por microorganismos. Se cree que la lactoferrina tiene un efecto antagónico basado en su capacidad para ligar hierro indisponiendo su utilización, necesaria también para el desarrollo bacteriano, al mismo tiempo que permite al intestino mejorar la absorción de este metal (Jiménez & García, 2006). Investigaciones recientes han demostrado efectos bacteriostáticos sobre las membranas de las bacterias (Walsem, 2004). La lactoferrina también puede conferir protección contra virus como los que causan la hepatitis, citomegalovirus e influenza (Archibald, 2008).

Se ha demostrado, mediante varios estudios, que la proteína del suero se tolera mejor por el organismo debido a su capacidad de pasar más rápidamente por el estómago y el intestino, al punto de que varias de estas proteínas se absorben intactas en el intestino (Walsem, 2004). Esta propiedad tiene implicaciones significativas para situaciones de cuidados intensivos, en que la disponibilidad de nutrientes en el intestino es de importancia vital para auxiliar en el proceso de recuperación. Fórmulas que contienen proteína del suero reducen el tiempo de vaciamiento gástrico y, en consecuencia, el riesgo potencial de reflujo gastro-esofágico (Archibald, 2008). Agrega el mismo autor que diversos estudios también han comprobado la capacidad que tienen las fórmulas a base de proteína del suero de ayudar a modular los patrones de movimiento intestinal y regular la consistencia de las heces (diarrea o estreñimiento) en situaciones críticas que exigen cuidados intensivos, como es el caso de incontinencia fecal en niños con parálisis cerebral grave y adultos con VIH.

Además de tolerancia, absorción y motilidad intestinal, hay otras aplicaciones en que la proteína del suero ejerce una influencia directa en el metabolismo. La proteína del suero constituye una rica fuente de dos aminoácidos sulfurados: cisteína y metionina. Los aminoácidos sulfurados actúan como precursores del tripéptido denominado glutatión

(GSH), el cual, por su parte, reduce los daños causados por la oxidación y, al mismo tiempo, mejora el funcionamiento del sistema inmunológico. El GSH es de vital importancia para el tratamiento intensivo de pacientes en condiciones de estrés fisiológico, un fenómeno estrechamente vinculado con los daños que provoca la oxidación (Archibald, 2008).

El papel central que desempeña el GSH en la atenuación de procesos de oxidación es especialmente significativo para portadores de HIV, ya que esta enfermedad se caracteriza por un aumento en los niveles de estrés oxidativo, acompañado por la deficiencia del GSH asociada a las altas tasas de replicación viral. Varios estudios han revelado de forma consistente que hay una correlación positiva entre la proteína del suero y el aumento en los niveles de GSH (Archibald, 2008).

Se ha demostrado también que puede favorecer la respuesta inmune del organismo promoviendo la proliferación de linfocitos, y que puede promover la diferenciación celular, ayudando a la reparación de tejidos dañados. Una de las propiedades bioactivas más prometedoras de la lactoferrina se basa en su relación en el combate del cáncer. Varios estudios han demostrado que puede ayudar en el tratamiento de esta enfermedad, y se han llegado a proponer varios mecanismos por los cuales podría ejercer su actividad (Jiménez & García, 2006).

Algunos de los mecanismos más sencillos por los que esta proteína podría prevenir el desarrollo de tumores, provienen de su capacidad antioxidante, pues esta proteína podría actuar como apagador de radicales libres que promueven la formación de tumores. Su efecto como estimuladora del sistema inmune, podría ayudar a prevenir el cáncer de estómago al actuar como bactericida contra *Helicobacter pylori*, bacteria que se ha asociado con este padecimiento a través de procesos ulcerosos. Asimismo, a nivel más general, algunos estudios proponen que al estimular el sistema inmune del organismo, la lactoferrina podría promover el reconocimiento de células tumorales por parte de las citoquinas naturales del organismo, evitando que los tumores crezcan. Estudios preliminares demuestran que la lactoferrina puede actuar como inhibidor de los factores de crecimiento vascular-endotelial; éstos juegan un papel muy importante durante el desarrollo de un tumor, pues promueven la formación de redes de vasos sanguíneos intratumorales que mantienen vivo al tumor. Estudios llevados a cabo en ratas alimentadas con soluciones de lactoferrina demostraron que ésta inhibe la formación de

vasos sanguíneos en el tumor, y con ello disminuye su tasa de crecimiento (Jiménez & García, 2006).

Una enzima conocida como lactoperoxidasa, que constituye una pequeña parte de la proteína del suero, también tiene atributos antimicrobianos. Se cree que juega un papel preponderante en la vida útil de la leche pasteurizada. Actualmente se extrae y se utiliza como preservante en pasta de dientes (Walsem, 2004).

La proteína del suero puede desempeñar un importante papel tanto en la protección contra el cáncer como en el aumento de la sensibilidad de las células a los efectos de la quimioterapia. Una vez más, el glutatión (GSH) es el principal factor responsable por dicho efecto. Las células de un tumor contienen niveles de GSH más elevados que las células de tejidos normales, debido a su alta tasa de proliferación celular. Algunos estudios sugieren que una elevada concentración de GSH en células cancerosas aumenta la resistencia de los tumores a los tratamientos contra el cáncer, adicionalmente se sabe que el agotamiento del GSH tumoral disminuye la tasa de proliferación celular e inhibe el desarrollo del cáncer (Walsem, 2004). Desde el punto de vista médico, no es una solución viable tratar de disminuir el contenido de glutatión en un paciente de cáncer, ya que quedaría desprovisto el tejido sano, poniéndose el paciente en una condición peor. Hace falta la administración de una droga que agote selectivamente el GSH en las células cancerígenas, aumentando al mismo tiempo su contenido en las células sanas con el objeto de proteger al paciente de los efectos adversos de la quimioterapia; hecho que se logra precisamente con la ingesta de proteína de suero, de acuerdo con los resultados de investigaciones recientes (Archibald, 2008).

Un estudio realizado en 1995 con 5 pacientes con carcinoma metastático de mama y un paciente con carcinoma metastático del hígado reveló que la ingestión de proteína del suero puede disminuir o casi eliminar las concentraciones intracelulares de GSH, aumentando así la sensibilidad de las células a los efectos de la quimioterapia (Archibald, 2008). Un estudio realizado en el 2000 demostró que un aislado de proteína del suero (WPI, del inglés Whey Protein Isolate) potenció el efecto citotóxico de la baicaleína, una droga potencial contra el cáncer, cuando se aplicó en una cepa de células humanas (Archibald, 2008). Otro estudio realizado con el apoyo financiero del Departamento de Agricultura de Estados Unidos y llevado a cabo en el Centro de Nutrición Infantil de Arkansas (Arkansas Children's Nutrition Center) investigó el efecto de la proteína del suero y de la proteína de soja sobre el cáncer de mama en ratones. Los resultados

mostraron que, del grupo de control (alimentado con una dieta a base de caseína), el 77 % de los ratones alimentados con soja y el 54 % de los ratones alimentados con proteína del suero desarrollaron por lo menos un tumor. Además de la proporción menor de animales que desarrollaron la enfermedad, los tumores mamarios en los ratones alimentados con proteína del suero eran menores y en menor número con respecto a los ratones del grupo de control. Esas observaciones pueden aun confirmar el potencial de eficacia de la proteína del suero en la prevención o regresión de tumores (Archibald, 2008).

Hay cada vez más evidencias de que determinados compuestos bioactivos de la proteína del suero pueden ejercer un efecto positivo en la salud cardiovascular. Más específicamente, las proteínas del suero han demostrado un efecto inhibitorio sobre la actividad de la enzima transformadora de la angiotensina (ACE, del inglés Angiotensin Converting Enzyme), además de poseer actividad antitrombótica y contribuir a la reducción de la tasa de colesterol en sangre. Varios estudios llevados a cabo en todo el mundo desde el inicio de la década de 1980, señalan que los péptidos bioactivos de la proteína del suero, aislados de leche fermentada, poseen actividad antihipertensiva. Estudios más recientes realizados con animales han revelado que péptidos del suero hidrolizados actúan como inhibidores de la ACE, enzima responsable por la conversión de angiotensina I en angiotensina II, un poderoso vasoconstrictor (Archibald, 2008).

En una conferencia realizada por el Institute of Food Technologists en 2001, se presentó un estudio que llevó 12 semanas de trabajo, donde se pudo demostrar una reducción del 20 % en la tasa de producción de lipoproteínas de baja densidad (LDL) en un grupo de adultos alimentados con concentrado de proteína de suero. El nivel de colesterol total en la sangre de los individuos monitoreados bajó durante el estudio en un 15 % (Archibald, 2008).

Si bien la eficacia de la proteína del suero en la reducción del colesterol LDL está todavía empezando a ser investigada, se sabe que la lactoferrina desempeña un importante papel en el efecto que proporciona la proteína del suero gracias a la característica de la lactoferrina de actuar como agente antiaterogénico inhibiendo la acumulación de ésteres de colesterol en el interior de los macrófagos. De igual forma, los atributos antitrombóticos de la proteína del suero también se están empezando a estudiar; en ese caso, los esfuerzos de las investigaciones se centran en el papel de la lactoferrina

y del glicomacropéptido como posibles inhibidores de la agregación de plaquetas (Archibald, 2008).

En el mundo de los deportes, donde el tiempo es oro, a los atletas se les recomienda prestarle atención a los productos que contienen proteína del suero. La proteína del suero contiene un elevado nivel de aminoácidos de cadena ramificada (BCAA) (isoleucina, leucina y valina), una característica de gran interés en la esfera deportiva para los atletas de alto rendimiento y durante las competencias. Los aminoácidos de cadena ramificada son oxidados directamente por los músculos del esqueleto durante actividades físicas prolongadas. De acuerdo con la teoría aceptada actualmente, la ingestión de aminoácidos de cadena ramificada puede proteger y reducir el catabolismo de la masa muscular para obtener energía y también permitir la recuperación más rápida después de practicar ejercicios físicos intensos (Archibald, 2008).

Los aminoácidos de cadena ramificada también pueden ayudar a equilibrar y atenuar los efectos de fatiga y agotamiento. Conforme a una de las teorías modernas, este beneficio es resultado de la alteración de la proporción entre triptófano libre y aminoácidos de cadena ramificada que superan el sistema de protección conocido como barrera sanguínea. El triptófano es un precursor del neurotransmisor llamado serotonina (5-HT). Esta hipótesis sugiere que al disminuir la disponibilidad de triptófano por el aumento de los aminoácidos de cadena ramificada en la corriente sanguínea se pueden combatir los efectos de cansancio extremo. La proteína del suero también es una excelente fuente de arginina y lisina. Se considera que estos dos aminoácidos pueden estimular la hormona del crecimiento, una hormona anabólica. Esta correlación es particularmente significativa para los practicantes de fisiculturismo y a quienes se les prohíbe el uso de anabolizantes (Archibald, 2008).

Desde el punto de vista industrial, la proteína de suero es muy utilizada como ingrediente debido a que tiene propiedades como retenedor de humedad, emulsificante, destacándose su capacidad para formar espumas estables, gelificante, y como sustituto de grasa en alimentos dietéticos (Lobato *et al.*, 2007). Dichas propiedades se ven favorecidas por su alta solubilidad, dispersabilidad y poder para actuar como buffer en un amplio rango de pH (Dissanayake & Vaciljevic, 2009; Evans *et al.*, 2009).

Como emulsificante tiene la propiedad de formar espumas estables a partir de soluciones acuosas con aplicaciones demostradas en la elaboración de merengues y

productos panarios, empleándose también como sustituto de grasa (Marschall & Poulenc, 1998; Shibiny *et al.*, 2007).

Respecto a sus propiedades gelificantes, la proteína de suero se puede emplear sola o en combinación con almidón, hecho que mejora su capacidad para interactuar con el agua (Ravindra *et al.*, 2007; Ravindra & Chan, 2007), lo que le confiere atributos como estabilizante o agente retenedor de humedad.

Algunos productos donde se ha logrado emplear con éxito son los embutidos, aderezos para ensaladas, helados, cremas artificiales para café, sopas deshidratadas, repostería y diferentes productos lácteos (Dissanayake & Vaciljevic, 2009).

3.4.5. Problemática ambiental asociada al lactosuero

En la actualidad, aproximadamente el 90 % del total de la leche utilizada en la industria quesera es eliminada como lactosuero, el cual retiene cerca de 55 % del total de nutrientes de la leche como la lactosa, proteínas solubles, lípidos y sales minerales. Algunas posibilidades de la utilización de este residuo han sido propuestas, pero las estadísticas indican que una importante porción de este residuo, aproximadamente un 45 % de la producción mundial de suero, es descartada como efluente provocando un serio problema ambiental debido a que afecta física y químicamente la estructura del suelo, ya que genera una disminución en el rendimiento de cultivos agrícolas y, cuando se desecha en el agua, reduce la vida acuática al agotar el oxígeno disuelto (Parra, 2009). Agrega Inda (2000) que el lactosuero es uno de los materiales más contaminantes que existen en la industria alimentaria. Cada 1000 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.

Considerables esfuerzos se han realizado con el objeto de explorar nuevas alternativas para la utilización del lactosuero y la reducción de la contaminación ambiental. De esta manera, un 55 % de la producción mundial de suero es tratada y transformada en varios productos alimenticios, de los cuales cerca del 45 % se usa directamente en forma líquida, 30 % en polvo, 15 % como lactosa y subproductos, y el resto como concentrados de proteína de lactosuero (Parra, 2009).

3.4.6. Usos e industrialización del lactosuero

El primer uso del suero fue como alimento para animales. Se cree que se empezó a utilizar aproximadamente 5000 años antes de Cristo en Mesopotamia. En la edad media se usó como medicina, afrodisíaco y como bálsamo para la piel. El suero constituía un ingrediente importante para ungüentos y pociones para aliviar quemaduras, para inspirar vitalidad y como cura de varias enfermedades. No fue sino hasta en las últimas décadas que se ha empezado a utilizar directamente como alimento humano (Kosikowski, 1982).

El suero constituye una fuente económica de proteínas que otorga múltiples propiedades en una amplia gama de alimentos. Los productos del suero, incluyendo la lactosa, mejoran la textura, realzan el sabor y color, emulsifican y estabilizan, mejoran las propiedades de flujo y muestran muchas otras propiedades funcionales que aumentan la calidad de los productos alimenticios. A partir del lactosuero se han desarrollado un gran número de usos comerciales entre los que se encuentran la producción de etanol, ácidos orgánicos, bebidas no alcohólicas, bebidas fermentadas, biomasa, concentrados, aislados e hidrolizados de proteína, películas comestibles, medios de soporte para encapsular sustancias, goma xantán, enzimas y utilización de la lactosa separada para fines endulzantes en alimentos (Parra, 2009).

3.5. Análisis Sensorial

3.5.1. Definición

La evaluación sensorial de los alimentos es la disciplina que se ocupa de evocar, provocar, medir, analizar, cuantificar e interpretar las reacciones a determinadas características de un producto, ingrediente o modelo, según son percibidas por los sentidos (Jiménez, 1994; Pedrero & Pangborn, 1989). Entre dichas características se pueden mencionar en orden de importancia:

1. Apariencia: color, tamaño, forma, conformación, uniformidad.
2. Olor: los miles de compuestos volátiles que contribuyen al aroma.
3. Gusto: dulce, amargo, salado, ácido.
4. Textura: propiedades físicas como dureza, viscosidad y granulosis.
5. Sonido: aunque de poca aplicación en alimentos, se correlaciona con la textura; por ejemplo, crujido, tronado y efervescencia.

La utilización de esta disciplina abarca desde la investigación científica formal hasta la aplicación en la industria de los alimentos y mercadotecnia (Jiménez, 1994).

Pedrero & Pangborn (1989) sugieren las siguientes aplicaciones:

1. En el campo de las normas se utiliza para establecer criterios de calidad y referencia a través de los cuales la materia prima, los ingredientes y el producto terminado pueden ser clasificados, calificados y evaluados.
2. En el control de la calidad, se utiliza para la determinación de pautas sensoriales de los productos a ser consideradas desde la manufactura, durante la manipulación y el almacenamiento.
3. En el desarrollo de productos constituye una herramienta útil para la formulación de nuevos productos o la modificación de los ya existentes.
4. Permite desarrollar cálculos de propiedades sensoriales de manera más inmediata y reproducible mediante la comparación con medidas químicas, físicas o instrumentales.
5. Es de gran ayuda para comprender el agrado, la aceptación o el rechazo de diferentes grupos de consumidores respecto a un producto.
6. A nivel de laboratorio, sirve para establecer si existen diferencias entre productos sometidos a tratamientos diferentes

Agregan Sancho y colaboradores (1999) algunas otras aplicaciones:

7. La caracterización de los cambios sensoriales de los alimentos o materias primas atribuibles a procesos o a variaciones naturales.
8. Diferenciación entre lotes o proveedores de un mismo producto.
9. Decidir si la calidad sensorial de un producto determinado puede representarse por un sencillo índice numérico o multidimensional.
10. Obtener información sobre la capacidad de discriminación o aceptación de diferentes grupos sociales de consumidores frente a variaciones o nuevos tipos de producto acabado.

3.5.2. Pruebas

En el análisis sensorial se utilizan dos tipos de pruebas, las analíticas y las afectivas (Jiménez, 1994).

Las pruebas analíticas se subdividen a su vez en dos: las descriptivas donde se describen, miden y cuantifican las propiedades sensoriales de un alimento y, por otro lado, las discriminativas que se utilizan para comprobar si existen diferencias entre

productos, donde los tipos más comunes incluyen las pruebas de dúo trío, triangular y de ordenamiento por intensidad (ranking) (Jiménez, 1994).

La prueba triangular es la más conocida y usada de los métodos discriminativos (Stone & Sidel, 2004). Consiste en determinar si existe diferencia sensorialmente perceptible entre dos muestras, comparando tres a la vez, de las cuales dos son iguales entre sí y la otra diferente (Pedrero & Pangborn, 1989). Algunos autores como Meilgaard, Vance & Thomas (2006) la califican como estadísticamente más eficiente que el resto de las pruebas discriminativas, debido a que la probabilidad de escoger la muestra correcta solo por casualidad es de un 33,3 % ($p = 1/3$), a diferencia de las otras donde dicha probabilidad es del 50 % (Pedrero & Pangborn, 1989). Este método es particularmente útil cuando se desea determinar diferencias como resultado de cambios en ingredientes, proceso, empaque, almacenamiento o sin conocimiento de causa; o para evaluar la habilidad discriminativa de los jueces (Meilgaard *et al.*, 2006). Respecto a las desventajas de este procedimiento cabe señalar el hecho de que requiere mayor cantidad de muestra comparado con otros métodos y la probabilidad de que los jueces se fatiguen más fácilmente debido a que se efectúan tres comparaciones pareadas, muestra 1 contra 2, 1 contra 3 y 2 contra 3 (Pedrero & Pangborn, 1989).

Para su realización, las pruebas analíticas requieren normalmente jueces entrenados en cantidades no mayores a los 25 dependiendo del tipo de prueba, mientras que las afectivas emplean cantidades de 80 o más jueces consumidores sin entrenamiento (Calí, 2006).

Las pruebas afectivas se utilizan con el objeto de medir parámetros de preferencia o aceptación en grupos de consumidores (Calí, 2006; Jiménez, 1994). El objetivo de las pruebas de preferencia es establecer si existe predilección de los jueces por alguna de las muestras que se evalúan sin hacer énfasis en qué tanto gustan o disgustan; mientras que las pruebas de aceptación o agrado se utilizan cuando lo que se necesita es saber el “estatus de agrado” del producto, qué tanto gusta a los consumidores. Para ello se emplean escalas conocidas como hedónicas que van desde lo repugnante hasta lo que gusta mucho, luego de lo cual, cada nivel de agrado se compara con una escala numérica lineal que utiliza valores que pueden ir de 0 a 100, 0 a 10, etc. con igual magnitud entre niveles. Con las puntuaciones de los jueces tabuladas, lo siguiente es una comparación de medias con el objeto de saber si hubo o no diferencia entre los niveles de agrado (Meilgaard *et al.*, 2006).

Durante el análisis de las pruebas afectivas, es de mucha utilidad investigar si existen grupos de jueces con tendencias diferentes entre sí. Con este propósito, el campo de la estadística ha desarrollado lo que se conoce como el “Análisis de Conglomerados o Clusters” conocido también como “Taxonomía Numérica” o “Reconocimiento de Patrones”, que consiste en varias técnicas donde se divide un conjunto de datos en grupos, de forma que los perfiles de los objetos en un mismo grupo sean muy similares entre sí (cohesión interna de grupo) y los objetos de conglomerados diferentes sean distintos (aislamiento externo del grupo) (Salvador, 2001).

Un aspecto de suma importancia en el análisis sensorial es el tratamiento estadístico que se hace de los resultados. El tipo de inspección estadística se define según el tipo de prueba y el tipo de escala de medición que se haya utilizado. La escogencia del método estadístico apropiado da validez al análisis sensorial o por el contrario desvirtúa las conclusiones que se puedan derivar de él (Jiménez, 1994).

Respecto al análisis sensorial de quesos, cuando el método implique probar o catar el producto, es preciso conocer la relación y las características de los medios utilizados en la realización de la cata. Por su naturaleza, estos medios pueden dividirse en dos grupos, medios intrínsecos y medios extrínsecos del catador (Chamorro & Losada, 2010).

Los medios intrínsecos del catador representan principalmente la utilización de sus órganos sensoriales, así como cualidades físicas e intelectuales. El olfato tiene que ver con la percepción de sustancias volátiles a través del bulbo olfativo ubicado en la parte superior de las fosas nasales. El sentido del gusto se da a través de la percepción que realizan los botones gustativos localizados en las papilas ubicadas en la lengua. Respecto al oído, cuando se tiene queso en la boca, es frecuente la aparición de sensaciones auditivas que acompañan la masticación, como por ejemplo lo crujiente o rechinante (Chamorro & Losada, 2010).

En relación con las características físicas del catador de queso, es importante mencionar que algunas situaciones podrían afectar sus capacidades sensoriales negativamente, como la salud, cansancio y el horario (después de comidas se pierde sensibilidad gustativa y olfativa). Chamorro & Losada (2010) recomiendan también limitar el número de muestras a catar por sesión a un máximo de 8 quesos con pausas de 5 minutos entre muestras con enjuague de agua.

Respecto a los factores extrínsecos, estos autores recomiendan el uso de colores claros en las superficies de las instalaciones donde se realiza el análisis sensorial, con

ventilación e iluminación adecuadas y sin distractores. La temperatura de las muestras a probar debe ser de aproximadamente 16 °C. En la medida de lo posible conviene estabilizar la temperatura al menos durante una o dos horas antes de la catación, para dejar que los constituyentes del queso recuperen el equilibrio y así también evitar la condensación en su superficie.

3.5.3. Reología y textura de los quesos

Se entiende por reología al estudio de la deformación y flujo de los materiales (Brown, 2002), y a la textura, como el conjunto de los atributos mecánicos, geométricos y de superficie de un producto que son perceptibles por medio de receptores mecánicos, táctiles, visuales y auditivos (Santini *et al.*, 2007; Buffa *et al.*, 2001; Foegedinga *et al.*, 2003). Cuando se habla de la textura de un producto alimenticio, se hace referencia al flujo, deformación y desintegración de una muestra bajo la acción de una fuerza (Santini *et al.*, 2007).

La textura de los quesos se debe en gran parte a su constitución molecular dada por una matriz de caseína que atrapa e interactúa con los glóbulos grasos y el agua. El aporte relativo de dichos componentes y las transformaciones bioquímicas del producto en el almacenamiento, determinan en mucho este atributo sensorial. El contenido de grasa en un queso tiende a ablandarlo, siendo el efecto más pronunciado conforme aumenta la maduración; por el contrario, un queso reducido en grasa tiende a presentar una matriz de caseína más compacta, generando un producto más firme, elástico y masticable (Lobato *et al.*, 2007). Durante la manufactura de los quesos, existen varios factores que pueden afectar la textura de un queso, destacándose los que influyen en el contenido de humedad de la cuajada (temperatura, velocidad de agitación, punto de corte, etc.), la acidez y el pH.

El pH afecta el estado de agregación de las proteínas. Los quesos con un pH bajo, cercano al punto isoelectrico de la caseína, tienden a ser granulados y quebradizos, mientras que los que mantienen valores altos se muestran más elásticos. Cuando el pH es ácido, la paracaseína tiende a agregarse de forma más compacta mediante fuerzas iónicas e hidrofóbicas, perdiéndose la humedad, mientras que a pH más alto, las moléculas de paracaseína se cargan negativamente, las interacciones iónicas e hidrofóbicas disminuyen y el agua se absorbe a través de la red (Brown, 2002).

Posteriormente, durante el almacenamiento, se producen cambios que contribuyen de manera importante con la textura del queso, destacándose las reacciones proteolíticas que rompen las cadenas de caseína por la acción enzimática del cuajo residual o de los cultivos lácticos. Dichas reacciones ocurren en dos fases; la primera se da entre la primera y segunda semana de almacenamiento, al producirse la hidrólisis de un 20 % de la α -caseína en un enlace, cuyo resultado es un péptido conocido como péptido α_{s1} -I que causa el ablandamiento inicial del queso. Este péptido se encuentra presente en todos los tipos de queso transcurridas las dos primeras semanas después de su proceso de manufactura. Luego del tiempo señalado, se inicia la segunda fase, caracterizada por más reacciones proteolíticas y un incremento gradual del pH (Gunasekaran & Mehmet, 2003; Brown *et al.*, s.f.).

El estudio de la textura en los quesos tiene gran importancia debido a que, junto con el sabor, el aroma y el aspecto, constituye uno de los parámetros que caracterizan este tipo de productos (Santini *et al.*, 2007; Buffa *et al.*, 2001; Brown, 2002). De esta manera, la medición de la textura de los quesos se emplea con el objeto de diferenciar y caracterizar las variedades de queso, estudiar el impacto de la formulación durante el almacenamiento (Brown *et al.*, s.f.) y como medida para el monitoreo y control de la calidad del producto terminado.

Cada familia de quesos presenta una textura muy definida, por ejemplo, el queso Parmesano es quebradizo y duro, el Cuartirolo es blando y cremoso, el queso Palmito es fibroso y el Turrialba jugoso y rechina al morder cuando es fresco. Por lo anterior, la medición de la textura en los quesos constituye una herramienta importante para medir la calidad, comparar o caracterizar productos y diseñar procesos, entre otros.

La textura de los quesos se mide a través del sentido del tacto. En su cata se hace necesario entender que dicha percepción ocurre en dos momentos: a través de los receptores cutáneos de los dedos, cuando se toca el producto, y a través de los receptores cutáneos de la cavidad bucal, cuando se tiene el producto en la boca (Chamorro & Losada, 2010).

Durante el análisis sensorial de la textura de los quesos se hace necesario recurrir a varias etapas: mirar la muestra, tocarla, morderla y reducirla a su estado de bolo alimenticio antes de tragarla (Galván, 2007).

Existen varios tipos de características de textura en los quesos, tales como las de superficie, donde se incluyen las visuales (cristales, ojos, aberturas y grietas) y las táctiles

(rugosidad y humedad en mano), las mecánicas (elasticidad, firmeza, friabilidad y adherencia), las geométricas (microestructura) y otras como la solubilidad e impresión de humedad en la boca (Galván, 2007).

3.5.4. Medición instrumental de la textura en quesos

La textura de los quesos se puede evaluar por diferentes métodos instrumentales. Los más utilizados son las técnicas de compresión uniaxial a velocidad constante, la relajación ante el esfuerzo y el denominado análisis del perfil de textura “TPA” (Santini *et al.*, 2007).

El análisis de perfil de textura fue desarrollado desde 1963 por Szczesniak quien definió por primera vez los parámetros usados en este método. Tiempo después, en 1978, Bourne adaptó el texturómetro Instron para llevar a cabo las mediciones correspondientes. Este método consiste en comprimir una muestra de alimento dos veces seguidas bajo condiciones previamente establecidas de velocidad, temperatura, distancia de compresión y tipo de sonda, tratando de simular las condiciones con que se encuentra un alimento en la boca mientras se mastica; generándose un diagrama de fuerza en función del tiempo que tardan ambas compresiones (Stable Micro Systems, 2010).

A continuación, en las figuras de la 4 a la 9 se ejemplifican los dos ciclos de compresión y manera en que se van extrayendo los resultados a través del diagrama de fuerza en función del tiempo.

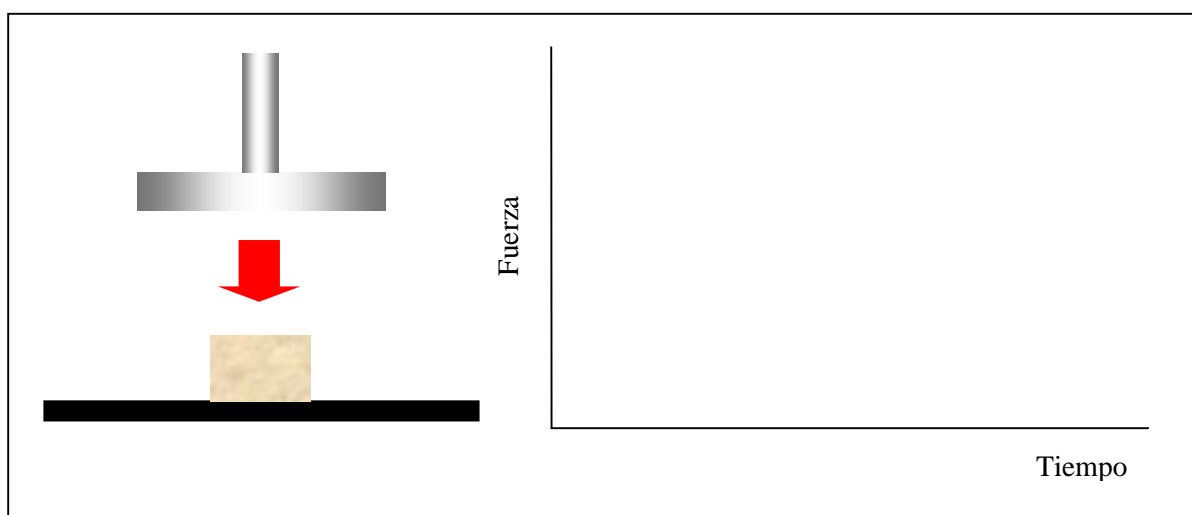


Figura 3. Condiciones iniciales para la realización de un ensayo TPA.

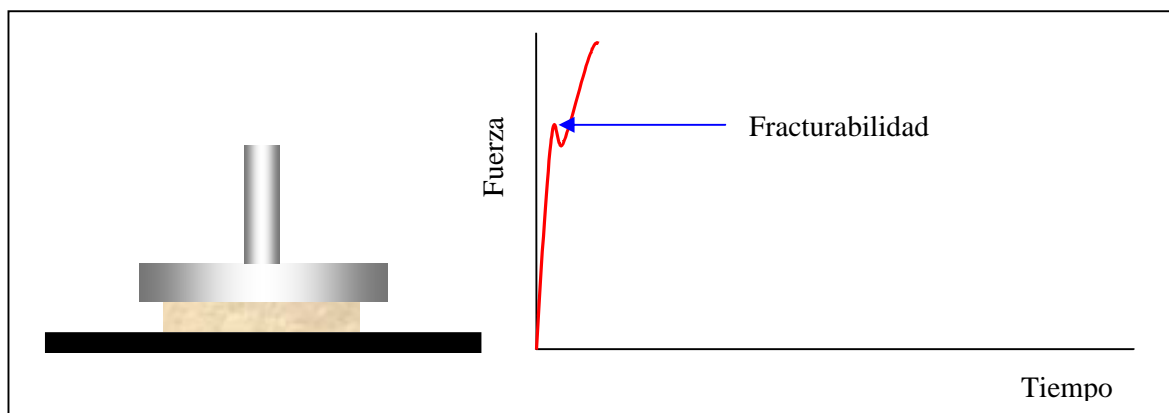


Figura 4. Primera compresión durante la realización de un ensayo TPA.

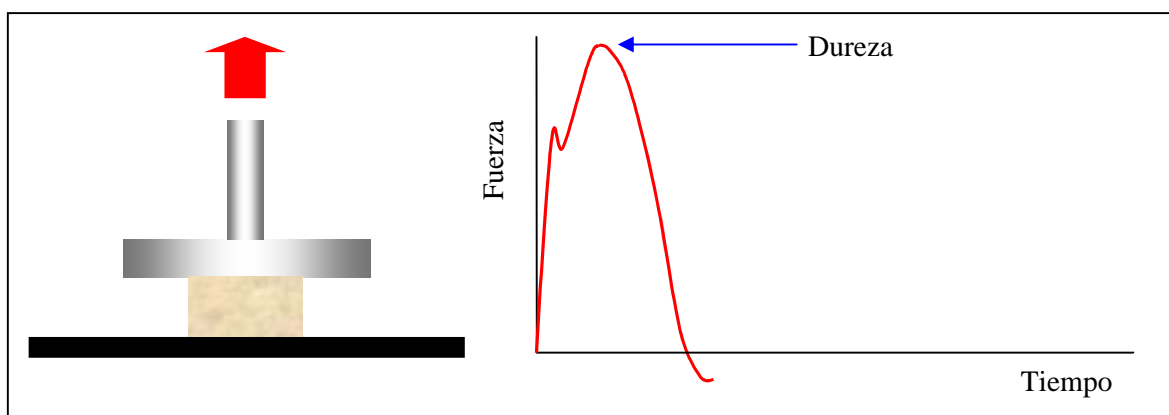


Figura 5. Se retira sonda luego de la primera compresión.

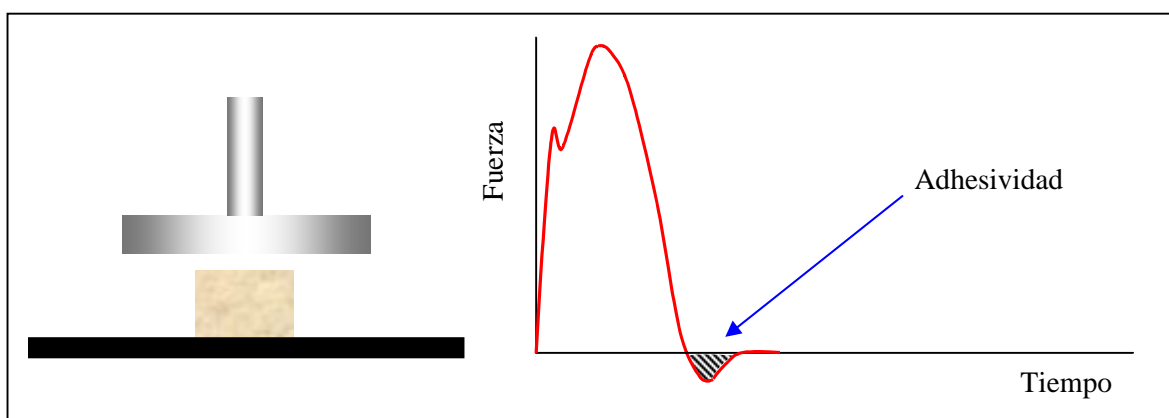


Figura 6. Se pierde contacto entre la sonda y la muestra

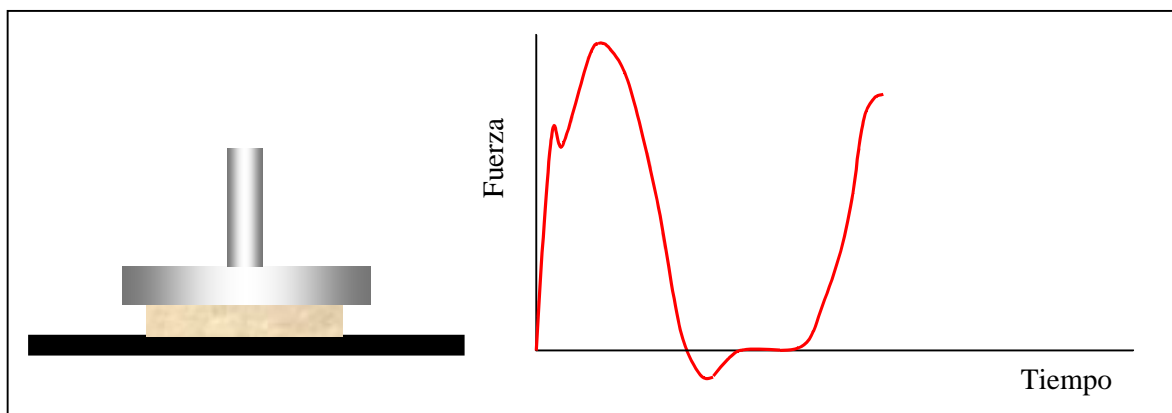


Figura 7. Segunda compresión

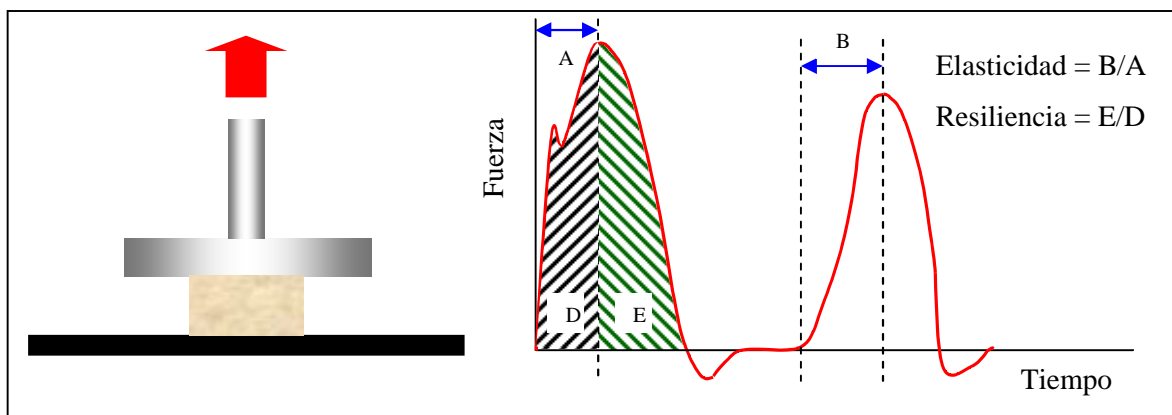


Figura 8. Se retira sonda luego de la segunda compresión

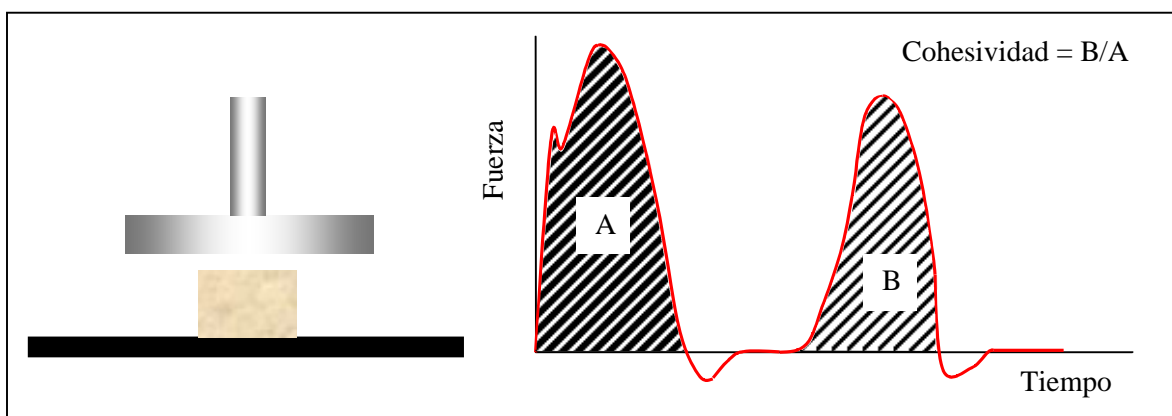


Figura 9. Se pierde contacto entre la sonda y la muestra. Fin del ensayo.

El equipo más utilizado para realizar dichas determinaciones se conoce como texturómetro o analizador de textura (SCANCO, 2010), el cual está equipado con sondas de diferentes tamaños y formas de acuerdo con el tipo de alimento a analizar; algunas tienen el nombre de las personas u organismos que desarrollaron primeramente los métodos, por ejemplo la hoja de corte Kramer, dispositivo para mordiscos de Volodkevitch, la cuchilla Warner Bratzler y el punzón de Magnus Taylor (AMETEK, 2010).

Las curvas típicas de un análisis TPA se pueden interpretar en función de una serie de parámetros texturales que pueden ser cuantificables directamente del diagrama o calculados a partir de los primeros. A continuación los más importantes:

- La dureza o firmeza es la resistencia que presenta una muestra a un pequeño desplazamiento de mandíbulas (Galván, 2007) y simula la fuerza requerida para comprimir un alimento sólido entre los dientes molares o un producto semi-sólido entre la lengua y el paladar. Se evalúa midiendo la fuerza máxima obtenida durante la primera compresión correspondiente a la altura del pico más alto (Figura 5).
- La fracturabilidad o friabilidad, es la fuerza con la cual una muestra de alimento se desmiga, fractura o se hace en pedazos muy pequeños (AMETEK, 2010). Es la aptitud que presenta la muestra de generar numerosos trozos desde el principio del proceso de masticación (Galván, 2007). La determinación de la fracturabilidad se realiza midiendo un pico, normalmente más pequeño, que se forma antes de alcanzar el punto más alto durante la primera compresión (Figura 4).
- La adhesividad es la fuerza requerida para retirar con la lengua el alimento que se queda adherido al paladar, dientes o labios bajo condiciones normales de comida. Es la acción de retirar, lo que produce un pico de fuerza cuando la muestra se queda pegada o se adhiere a la sonda. Se determina como el área bajo la curva del primer pico que se forma por debajo del eje x (Figura 6) (Stable Micro Systems, 2010).
- La elasticidad se define como el grado de recuperación de las dimensiones iniciales de un cuerpo después de eliminar la fuerza deformante buscando mantener su estructura inicial (Santini *et al.*, 2007). En la curva típica de un TPA corresponde a la razón de dividir el tiempo que tarda en formarse el pico de la segunda compresión "B", entre el tiempo de la primera compresión "A" (Figura 8).
- La cohesividad es el grado en que la muestra se deforma antes de alcanzar su punto de ruptura cuando se mastica con los dientes molares (Santini *et al.*, 2007). Se

determina midiendo el área bajo la curva del segundo pico “B”, en un ensayo de compresión de fuerza en función del tiempo, dividido por el área bajo la curva del primer pico “A” (Figura 9) (Stable Micro Systems, 2010).

- La masticabilidad simula el periodo de tiempo requerido para masticar una muestra de alimento a una velocidad constante para reducir su consistencia y así poder ser tragado. Es el producto de la dureza, por la cohesividad, por la elasticidad (AMETEK, 2010).

- La resiliencia consiste en la medición de la resistencia que opone un cuerpo a los choques o esfuerzos bruscos. Se determina midiendo la razón de dividir el área bajo la curva en la primera compresión a partir del momento en que se alcanza el pico de la dureza hasta el momento que la fuerza llega a cero, entre el área bajo la curva a partir del momento que inicia la compresión hasta alcanzar el pico de la dureza (Figura 8) (Stable Micro Systems, 2010).

4. MATERIALES Y METODOS

4.1. Ubicación Geográfica

Las muestras de queso fueron elaboradas en una planta quesera ubicada en el cantón de San Carlos.

Los análisis químicos se llevaron a cabo en los laboratorios de la misma empresa, con excepción del triptófano, que fue realizado por Minnesota Valley Testing Laboratories en Estados Unidos de Norte América.

Los análisis sensoriales y de textura se realizaron en el laboratorio de análisis sensorial del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad de Costa Rica y en los laboratorios de la citada empresa.

4.2. Materia Prima

4.2.1. Leche íntegra

Se partió de leche íntegra de vaca, libre de antibióticos, con un contenido de células somáticas menor a 3×10^5 unidades / mL, un recuento directo menor o igual a 8×10^4 bacterias / mL, ordeñada con equipo mecánico y sometida a un proceso de enfriamiento alcanzando los 4 °C en una hora.

4.2.2. Lactosuero

Se utilizó el lactosuero dulce obtenido durante la elaboración de las pruebas control de queso fresco realizadas, de acuerdo con el procedimiento descrito en el apartado 4.4.1.

4.3. Equipo para la elaboración de queso y recuperación de la proteína

Las muestras de queso se elaboraron en una tina de acero inoxidable con chaqueta y capacidad para 20 L.

La cuajada se prensó en moldes plásticos cilíndricos, con capacidad para 5 kg, en una prensa neumática horizontal.

La proteína de suero se extrajo en una olla de acero inoxidable con capacidad para 50 L, empleando un quemador de gas LPG.

4.4. Metodología

4.4.1. Elaboración de queso fresco

Las muestras de queso fresco se elaboraron a partir de 20 kg de leche íntegra y pasteurizada, sometida a un tratamiento de atemperado hasta alcanzar una temperatura de 36 °C, luego de lo cual se adicionaron un 0,04 % v/m de cloruro de calcio al 42 % m/v y 8 mL de cuajo microbiano líquido de 600 IMCU/mL CHYMAX EXTRA marca Hansen, por cada 100 L de leche. Esta mezcla se agitó por espacio de 1 min y seguidamente se dejó en reposo por espacio de 30 min. Finalizado dicho tiempo se procedió a cortar el gel formado con una lira de marco de acero inoxidable e hilos de nylon distanciados entre sí por 1 cm. Los cubos formados se agitaron por espacio de 40 min. Finalizada la agitación se separaron 10 L de suero para ser empleados más adelante en el proceso de extracción de la proteína. Al resto de cuajada y suero se le adicionaron 180 g de sal, agitándose luego por espacio de 10 min. Seguidamente se moldeó la cuajada en moldes plásticos con capacidad para 5 kg y se prensó por 10 min a 20 psi. Por último, los moldes se almacenaron en una cámara de refrigeración a 8 °C. Este proceso se muestra en el diagrama de la Figura 10.

Las pautas de elaboración establecidas arriba fueron tomadas de la literatura (FAO, 2006; Revilla, 1985), de la experiencia del estudiante en la fabricación de quesos (13 años) y de pruebas preliminares.

Durante el desarrollo experimental de este proyecto, para cada una de las etapas que se describen adelante, fue necesario repetir este procedimiento 5 veces para totalizar 50 L de suero, volumen al que se le extrajo la proteína.

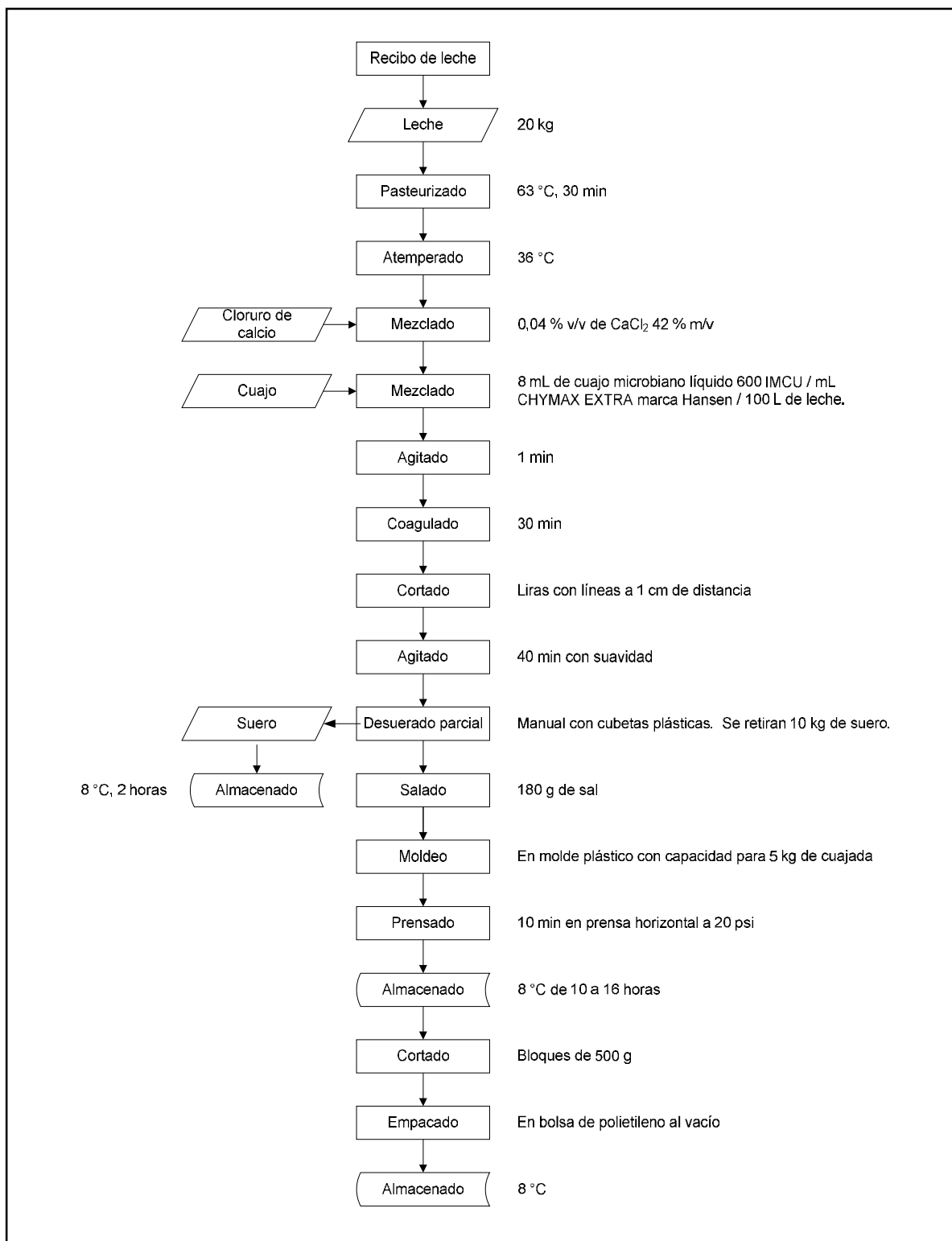


Figura 10. Diagrama de flujo del proceso de elaboración del queso fresco control

4.4.2. Extracción de la proteína de suero

La extracción de la proteína se realizó a partir de 50 L del lactosuero obtenido del proceso de elaboración del queso fresco descrito en el punto anterior. Primeramente se neutralizó el lactosuero con hidróxido de sodio 4 % m/v hasta alcanzar un pH de 7,0 a 7,1. Seguidamente se calentó hasta los 85 °C y se adicionó un 0,4 % v/v de cloruro de calcio al 42 % m/v. Se continuó el calentamiento hasta los 90 °C, luego de lo cual se agregaron, en total reposo, 125 mL de ácido cítrico al 5 % m/v en adiciones de 25 mL en 5 puntos del recipiente, al centro y en cuatro costados, con lo que se buscó alcanzar una acidez de 0,70 a 0,80 % ATECAL (Acidez Titulable Expresada Como Ácido Láctico) lo más homogénea posible en el volumen total del lactosuero. Cabe mencionar que esta etapa se realizó en total reposo con el objeto de facilitar la extracción del precipitado de proteína obtenido, similar a cúmulos de algodón que flotaban gracias a la formación de una capa de burbujas de aire en su parte inferior. Seguidamente, dicho precipitado se extrajo con un colador de acero inoxidable para luego ser depositado en un recipiente plástico y almacenado en una cámara de refrigeración a 8 °C para su posterior utilización.

En la Figura 11 se muestra el diagrama de la metodología empleada para la extracción de la proteína de suero.

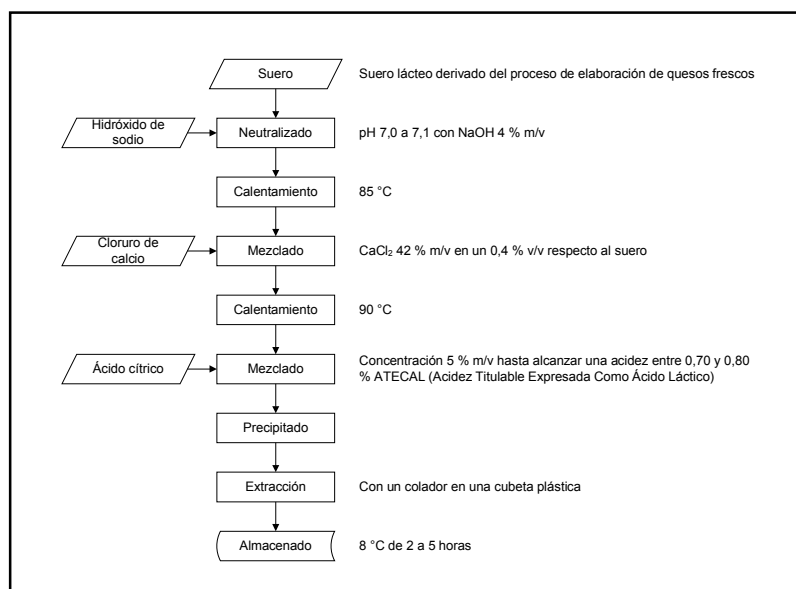


Figura 11. Diagrama de flujo del proceso de recuperación de la proteína de suero

4.4.3. Determinación de la etapa de proceso donde adicionar la proteína de suero

Se elaboraron los lotes de queso fresco, partiendo de 20 kg de leche íntegra, a los que se les adicionó la proteína recuperada equivalente a 10 kg de suero por lote.

Para el establecimiento de la etapa del proceso de elaboración del queso donde es mejor realizar la adición de proteína recuperada, se evaluaron tres tratamientos por triplicado:

- Sin adición de proteína (control).
- Con adición de proteína a la leche durante el llenado de la tina de procesamiento.
- Con adición de proteína a la cuajada durante la etapa de salado.

Las etapas del proceso planteadas se escogieron porque son los puntos donde se adicionan los ingredientes durante la elaboración de los quesos.

El porcentaje de sólidos totales en el recuperado de proteína siempre es diferente, por lo que se decidió homologar todas las pruebas con la adición de 0,15 kg de sólidos totales de recuperado de proteína en base seca, equivalente al 100 % de proteína obtenida de 10 kg de suero.

Se aplicó una prueba de diferenciación “triangular”, con el objeto de establecer si se presentaban diferencias entre los productos evaluados, como requisito para las siguientes pruebas (agrado). Se decidió incorporar este ensayo para descartar la prueba afectiva si los productos resultaban ser iguales. Se realizaron dos sesiones de evaluación, en cada una se probaron tres sets de muestras en forma balanceada y aleatorizada. Participaron 24 jueces seleccionados del grupo de jueces entrenados del CITA. Se empleó el método triangular de acuerdo con la Norma ISO 4120:2004(E), acreditado bajo la Norma Guía INTE: ISO /IEC: 17025 versión 2005 (Calderón, 2009). Una vez recibido el producto se trocearon los quesos en cubos de aproximadamente 1 cm cuadrado, se prepararon las bandejas por juez y se realizó el panel a temperatura ambiente. Como material de enjuague se usó agua potable a temperatura ambiente y galleta de soda. Los datos se analizaron de acuerdo con el procedimiento sugerido por Brockhoff y Schlich (Calderón, 2009).

El agrado se midió con un panel de 80 jueces consumidores (Meilgaard *et al.*, 2006; Stone & Sidel, 2004) que evaluaron los tres tratamientos haciendo uso de una escala híbrida (Villanueva *et al.*, 2002; Villanueva *et al.*, 2005) con variaciones en el tamaño de la escala, ubicación y texto empleado para la identificación de los descriptores. De igual

manera, las muestras fueron cortadas en cubos de aproximadamente 1 cm³ y degustadas a temperatura ambiente con agua y galleta de soda para limpiar el paladar.

Como variables respuesta de los tratamientos se evaluaron el rendimiento del queso, calculado como el porcentaje en masa del producto recién elaborado respecto a la leche empleada, y el agrado general de los quesos producidos.

Los resultados obtenidos se sometieron a un análisis de varianza y a un análisis de clusters o conglomerados haciendo uso del programa SAS 9 y el método de Ward (Salvador, 2001) con una significancia de $\alpha \leq 0,05$.

Se usó un diseño experimental irrestricto aleatorio con tres tratamientos (control y las dos etapas de adición de proteína), y tres repeticiones cada uno. Se realizó un análisis de variancia de las variables respuesta, estableciendo como significativas aquellas diferencias con valores de $\alpha \leq 0,05$. Cuando se presentaron diferencias, se hizo una comparación entre medias mediante la prueba de Tukey empleando el programa SPSS.

4.4.4. Determinación de la cantidad de proteína a adicionar para el enriquecimiento del queso fresco

Una vez establecida la etapa del proceso donde se debe agregar la proteína recuperada, se evaluó la cantidad que se puede adicionar de esta. Para ello se realizaron varias preparaciones de queso fresco partiendo de 20 kg de leche íntegra, evaluándose cuatro tratamientos diferentes por triplicado:

- Sin adición de proteína (control).
- Con adición del 100 % de proteína obtenida a partir de 10 kg de suero.
- Con adición del 80 % de proteína obtenida a partir de 10 kg de suero.
- Con adición del 50 % de proteína obtenida a partir de 10 kg de suero.

Los porcentajes anteriores se establecieron a partir de pruebas preliminares, donde se valoraron adiciones del 50 %, 60 %, 80 % y 100 % de proteína. Cada uno de los quesos elaborados se evaluó por separado por un panel de 4 jueces mediante la observación, discusión y comparación del color, textura, sabor y apariencia general de las muestras. Se establecieron los porcentajes del 100 %, 80 % y 50 % por haberse hallado, con éstos, diferencias en la percepción de los parámetros citados.

Cada uno de los tratamientos anteriores fue evaluado mediante el agrado general y el rendimiento, tal y como se indicó en el apartado 4.4.3.

Se aplicó una prueba triangular con la participación de 25 jueces entrenados con el objeto de determinar la existencia de diferencias entre los tratamientos antes de correr las pruebas de agrado, como requisito, debido a los costos de las pruebas afectivas. El método empleado se realizó igual como se indica en el apartado 4.4.3.

El agrado se analizó en esta etapa con un panel de 81 jueces que evaluaron los cuatro tratamientos por duplicado, haciendo uso de una escala híbrida (Villanueva *et al.*, 2002; Villanueva *et al.*, 2005) con variaciones en el tamaño de la escala, ubicación y texto empleado para la identificación de los descriptores (ver Apéndice 9.2). Los resultados obtenidos se sometieron a un análisis de varianza y a un análisis de clusters o conglomerados haciendo uso del programa SAS 9 y el método de Ward (Salvador, 2001) con una significancia de $\alpha \leq 0,05$.

Se utilizó un diseño irrestricto aleatorio con cuatro tratamientos y tres repeticiones cada uno. Se realizó un análisis de variancia de las variables respuesta, estableciendo como significativas aquellas diferencias con valores de $\alpha \leq 0,05$. Cuando se presentaron diferencias, se hizo una comparación entre medias mediante la prueba de Tukey empleando el programa SPSS.

4.4.5. Comparación del contenido de triptófano del queso fresco enriquecido con la proteína de suero respecto a un queso fresco normal

En las secciones anteriores se escogió la etapa de elaboración y la cantidad de proteína a adicionar al queso fresco. Con estos parámetros establecidos, se elaboraron muestras por triplicado del queso enriquecido y de un queso fresco sin incorporación de proteína de suero, a los que se les midió el contenido de humedad, grasa, proteína, triptófano y rendimiento.

El análisis de triptófano se realizó por cromatografía líquida de alta presión (HPLC) en Minnesota Valley Testing Laboratories en Estados Unidos de Norte América. En el mismo laboratorio se realizó la determinación de la proteína por el método Kjeldahl (AOAC 988.05).

Se usó un diseño experimental irrestricto aleatorio con dos tratamientos (con y sin incorporación de proteína de suero) y tres repeticiones, empleando la prueba de la t-

Student con el programa Excel 2007 para comparar los promedios de cada uno de los componentes evaluados y el rendimiento, con un valor de $\alpha \leq 0,05$.

Se calculó el error asociado al rendimiento del queso elaborado con adición de proteína de suero, con una potencia de $1 - \beta = 0,80$, empleando las tablas de Neter (Neter *et al.*, 1990).

4.4.6. Comparación de las propiedades de textura: fuerzas de corte, penetración y perfil de textura (TPA) entre el queso fresco con incorporación de la proteína de suero y un queso fresco normal

La comparación de la textura entre el producto desarrollado y un queso elaborado de igual manera pero sin la adición de la proteína de suero, se realizó mediante la medición de la fuerza de corte, fuerza de penetración y un análisis del perfil de textura (TPA), donde se determinó la dureza, adhesividad, elasticidad, cohesividad, masticabilidad, fracturabilidad y resiliencia de los productos evaluados.

Se usó un diseño experimental irrestricto aleatorio con dos tratamientos y tres repeticiones, empleando la prueba de la t-Student y el programa de Excel 2007 para comparar los promedios de las fuerzas de corte y penetración, dureza, adhesividad, elasticidad, cohesividad, masticabilidad, fracturabilidad y resiliencia de los productos evaluados, con un nivel de significancia de $\alpha \leq 0,05$. Para cada repetición de los dos tipos de queso elaborados, los ensayos se realizaron por quintuplicado.

4.4.7. Estudio del factor económico asociado al proceso de recuperación de la proteína de suero e incorporación a un queso fresco

En esta etapa se determinó el costo de los insumos y mano de obra adicionales requeridos para la elaboración de un queso fresco con incorporación de proteína de suero, se compararon los rendimientos obtenidos a lo largo de las tres corridas experimentales con sus respectivos controles y se determinó el rendimiento teórico máximo posible de alcanzar, de acuerdo con la composición química de la leche usada en la última serie de corridas experimentales, suponiendo una eficiencia de fabricación al 100 % y empleando una ecuación iterativa conocida como la "Fórmula G" (Inda 2000).

4.4.8. Métodos de Análisis

4.4.8.1. Métodos químicos

- Determinación de la grasa para crema y quesos por el método de Babcock. Método 15.083 de APHA (Wehr & Frank, 2004).
- Determinación de la proteína en queso por el método Kjeldahl AOAC 988.05 en Minnesota Valley Testing Laboratories.
- Determinación del contenido de triptófano por HPLC usando detector por fluorescencia (Mikulec et al., 2008; Peterson et al., 1999; Stage 5 Proposal, 2002; Waters Co., 2008), en Minnesota Valley Testing Laboratories.

4.4.8.2. Métodos físicos.

- Determinación de sólidos totales, proteína y grasa en leche y suero de leche por infrarrojo con Milko Scan 120. Método 15.121 de APHA (Wehr & Frank, 2004).
- Determinación de la humedad y sólidos para productos lácteos mediante el uso de horno de microondas. Método 15.115 de APHA (Wehr & Frank, 2004).

4.4.8.3. Métodos sensoriales.

- Prueba de agrado con escala híbrida y panel de 80 jueces consumidores (Villanueva et al., 2002; Villanueva et al., 2005).
- Medición de la fuerza de corte, penetración y análisis del perfil de textura “TPA”, empleando un texturómetro Texture Analyser TA.XT PLUS de Stable Micro Systems, UK y el software Exponent versión 5.1.1.0. Se evaluaron las muestras de producto cortadas en forma de cubo con 10 mm de arista, atemperadas a 20 °C en una incubadora Imperial III, marca Labline. Los parámetros de operación del texturómetro para la realización de cada una de las pruebas se presentan en el Cuadro 7 (Stable Micro Systems, 2010). La programación del equipo para la realización de las pruebas se estableció de acuerdo con los parámetros de operación propuestos por el fabricante (Stable Micro Systems, 2010) y algunas investigaciones en temas similares (Jooyandeh, 2008; Lobato *et al.*, 2007).
- Prueba triangular (ISO 4120:2004(E), INTE: ISO /IEC: 17025 versión 2005) (Calderón, 2009).

Cuadro 7. Parámetros para la medición de la fuerza de corte, fuerza de penetración y análisis del perfil de textura en quesos frescos

Parámetro	Corte	Penetración	TPA
Deformación	50 %	50 %	50 %
Velocidad de prueba	2,0 mm / s	1 mm / s	2 mm / s
Velocidad de salida de la sonda	10,0 mm / s	2 mm / s	5 mm / s
Tiempo entre ciclos de compresión	-	-	5 s
Características de la sonda	Cuña de acero inoxidable con 20 mm de ancho.	Cilindro de acero inoxidable con 5 mm diámetro.	Disco de terplex con 45 mm de diámetro.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Establecimiento de la etapa para la adición de la proteína de suero

En esta primera fase se determinó en cuál etapa adicionar la proteína de suero en el proceso de elaboración de un queso fresco mediante la evaluación de los tratamientos descritos en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Tratamientos utilizados para establecer la etapa del proceso de elaboración del queso donde se debe incorporar la proteína de suero

Tratamiento	Incorporación de proteína en
1	Control. Sin incorporación de proteína.
2	En la cuajada antes de salar.
3	En la leche antes de adicionar el cuajo.

En el Cuadro 9 se muestran los resultados de la prueba triangular realizada para establecer la existencia de diferencias entre los tratamientos. Para las tres comparaciones efectuadas, se encontraron diferencias significativas, en especial en la comparación del control y la muestra donde la proteína se incorporó en la etapa de salado.

Cuadro 9. Prueba triangular aplicada a tres tratamientos de queso fresco elaborado con incorporación de proteína de suero en etapas diferentes

Tratamientos comparados	Respuestas correctas / Total de juicios	Probabilidad asociada
1 versus 2	24 / 24	$p < 0,001$
1 versus 3	30 / 56	$p < 0,01$
2 versus 3	28 / 47	$p < 0,01$

Con los resultados anteriores se demuestra que la incorporación de proteína de suero en un 100 % a un queso fresco, tanto en la cuajada como en la leche, provoca cambios perceptibles en el producto terminado, acentuándose las diferencias entre el producto control y el tratamiento con adición de proteína en la cuajada.

Durante la preparación de las muestras fue posible observar diferencias entre los dos tratamientos evaluados y el control, principalmente en la textura y el color, debido a que los quesos con incorporación de proteína de suero resultaron ser “más claros, blandos y quebradizos”. Este hecho se explica por dos razones, primeramente debido a que esta proteína transfiere parte de sus características a los productos enriquecidos, destacándose su color más claro y su consistencia menos cohesiva (Inda, 2000). Por otro lado, la proteína de suero puede interferir con los enlaces de la red de caseína al unirse las moléculas de β -lactoglobulina con micelas de κ -caseína y agua, afectando la estructura general del gel durante la coagulación, provocando cambios en la textura de los quesos enriquecidos por disminución de su firmeza (Lobato *et al.*, 2007; Steffl *et al.*, 1999).

Respecto a la comparación entre tratamientos, el análisis muestra también diferencias significativas que se explican por la forma en que se mezcla la proteína de suero dentro de la matriz del producto. Cuando la proteína se adiciona a la leche, los granos de cuajada absorben parte de ésta integrándola dentro de su estructura, mejorando su distribución y su capacidad de adherirse posteriormente; sin embargo, cuando la incorporación se da en la cuajada antes de salar, la proteína se reparte de forma diferente, los granos de cuajada ya están formados y sus membranas impiden la absorción de la proteína de suero que queda formando una capa visible entre los granos, restándole capacidad para unirse y formando un marmoleo claro por la aparición de vetas blancas, lo que se traduce en un producto “menos homogéneo y más quebradizo”.

Dado que los tratamientos fueron diferentes, se realizó una prueba de agrado cuyos resultados se muestran a continuación. Al aplicar el análisis de varianza, no se encontraron diferencias significativas de agrado entre los tratamientos con incorporación de proteína ($p \leq 0,05$), por lo que no se puede establecer inclinación de los jueces por alguno de los mismos. Cabe señalar que esto último no contradice los resultados de la prueba triangular, ya que dos productos pueden percibirse como diferentes y, sin embargo, ser igualmente agradables para el consumidor. En el Cuadro 10 se muestran los resultados del análisis de varianza con conglomerados y en la Figura 12 los promedios de la prueba de agrado y el resultado de la prueba de comparación de Tukey para los productos.

Cuadro 10. Análisis de varianza y conglomerados de un panel de agrado de tres tratamientos de queso fresco con incorporación de proteína de suero en etapas diferentes

Efecto	Grados de libertad	Probabilidad asociada
Conglomerado	2	< 0,0001
Juez (Conglomerado)	77	0,5309
Producto	2	0,0001
Conglomerado*producto	4	< 0,0001

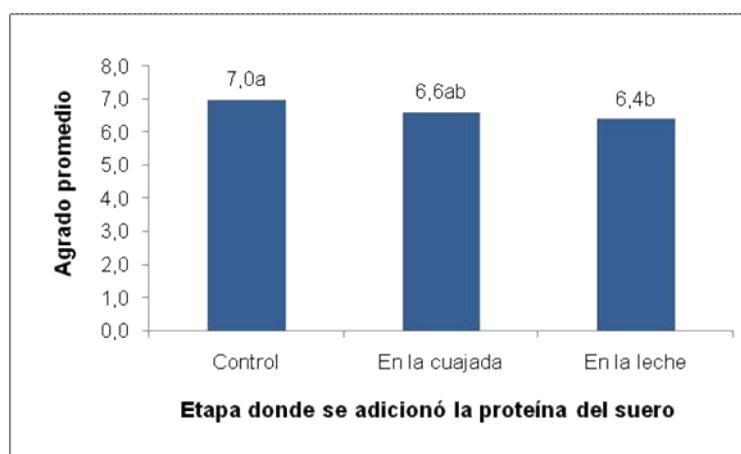


Figura 12. Promedio de agrado de tres tratamientos de queso fresco elaborados con incorporación de proteína de suero en etapas diferentes del proceso y resultado de la prueba de Tukey¹

Del análisis por conglomerados de la prueba de agrado presentado en el Cuadro 10, se demuestra la existencia de 3 conglomerados significativamente diferentes ($p \leq 0,05$), homogéneos sin la presencia de diferencias entre los jueces de cada grupo.

Respecto al efecto entre productos, en el Cuadro 10 y en la Figura 12 se logra apreciar que existen diferencias significativas pero pequeñas en la percepción de agrado entre el queso control y el tratamiento con incorporación de proteína en la leche.

En las Figuras 13 y 14 se muestran la composición porcentual de cada conglomerado y los valores promedio de agrado obtenidos por cada agrupación de jueces de acuerdo con los tratamientos evaluados.

¹ Valores de promedios seguidos por diferentes letras indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos.

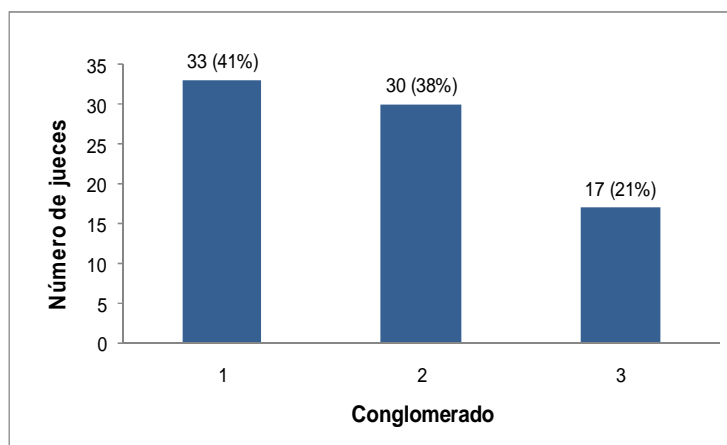


Figura 13. Composición de los conglomerados encontrados en un panel de agrado de queso fresco elaborado con incorporación de proteína de suero en etapas diferentes

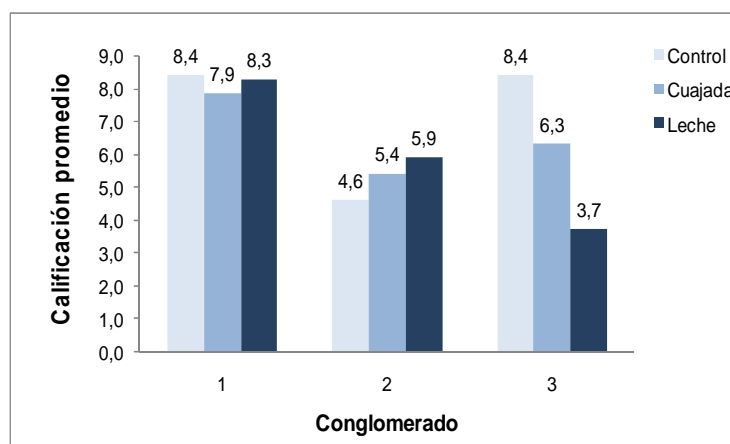


Figura 14. Resultados por conglomerado de en un panel de agrado para quesos frescos elaborados con incorporación de proteína de suero en etapas diferentes del proceso

Se evidencia que la agrupación mayoritaria, que representa un 41 % del total de los jueces, califica los tres tratamientos con puntuaciones altas y un agrado similar, siendo la calificación del tratamiento con incorporación de proteína en la leche levemente mayor al tratamiento donde la adición se da en la etapa de salado, hecho que se repite en el conglomerado número 2, segundo más importante en cuanto a la cantidad de jueces, donde la participación fue de un 38 %. Sin embargo, en este conglomerado las calificaciones de agrado fueron inferiores a las del conglomerado 1 y el queso control

obtuvo una calificación muy baja. Respecto al conglomerado número 3, que fue el minoritario con un 21 % de participación, se logra apreciar un mayor agrado por el control respecto a los dos tratamientos, seguido de la etapa de adición de proteína en la operación de salado. En este punto se hace importante señalar que todos los jueces que participaron en la evaluación de los productos son consumidores de queso Turrialba, muy parecido al queso fresco control, hecho que justifica el mayor agrado por el tratamiento control que se presenta en el conglomerado número 3, no así en los tratamientos 1 y 2, siendo una de las razones por la que el análisis de varianza indica que la interacción conglomerado*producto tiene un efecto significativo.

Los resultados de los rendimientos de los quesos elaborados en esta etapa se muestran en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Rendimiento del queso fresco elaborado con incorporación de proteína de suero en etapas diferentes del proceso

Tratamiento	Rendimiento (%)
Control	16,4 ^b ± 0,2
Cuajada antes de salar	18,7 ^a ± 0,3
Leche antes de adicionar el cuajo	17,9 ^a ± 0,3

Valores de promedios seguidos por diferentes letras indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos.

Con una significancia de $p = 0,0017$ es posible afirmar que existen diferencias entre los rendimientos de los tratamientos evaluados.

Del análisis de comparación de promedios se evidencia que existen diferencias significativas entre los tratamientos con adición de proteína y el control, demostrándose que esta incorporación efectivamente aumenta el rendimiento del queso fresco, resultado que concuerda con apreciaciones hechas en estudios precedentes (FAO, 1994; Fox *et al.*, 2000; Jovanović *et al.*, 2005; Meinardy *et al.*, 2003; Steffl *et al.*, 1999). Sin embargo, no se presentan diferencias significativas entre los rendimientos del queso enriquecido con proteína en las dos etapas de proceso valoradas. Para analizar y buscar una explicación a este hecho, en el Cuadro 12 se muestran los porcentajes de humedad, grasa, sal y pH de los tratamientos evaluados.

Cuadro 12. Porcentaje de humedad, grasa, sal y pH promedio hallado en el queso fresco elaborado con incorporación de proteína de suero en etapas diferentes del proceso

Tratamiento	Humedad (%)	Grasa (%)	Sal (%)	pH
Control	61,2 ^b ± 0,6	19 ^a ± 1	0,70 ^a ± 0,10	6,57 ^a ± 0,04
Cuajada antes de salar	63,0 ^a ± 1,0	19 ^a ± 1	0,80 ^a ± 0,10	6,61 ^a ± 0,02
Leche antes del cuajo	62,8 ^a ± 0,3	18 ^a ± 1	0,87 ^a ± 0,05	6,57 ^a ± 0,03

En una misma columna, valores de promedios seguidos por diferentes letras indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos.

Se aprecia que los valores de humedad de los quesos con incorporación de proteína no presentan diferencias significativas entre ellos; de igual manera ocurre con su contenido de grasa, sal y el valor de su pH. Dado que todos estos parámetros están relacionados directamente con el rendimiento (Inda, 2000), es posible afirmar que una razón por la que ambos tratamientos no presentan diferencias entre sus rendimientos es porque tampoco la tienen en su composición. Comparando los resultados obtenidos con el queso control, se puede observar que existen diferencias significativas en cuanto a los parámetros de humedad, hecho que se justifica en la capacidad que tiene la proteína de suero desnaturalizada para ligar agua (Inda, 2000; Jovanović *et al.*, 2005; Lobato *et al.*, 2007).

Con los resultados obtenidos, no es posible aplicar el criterio del mejor rendimiento, ni del mayor agrado para poder elegir uno de los dos tratamientos. Por lo tanto, se aplicó un criterio de funcionalidad y facilidad de aplicación en el proceso, eligiéndose incorporar la proteína de suero en la leche antes de realizar la coagulación, debido a que con ello es posible elaborar un producto más homogéneo y menos quebradizo al corte con cuchillo.

5.2. Establecimiento de la cantidad de proteína a ser adicionada

En esta etapa se estableció la cantidad de proteína de suero a ser adicionada, haciendo uso de la prueba de agrado y una comparación de rendimientos de cuatro tratamientos con diferentes niveles de incorporación de proteína de suero descritos en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Tratamientos empleados para determinar el porcentaje del recuperado de proteína de suero a ser adicionado en la leche

Tratamiento	Porcentaje de proteína de suero adicionado
1	Control. Sin incorporación de proteína.
2	Incorporación del 100 % del recuperado.
3	Incorporación del 80 % del recuperado.
4	Incorporación del 50 % del recuperado

En el Cuadro 14 se observan los resultados de la prueba triangular, donde se muestran diferencias significativas entre cada uno de los tres tratamientos y el control, hecho que confirma que la adición de proteína de suero en la leche a un queso fresco, aún en un 50 %, provoca diferencias perceptibles en el producto terminado, tales como la textura más quebradiza, blanda y jugosa, y el color más claro (Jovanović *et al.*, 2005).

Cuadro 14. Resultados de la prueba triangular aplicada a cuatro tratamientos de queso fresco elaborado con incorporación de proteína de suero en diferentes cantidades

Tratamientos comparados	Respuestas correctas / Total de juicios	Probabilidad asociada
1 versus 2	21 / 25	$p < 0,001$
1 versus 3	21 / 25	$p < 0,001$
1 versus 4	26 / 50	$p < 0,01$

En el Cuadro 15 se muestra el análisis de varianza con conglomerados de los resultados de la prueba de agrado aplicada a los cuatro tratamientos, donde se aprecia que los efectos son significativos excepto el efecto Juez. En la Figura 15 se muestran las calificaciones promedio otorgadas por el grupo de los 81 jueces consumidores a los productos y los resultados de la prueba de Tukey.

Cuadro 15. Análisis de varianza con conglomerados de la prueba de agrado aplicada a cuatro tratamientos de queso fresco con adición de proteína de suero en diferentes cantidades

Efecto	Grados libertad	Probabilidad asociada
Conglomerado	1	< 0,0001
Juez (Conglomerado)	79	0,0635
Producto	3	< 0,0001
Conglomerado*Producto	3	< 0,0001

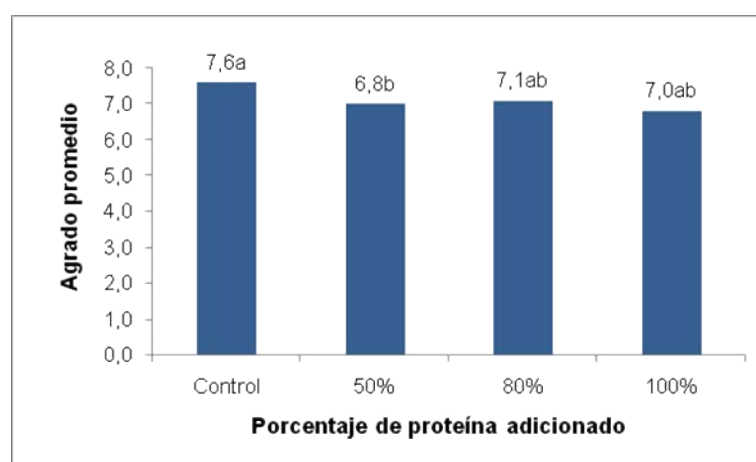


Figura 15. Promedio de agrado de cuatro tratamientos de queso fresco elaborados con incorporación de proteína de suero en diferentes cantidades y resultado de la prueba de Tukey²

Se presentan diferencias de agrado entre el control y el queso con incorporación de proteína al 100 %. La adición de proteína de suero en un queso fresco produce diferencias en el producto terminado por ser ésta “más clara y menos cohesiva” (Inda, 2000) y, entre más cantidad se adicione, es más fácil percibir los cambios, hecho que repercute en la percepción de agrado de los consumidores.

Cabe destacar que la mayor calificación nuevamente la recibió el queso control, apreciándose una tendencia a disminuir el nivel de agrado conforme se aumenta el

² Valores de promedios seguidos por diferentes letras indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos.

porcentaje de proteína adicionado, hecho que puede asociarse con que los jueces son consumidores de este tipo de producto, conocen bien sus características, a diferencia de los desarrollos con adición de proteína de suero, inexistentes o escasos en el país.

Del análisis de varianza con conglomerados de esta etapa se demuestra la existencia de dos agrupaciones homogéneas sin presentarse diferencias entre los jueces de cada grupo.

En las Figuras 16 y 17 se muestra la composición porcentual de cada conglomerado y los valores promedio de agrado obtenidos por cada grupo para los tratamientos evaluados.

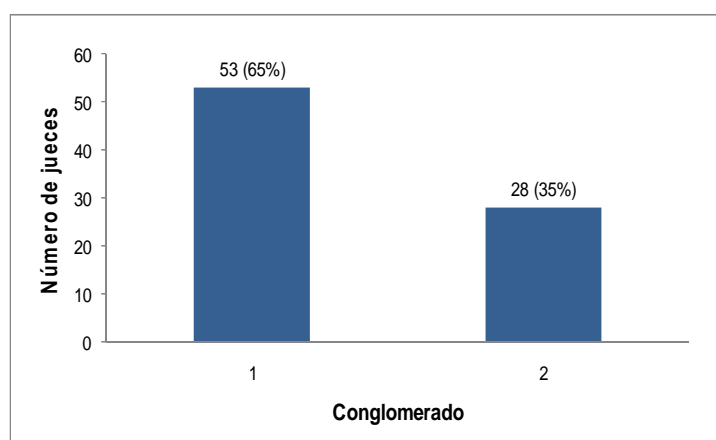


Figura 16. Composición de los conglomerados encontrados en un panel de agrado de queso fresco elaborado con incorporación de proteína de suero en diferentes cantidades

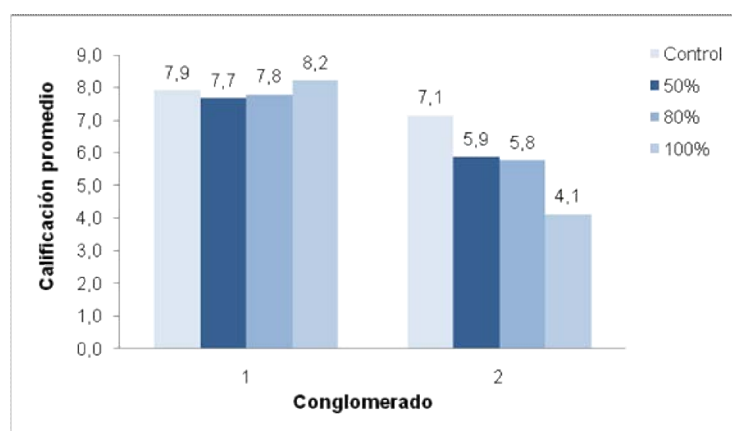


Figura 17. Agrado promedio para los conglomerados hallados en un panel de queso fresco elaborado con incorporación de proteína de suero en diferentes cantidades

En este caso el análisis de conglomerados no ofrece información concluyente sobre la inclinación de los jueces por alguno de los tratamientos; sin embargo, se logra evidenciar que el conglomerado mayoritario, el cual representa un 65 % del total de los jueces, califica los cuatro tratamientos con valores de agrado altos y similares entre sí; sin embargo, se logra apreciar un leve incremento en la calificación del tratamiento que incorpora el 100 % del recuperado de proteína. Por otra parte, es importante hacer notar que el conglomerado minoritario presenta un agrado mucho mayor por el queso fresco control respecto al tratamiento con adición del 100 % de recuperado. Este conglomerado, no solamente mostró menor agrado por dicho tratamiento, sino que también por los quesos elaborados con menores cantidades de incorporación de proteína de suero, disminuyendo el gusto conforme se aumenta el porcentaje de proteína adicionada, hecho que demuestra la existencia de un sector de la población con un arraigo importante a los quesos frescos tradicionales al que no le agradan los cambios en la formulación cuando ello involucra la incorporación de proteína de suero.

En el Cuadro 16 se compara el rendimiento de los tratamientos realizados para evaluar diferentes niveles de incorporación de proteína de suero en la elaboración de un queso fresco. Como se puede observar, el rendimiento del queso con adición de un 100 % de proteína es significativamente mayor que el producto que utiliza un 50 % y el control. Por otro lado, tanto el control como el producto donde se adiciona un 50 %, no presentan diferencias significativas entre sus rendimientos, por lo que se puede afirmar que incorporar hasta un 50 % de proteína de suero no produce incrementos en el rendimiento. Respecto al tratamiento con incorporación del 80 % de proteína, al no presentar diferencias significativas con el resto de los tratamientos, se puede afirmar que tiene un rendimiento intermedio levemente menor que cuando se adiciona un 100 % de proteína de suero.

Cuadro 16. Rendimiento del queso fresco elaborado con incorporación de proteína de suero en diferentes cantidades

Tratamiento	Rendimiento (%)
Control	17,4 ^b ± 0,4
Adición 100 %	18,8 ^a ± 0,1
Adición 80 %	17,9 ^{ba} ± 0,3
Adición 50 %	17,2 ^b ± 0,3

Valores de promedios seguidos por diferentes letras indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos.

Por tanto, es posible afirmar que el queso fresco con incorporación de un 100 % del recuperado de proteína de suero presenta un rendimiento mayor, motivo por el cual se escogió este parámetro para utilizarlo en el proceso de elaboración del queso enriquecido con proteína de suero.

Un elemento adicional de peso en la escogencia de dicha cantidad radica en lo práctico y en la facilidad que representa el extraer la proteína al total del suero dulce producido, sin tener que recurrir a la fragmentación y separación de cantidades medidas del recuperado.

Comparando el rendimiento alcanzado con la adición de proteína en un 100 % respecto al control, se puede notar un incremento del 1,4 %, equivalente a decir que, por cada 1000 L de leche, con este procedimiento se pueden obtener 14 kg más de queso; nada despreciable desde el punto de vista industrial.

5.3. Determinación del contenido de triptófano, humedad, proteína y grasa del queso fresco enriquecido con proteína de suero

En el Cuadro 17 se muestra el contenido de humedad, proteína, grasa y triptófano de un queso fresco control y otro enriquecido con un 100 % de proteína de suero adicionada en la leche antes de coagular.

Cuadro 17. Porcentaje de humedad, proteína, grasa y triptófano promedio hallado en los dos tratamientos evaluados

Tratamiento	Humedad (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Triptófano (%)
Queso fresco (control)	67 ^a ± 1	14 ^a ± 2	16 ^a ± 1	0,185 ^a ± 0,002
Incorporación 100 % de proteína de suero (desarrollo)	68 ^a ± 2	13 ^a ± 1	13 ^b ± 1	0,181 ^a ± 0,009

En una misma columna, valores de promedios seguidos por diferentes letras indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos.

Solamente se presentan diferencias significativas entre el contenido de la grasa del queso fresco elaborado con incorporación de proteína de suero respecto al control, hecho que concuerda con los resultados obtenidos por Lobato y colaboradores (2006), donde se realizaron pruebas similares con adición de proteína de suero a un queso blanco fresco, obteniéndose una disminución en su contenido de grasa. Sin embargo, también existe una fuente de error asociada que pudo haber afectado las corridas experimentales. El proceso de elaboración de las seis muestras tardó 14 horas, usando las primeras 7 en la elaboración de los tres quesos control para luego producir los quesos enriquecidos. A pesar de que se empleó la misma leche y de que ésta se mantuvo a 5 °C con agitación leve, existe la posibilidad de que se haya separado una fracción de la grasa durante el experimento, quedando la leche más descremada para la elaboración del segundo tipo de queso.

Respecto al contenido de humedad de los quesos, en el Cuadro 18 no se aprecian diferencias significativas entre ellos; sin embargo, al revisar los valores individuales obtenidos para cada una de las muestras evaluadas, se aprecia una tendencia de los quesos con adición de proteína de suero a presentar un contenido de humedad mayor. Al respecto, en el Cuadro 19 se muestran los valores individuales.

Cuadro 18. Porcentaje de humedad de las muestras obtenidas con incorporación de un 100 % de proteína de suero en la leche y sin dicha adición en dos series de corridas

Muestra	Queso fresco (control)	Incorporación 100 % de proteína de suero (desarrollo)
1	66,8	66,3
2	65,8	68,9
3	67,3	69,0

Se aprecia fácilmente que uno de los quesos con incorporación de proteína de suero presenta un porcentaje de agua muy por debajo de lo que alcanzaron los otros del mismo tipo, hecho que provocó una disminución del promedio y un aumento en la desviación estándar correspondiente, afectando la comparación de medias.

Dicha tendencia de los quesos con incorporación de proteína de suero a presentar mayores contenidos de humedad, se apoya también en investigaciones similares realizadas por Lobato *et al.* (2007), Jovanović *et al.* (2005), Henriques *et al.* (2010) e Inda (2000), donde se indica que la proteína de suero posee una buena capacidad para retener agua, contribuyendo con el aumento en el rendimiento, hecho que se demuestra en los Cuadros 11 y 16.

Profundizando en los resultados correspondientes a los contenidos de proteína, grasa y triptófano de las muestras evaluadas, se calculó el rendimiento individual de cada uno de estos componentes como la masa total obtenida de cada uno, en función de la masa de leche empleada, con resultados mostrados en el Cuadro 19.

Cuadro 19. Contenido promedio de proteína, grasa y triptófano en los quesos elaborados, en función de la cantidad de leche empleada

Tratamiento	Proteína (g/kg de leche)	Grasa (g/kg de leche)	Triptófano (g/kg de leche)
Control	26 ^a ± 2	29,2 ^a ± 0,5	0,35 ^b ± 0,01
Con adición de proteína de suero	26 ^a ± 2	28,1 ^b ± 0,4	0,38 ^a ± 0,01

Valores de promedios seguidos por diferentes letras indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos.

Se observa que se presentan diferencias significativas en el contenido de triptófano. Esto quiere decir que, del total de leche empleado, se recupera mayor cantidad de

triptófano en el queso elaborado con incorporación de proteína de suero, hecho que concuerda con las investigaciones realizadas por Markus *et al.* (2008), donde se hace referencia a esta proteína como fuente de triptófano. Comparando los niveles de triptófano obtenidos en 100 g de producto (181 mg) con lo reportado para otros tipos de queso conocidos como fuentes de este aminoácido, tales como el queso Monterrey cuyo contenido es de 310 mg o el queso Mozzarella de baja humedad, con 600 mg (Top200Foods.com, sf), se evidencia un aporte menor del queso fresco desarrollado. Sin embargo, las diferencias de humedad entre productos podrían perfectamente acortar la brecha entre estos quesos. Al respecto, en el Cuadro 20 se muestran los contenidos de triptófano en base seca del queso Mozzarella de baja humedad, del queso Monterrey y del queso fresco enriquecido con proteína de suero desarrollado.

Cuadro 20. Contenido de humedad y porcentaje de triptófano en base seca calculado para los quesos Mozzarella de baja humedad, Monterrey y fresco con adición de proteína de suero

Queso	Humedad (%)	Triptófano (% BS)
Fresco	68	0,566
Mozzarella	46 (Guinee <i>et al.</i> , s.f.)	1,05
Monterrey	41 (Dairy Ingredients INFO Centre, 2005)	0,525

Valores de triptófano calculados en base seca de acuerdo con el contenido de humedad

Si bien es cierto, no se logra alcanzar al queso Mozzarella de baja humedad, el contenido de triptófano del queso desarrollado en base seca supera los niveles correspondientes del queso Monterrey.

5.4. Propiedades reológicas

Los resultados de la comparación de las propiedades de textura de fuerza de corte y penetración entre el queso fresco tradicional y el queso enriquecido con proteína de suero, se muestran en el Cuadro 21.

Cuadro 21. Fuerzas de corte y penetración promedio de dos tipos de queso fresco: con incorporación de proteína de suero y sin dicha adición (n=5)

Tratamiento	Fuerza de corte (N)	Fuerza de penetración (N)
Sin proteína de suero	0,6 ^a ± 0,1	1,8 ^a ± 0,4
Con adición de un 100 % de proteína de suero	0,6 ^a ± 0,1	1,1 ^b ± 0,2

En una misma fila, valores de promedios seguidos por diferentes letras indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos.

A pesar de que no se encontró diferencia significativa entre las fuerzas de corte aplicadas a los quesos evaluados, sí se pudo hallar diferencia entre las magnitudes de la fuerza de penetración, lo que evidencia una mayor debilidad en la matriz del queso desarrollado respecto al control.

Es importante mencionar en este punto, tal y como se expuso en el apartado 5.1, que la proteína del suero es menos cohesiva que la caseína (Inda, 2000), y que no tiene un grado significativo de elasticidad; lo que provoca que los productos derivados sean más quebradizos, hecho que concuerda con las investigaciones realizadas por Lobato (2006) y con la información que se muestra en el Cuadro 23 referente a la cohesividad.

En el Cuadro 22 y en las Figuras 18 y 19 del Apéndice 9.8, se muestran los resultados del análisis de perfil de textura o TPA.

Cuadro 22. Resultados del análisis de perfil de textura (TPA) realizado a dos tratamientos de queso fresco, con y sin incorporación de proteína de suero (n=5)

Parámetro	Tratamiento	
	Control	Con proteína de suero
Dureza (N)	15 ^a ± 1	14 ^a ± 1
Adhesividad (N*s)	-0,30 ^a ± 0,10	-0,22 ^a ± 0,07
Elasticidad	0,85 ^a ± 0,02	0,84 ^a ± 0,01
Cohesividad	0,67 ^b ± 0,02	0,54 ^a ± 0,05
Masticabilidad (N)	8,9 ^b ± 0,6	6,5 ^a ± 0,5
Resiliencia	0,32 ^b ± 0,02	0,24 ^a ± 0,04

En una misma fila, valores de promedios seguidos por diferentes letras indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos.

En el cuadro 23 se comparan los valores obtenidos de cohesividad de los dos tratamientos evaluados con los de otros quesos que han sido reportados en estudios similares (Chacón & Pineda, 2009).

Cuadro 23. Cohesividad de diversos tipos de queso preparados con leche bovina

Tipo de queso	Tiempo (días) ²	Cohesividad ¹
Fresco	7	0,78
Edam	30	0,2370
Panela con leche entera	3	0,8
Panela con leche descremada	3	0,8
Mozzarella	< 7	0,61
Mozzarella 25 % de grasa	3	0,47
Mozzarella 5 % de grasa	3	0,71
Cheddar	1	0,42
Fresco control	1	0,67
Fresco con adición de proteína de suero	1	0,54

¹Valores de cohesividad tomados de Chacón & Pineda (2009).

²Tiempo transcurrido entre la elaboración del queso y el análisis.

Tal y como se observa en el Cuadro 23, el valor de cohesividad del queso fresco con incorporación de proteína de suero se encuentra por debajo del queso Panela elaborado con leche íntegra y descremada, Mozzarella fresco, Mozzarella descremado y del queso fresco indicado por Chacón y Pineda (2009), además del queso fresco control, lo que confirma las afirmaciones anteriores en cuanto al efecto de la proteína de suero en la cohesividad del queso. Sin embargo, algunos otros productos, exhiben valores menores en este parámetro, como es el caso del queso Edam con 30 días, hecho que se atribuye a las interacciones de las moléculas de paracaseína, más debilitadas por la acción proteolítica de los cultivos lácticos, situación que se repite en el caso del queso Mozzarella con un 25 % de grasa favorecido esto último por su contenido de lípidos (Chacón & Pineda, 2009). Otro producto que presenta valores menores de cohesividad es que queso Cheddar con un día, probablemente debido a su proceso de fabricación, ya que se elabora a partir de una pasta que se acidifica con cultivo láctico y que luego se corta y sala, generando una pasta abierta (Kosikowski, 1982), menos cohesiva que otros

quesos. Cabe señalar en este punto que la comparación de la cohesividad de los quesos, en este caso, puede verse sesgada por diferencias en las condiciones de medición con que se realizaron las determinaciones que se indican en la referencia, tales como la forma y el tamaño de la sonda, la velocidad de la prueba, temperatura, y tamaño y forma de las muestras (Chacón & Pineda, 2009).

La incorporación de proteína de suero provocó al queso fresco cambios significativos en las características instrumentales de textura de cohesividad, masticabilidad y resiliencia; no así en la dureza, adhesividad y elasticidad.

De acuerdo con Lobato *et al.* (2007), la textura de un queso está determinada por la matriz de caseína en combinación con la grasa presente. Las interacciones entre las moléculas de caseína en la red tridimensional pueden verse debilitadas por cualquier clase de obstáculo presente, llámese grasa, humedad o proteína de suero, lo cual se confirma al ver los resultados de la fuerza de penetración, cohesividad, masticabilidad y resiliencia, mayores en todos los casos en el tratamiento control respecto al queso con incorporación de proteína de suero. Otro estudio desarrollado en Irán por Jooyandeh (2008) muestra resultados similares respecto a la masticabilidad y a la tendencia que se observa en cuanto a la disminución de la dureza, hecho que atribuye a un porcentaje mayor de humedad en las muestras de queso con incorporación de proteína de suero (Chacón & Pineda, 2009). Respecto a la fracturabilidad, los resultados no se muestran en el Cuadro 23 debido a que las muestras no presentaron dicha característica. Si bien es cierto, se logró apreciar la formación de grietas, en ningún momento las piezas comprimidas mostraron desprendimiento de fragmentos, hecho que concuerda con las investigaciones realizadas por Jooyandeh (2006).

Respecto a la elasticidad y adhesividad, los resultados de esta investigación concuerdan con los de Lobato *et al.* (2007), donde no se logran apreciar diferencias significativas entre las magnitudes de las pruebas realizadas con incorporación de proteína de suero y los controles, lo que podría atribuirse al estado de la caseína en los quesos frescos (Chacón & Pineda, 2009), menos afectada por la proteólisis que sufre durante los procesos de maduración, y lo suficientemente intacta para mantener los valores de elasticidad y adhesividad iguales con y sin incorporación de proteína de suero; lo que concuerda también con las investigaciones de Jooyandeh (2006) respecto a la elasticidad. En cuanto a la dureza, los resultados no fueron lo que se esperaba, ya que no se encontraron diferencias entre las muestras en concordancia con los resultados de la

prueba de corte, contrario a lo que se indica en estudios similares (Jooyandeh, 2008; Lobato *et al.*, 2007), cuya explicación podría deberse al estado de la caseína tal y como se comentó anteriormente.

Una fuente de error que pudo afectar los resultados del TPA, en especial la determinación de la adhesividad, la masticabilidad y la resiliencia, fue la variabilidad de los datos, mayor al 10 %, por lo que no se puede afirmar que las determinaciones correspondientes sean precisas, contrario a lo que ocurre con los otros parámetros. La explicación a este hecho la dan Chacón y Pineda (2009) en un estudio similar, donde se indica que el análisis reológico del fenómeno de deformaciones, como es el caso de la prueba de compresión, es bastante complejo, debido a que las estructuras no son uniformes y tienen grandes variaciones naturales.

5.5. Consideraciones económicas del producto desarrollado

Centrando la atención en las diferencias de los procedimientos llevados a cabo y los resultados obtenidos, en relación con los quesos con y sin adición de proteína de suero, destacan tres elementos conocidos (Inda, 2000) que afectan directamente el valor económico del producto desarrollado: el aumento en el rendimiento, el costo energético del proceso de recuperación de proteína de suero y el costo de los insumos adicionales que se emplearon en este procedimiento.

Respecto al rendimiento, en el Cuadro 24 se retoman los valores obtenidos para cada una de las veces donde se midió a través de los diferentes episodios de esta investigación. De esta manera, el apartado 5.1 corresponde a las corridas experimentales realizadas para determinar la etapa del proceso donde tendría que adicionarse la proteína, el apartado 5.2 cuando se determinó la cantidad a adicionar y el apartado 5.3 cuando se realizaron las mediciones de triptófano.

Cuadro 24. Rendimiento promedio alcanzado de un queso fresco control sin adición de proteína de suero y otro con incorporación de un 100 % de recuperado de proteína en tres corridas experimentales diferentes

Tratamiento	Rendimiento (%)		
	Apartado 5.1	Apartado 5.2	Apartado 5.3
Sin proteína de suero	16,4 ^b ± 0,2	17,4 ^b ± 0,4	18,9 ^b ± 0,8
Con adición de proteína de suero	17,9 ^a ± 0,3	18,8 ^a ± 0,1	21,1 ^a ± 0,6

En una misma columna, valores de promedios seguidos por diferentes letras indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos.

Se rescata del cuadro anterior que en todos los casos hubo un aumento en el rendimiento al adicionar la proteína de suero, incluso partiendo de leches diferentes, por lo que se puede afirmar que efectivamente esta práctica incrementa dicho parámetro (FAO, 1994; Fox *et al.*, 2000; Jovanović *et al.*, 2005; Meinardy *et al.*, 2003; Steffl *et al.*, 1999), siendo el aumento de aproximadamente 1,5 a 2 %. Se debe hacer la salvedad de que, al calcular el error en la estimación del rendimiento del producto desarrollado con incorporación de proteína de suero en la última serie de corridas experimentales, (apartado 5.3), para una desviación estándar de 0,6 %, tres repeticiones, una potencia de 0,80 y una significancia de 0,1, éste dio 1,8 % (Neter *et al.*, 1990), siendo menor a la diferencia entre los rendimientos promedio comparados en este apartado, pudiendo reducirse el error si se aumentara la cantidad de repeticiones.

Comparando los resultados conseguidos con el rendimiento teórico máximo posible de alcanzar, de acuerdo con la composición química de la leche usada y una eficiencia de fabricación al 100 % (Inda, 2000), se obtuvo un rendimiento ideal del 20,0 %, superado en la última serie de corridas por el queso con incorporación de proteína de suero.

A partir de los resultados anteriores se deduce que, a pesar de que las condiciones de elaboración del queso control no fueron las mejores debido a que no se alcanzó el rendimiento ideal, al adicionar el recuperado de proteína de suero, este parámetro se corrige y se supera el esperado.

En un lote de producción de 100 L de leche, esto equivale a decir que se obtienen entre 1,5 y 2 kg más de queso. En una publicación del periódico La Nación en julio de 2010, se afirma que el precio del queso Turrialba en San José rondaba los $\$3000$ / kg

(Sánchez, 2010), por lo que en un queso enriquecido con proteína de suero, se podría obtener una ganancia bruta extra de ¢4500 a ¢6000 partiendo del mismo lote de 100 L.

Respecto a las diferencias en el costo de los insumos y la mano de obra, en el Cuadro 25 se muestran los valores correspondientes.

Cuadro 25. Costo de los insumos adicionales requeridos para extraer la proteína a 50 L de lactosuero. Valor en colones al 29 de marzo de 2011.

Insumo	Costo (¢)
1 h mano de obra trabajador semicalificado	1005 (Costa Rica, 2011)
700 g de gas LP	554 (Molina, 2011)
16 g de hidróxido de sodio 98.9 %	138 (Calderón, 2011)
6 g de ácido cítrico	8 (Montero, 2011)

Conociendo el costo de los insumos adicionales, se logra apreciar que la extracción de la proteína a 50 L de suero costaba en marzo de 2011 aproximadamente ¢1705, menor a las ganancias que se estimaron entre ¢4500 y ¢6000.

6. CONCLUSIONES

La comparación sensorial entre los quesos elaborados con incorporación de proteína de suero y los quesos sin dicha adición revela que son percibidos y catalogados como productos diferentes.

La mayoría de los consumidores consultados, aproximadamente un 60 %, manifiesta su agrado por el producto y no aprecia diferencias entre los quesos con y sin incorporación de proteína de suero; mientras que una minoría, entre un 20 % y un 30 %, encuentra diferencias significativas entre los quesos valorados, siendo mayor el agrado por el producto sin adición de proteína de suero.

Los quesos elaborados con incorporación de proteína de suero presentan mayores rendimientos y una tendencia a un contenido mayor en la humedad respecto a los productos sin dicha adición, siendo el incremento en el rendimiento entre un 1,5 % y 2,0 %.

El rendimiento de los quesos elaborados con incorporación de proteína de suero no se ve afectado por la etapa donde se adiciona.

A pesar de que no se presentan diferencias significativas en el contenido de triptófano de las muestras de queso fresco con incorporación de proteína de suero respecto a los controles, sí se obtiene un incremento en el rendimiento de este aminoácido calculado por unidad de masa de la leche empleada.

El contenido de grasa del queso con incorporación de proteína de suero disminuye respecto al queso fresco control.

No se presentan diferencias en los parámetros de fuerza de corte, dureza, adhesividad y elasticidad entre los quesos frescos elaborados con y sin incorporación de proteína de suero.

Los quesos elaborados con incorporación de proteína de suero muestran una menor magnitud en los parámetros de cohesividad, masticabilidad y resiliencia, respecto a los quesos frescos sin adición de proteína de suero.

El aumento en el rendimiento de un queso fresco con incorporación de proteína de suero elaborado de acuerdo con la metodología descrita, paga el costo de los insumos, la mano de obra y los costos energéticos.

7. RECOMENDACIONES

Estudiar la extracción de la proteína de suero por tecnología de membranas seguida de la desnaturalización térmica antes de ser añadida en el proceso de elaboración del queso fresco.

Evaluar el contenido de otros aminoácidos esenciales presentes en el queso enriquecido con proteína de suero como la lisina, leucina, treonina e isoleucina.

Ensayar la incorporación de proteína de suero en cantidades superiores al 100 %.

Probar los procedimientos de incorporación de proteína de suero en otros tipos de queso con matrices blandas o quebradizas, afines con este tipo de desarrollo, tales como Parmesano, Feta, Cuartirolo, Cremoso, Cottage o Crema.

Evaluar el uso de la proteína de suero en productos lácteos afines al queso como quesos procesados, spread, salsas de queso y yogurt.

Estudiar el uso de la proteína de suero en la estandarización de la proteína de los quesos frescos.

Realizar un estudio de factibilidad que involucre la elaboración de este desarrollo.

Evaluar el efecto en la reducción de la DBO y DQO del suero al que se le ha extraído la proteína con el procedimiento aplicado en este proyecto.

8. BIBLIOGRAFIA

- ALAIS, C. 1970. Ciencia de la leche, principios de técnica lechera. 2 ed. Continental, Barcelona.
- AMETEK. 2010. Principios y teoría de la texturometría. INTERNET.
http://www.metrotec.es/metrotec/WWW_DOC/Texturometria_Principios-1-PPS-E-R1.pdf.
- ARCHIVAL, A. (amandaarchibald@earthlink.net). 2008. La proteína concentrada del suero de leche una súper estrella en la nutrición. U.S. Dairy Export Council. INTERNET.
http://www.infoleche.com/descargas/proteinas_del_suero.pdf.
- BARQUERO, M. 2008. Podrían exportar 200000 litros diarios adicionales. La Nación. San José. 04-04-08.
- BARRIENTOS, O. & VILLEGAS, L. 2010. Sector agropecuario cadena productiva de leche políticas y acciones. SEPSA. San José. INTERNET.
www.infoagro.go.cr/SEPSA/documentacion/agrocadenas/Pol%C3%ADticas_leche.pdf.
- BELITZ, H. & GROSCH, W. 1997. Química de los Alimentos. 2 ed. Acribia, Zaragoza.
- BLANCO, M. & GRANADOS, L. 2007. Queso Turrialba Costa Rica. Consultoría realizada para la FAO y el IICA en el marco del estudio conjunto sobre los productos de calidad vinculada al origen. INTERNET.
http://www.fao.org/ag/agn/agns/Projects_SQP_Santiago/Documentos/Estudios%20de%20caso/Turrialba/Queso_CostaRica.pdf.
- BREALEY, K. 2005. Obtención de una bebida clarificada natural a base de lactosuero y jugo de frutas, mediante aplicación de la microfiltración tangencial. Tesis Lic. en Tecnología de Alimentos. Universidad de Costa Rica, Escuela de Tecnología de Alimentos. San José.
- BROWN, J. 2002. Cheese Texture. Thesis Master of Science. North Carolina State University, Department of Food Science. Raleigh.

- BROWN, J., FOEGEDING, E. & DAUBERT C. s.f. Changes in rheological properties of young cheeses during maturation. North Carolina State University, Department of Food Science. Raleigh.
- BUFFA, M., TRUJILLO, A., PAVIA, M. & BUENAVENTURA, G. 2001. Changes in textural, microstructural, and colour characteristics. *International Dairy Journal* 11(2001): 927–934.
- CALDERÓN, M. 2011. Precio del hidróxido de sodio. Tecnodagnóstica S.A. San José. Comunicación personal.
- CALDERÓN, S. 2009. Evaluación sensorial de queso fresco con adición de proteína de suero en distintas etapas del proceso. Informe CITA. San José.
- CALÍ, M. (jcali@correo.inta.gov.ar). 2006. Análisis sensorial de los alimentos: entrevista a Nora Barda. Río Negro. INTERNET. http://www.inta.gov.ar/altovalle/info/biblio/rompecabezas/pdfs/fyd48_entrev.pdf.
- CALVO, M. sf. Bioquímica de los alimentos: Riboflavina. Material didáctico del curso de Bioquímica de los alimentos, carrera de Lic. en Tecnología de los Alimentos, Universidad de Zaragoza. INTERNET. <http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/vitamins/riboflavina.html>.
- CALVO, M. sf. Bioquímica de los alimentos: Proteínas del lactosuero. Material didáctico del curso de Bioquímica de los alimentos, carrera de Lic. en Tecnología de los Alimentos, Universidad de Zaragoza. INTERNET. <http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/proteins/lactosuero.html>.
- CAMARA NACIONAL DE PRODUCTORES DE LECHE. 2010. Información del sector 2010. San José. INTERNET. www.proleche.com/info_sector.htm.
- CARPENTER, R., LYON, D. & HASDELL, T. 2002. Análisis sensorial en el desarrollo y control de la calidad de alimentos. 2 ed. Acribia, Zaragoza.
- CANADIAN DAIRY COMMISSION. 2005. Monterey Jack and Colby. Ottawa. INTERNET. http://www.milkingredients.ca/dcp/article_e.asp?catid=145&page=1681.
- CHACÓN, A. & PINEDA, M. 2009. Características químicas, físicas y sensoriales de un queso de cabra adaptado del tipo “Crottin de Chavignol”. *Agronomía Mesoamericana* 20(2): 297-309.
- CHAMORRO, C. & LOSADA, M. 2010. El análisis sensorial de los quesos. AMV Ediciones. Madrid.

- CHAN BLANCO, Y. 1992. Evaluación de la utilización de un extracto enzimático vegetal a partir de Chicasquil (*Jatropha aconitifolia*) en la elaboración de queso blanco fresco. Tesis de Lic. en Tecnología de Alimentos. Universidad de Costa Rica, Escuela de Tecnología de Alimentos. San José.
- CORRALES UREÑA, J. 2004. Elaboración de un queso fresco a partir de leche de cabra adaptado a las condiciones técnicas de la Asociación Costarricense de Criadores de Cabras y al gusto del consumidor nacional. Tesis de Lic. en Tecnología de Alimentos. Universidad de Costa Rica, Escuela de Tecnología de Alimentos. San José.
- COSTA RICA. Decreto Nº 36292-MTSS: Salarios mínimos para el sector privado, primer semestre de 2011. La Gaceta, 08 de diciembre de 2010 no. 238:12.
- CRIB, P. & SORENSEN, C. 2004. Whey Proteins and Immunity. U.S. Dairy Export Council. 12 pp.
- DISSANAYAKE, M. & VACILJEVIC, T. 2009. Functional properties of whey proteins affected by heat treatment and hydrodynamic high-pressure shearing. *Journal of Dairy Science* 92(4): 1387-1397.
- DONATO, L. & GUYOMARC, F. 2009. Formation and properties of the whey protein/k-casein complexes in heated skim milk - A review. *Dairy Science and Technology* 89 (1): 3-29.
- EVANS, J., ZULEWSKA, J., NEWBOLD, M., DRAKE, A. & BARBANO, M. 2009. Comparison of composition, sensory, and volatile components of thirty-four percent whey protein and milk serum protein concentrates. *Journal of Dairy Science* 92(10): 4773-4791.
- FAO. 1994. Incorporation of whey proteins into Dutch-type cheese. INTERNET. <http://agris.fao.org/?query=%2Bsubject:%22Q01%22>.
- FAO. 2006. Fichas técnicas productos frescos y procesados: queso fresco pasteurizado. INTERNET. <http://www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/ae620s/Pprocesados/LACT4.H TM#B1>.
- FENNEMA, O. 1985. *Food Chemistry*. 2ed. Marcel Dekker, Inc. New York.

- FOEGEDINGA, E., BROWN, J., DRAKEA, M. & DAUBERTA C. 2003. Sensory and mechanical aspects of cheese texture. *International Dairy Journal* 13 (2003): 585-591.
- FOX, P., GUINEE, T., COGAN, T. & MC.SWEENEY, P. 2000. *Fundamentals of cheese science*. ASPEN, Maryland.
- FRAZIER, W. & WESTHOFF, D. 1993. *Microbiología de los alimentos*. 4ed. Acribia, Zaragoza.
- GALVÁN, L. 2007. *Evaluación sensorial: quesos de oveja y cabra*. INTI, Buenos Aires.
- GERDES, S. 2002. U. S. Whey Ingredients and weight management. U.S. Dairy Export Council. 18 pp.
- GERDES, S. 2005. Dairy Detective: Innovations in Whey Proteins. *Dairy Foods* (106) 3: 50.
- GERDES, S., HARPER, J. & MILLER, G. 2001. Bioactive components of whey and cardiovascular health. U.S. Dairy Export Council. 8 pp.
- GRANADOS ROJAS, L. & ÁLVAREZ LÓPEZ, C. 2007. Estudio técnico de la denominación de origen del Queso Turrialba. San José, CNP. INTERNET. <http://www.foodquality-origin.org/costarica/ppp/Miercoles/documentacion/EstudioTecnico.pdf>.
- GUINEE, T., MULHOLLAND, E., MULLINS, C., CORCORAN, M. & AUTY, M. S.f. The Effects of Processing and Ripening on the Quality of Pizza Cheese. The Dairy Products Research Centre, Ireland. INTERNET. http://www.relayresearch.ie/subapplications/teagasc/Doc_Download.aspx?docid=984&enry=211923.
- GUNASEKARAN, S. & MEHMET, M. 2003. *Cheese Rheology and Texture*. CRC Press, Florida.
- HENDERSON, M. 2008. El suero de quesería: una oportunidad como subproducto de la industria quesera. En *Curso: Aprovechamiento de Sueros de Quesería*. CITA. Universidad de Costa Rica. San José.

- HENRIQUES, M., GOMES, D., PEREIRA, C. & GIL, M. 2010. Effects of liquid whey protein concentrate on functional and sensorial properties of set yoghurts and fresh cheese. Universidad Politécnica de Barcelona. INTERNET.
<http://www.foodinnova.com/foodInnova/docu2/158.pdf>.
- INDA, A. 2000. Optimización del rendimiento y aseguramiento de la inocuidad en la industria de quesería. OEA y GTZ. México, D.F.
- ISO. 2004. Sensory analysis-Methodology-Triangle test: ISO 4120:2004(E). INTERNET.
http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=33495.
- JIMÉNEZ, J. & GARCÍA M. (jgg@xanum.uam.mx). 2006. Propiedades nutracéuticas de las proteínas de suero de leche. Departamento de Biotecnología, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. México D.F. INTERNET.
<http://www.alfa-editores.com/carnilac/Oct%20-%20Nov%202006/nutraceuticas.pdf>.
- JIMÉNEZ MONTERO, E. 1994. Evaluación de variaciones en la manufactura de queso blanco y determinación de su vida como queso fresco utilizando análisis sensorial y un parámetro químico. Tesis de Lic. en Tecnología de Alimentos. Universidad de Costa Rica, Escuela de Tecnología de Alimentos. San José.
- JOOYANDEH, H. 2008. Impact of fermented whey protein concentrate on texture of Iranian White Cheese. National Congress on Food Technology, 18th, Mashhad.
- JOVANOVIĆ, S., BARAĆ, M. & MAĆEJ, O. 2005. Whey proteins-Properties and Possibility of Application. *Mljekarstvo* 55(3): 215-233.
- KOSIKOWSKI, F. 1982. Cheese and fermented milk foods. 2 ed. F.V. Kosikowski and Associates, New York.
- LOBATO, C., REYES, J., BERISTAIN, C., HORNELAS, Y., SÁNCHEZ, J. & VERNON, E. 2007. Microstructure and texture of white fresh cheese made with canola oil and whey protein concentrate in partial or total replacement of milk fat. *Food Research International*. 40(4): 529-537.
- MARKUS, C., FIRK, C., GERHARDT, C., KLOEK, J. & SMOLDERS, G. 2008. Effect of different tryptophan sources on amino acids availability to the brain and mood in healthy volunteers. *Psychopharmacology* 201 (1): 107-114.

- MARSCHALL, R. & POULENC, A. 1998. Nutritional and Functional Characteristics of Whey Proteins in Food Products. *Journal of Dairy Science* 81(3): 597-608.
- MEILGAARD, M., VANCE, G. & THOMAS, B. 2006. *Sensory Evaluation Techniques*. 4ta. ed. CrcPress, Boca Ratón.
- MEINARDY, C., ZALAZAR, C., HYNES, E. & CANDIOTI, M., 2003. Incremento del rendimiento del queso cremoso argentino por tratamiento de la leche a temperaturas y tiempos superiores a los de pasteurización. INTERNET. http://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8180/publicaciones/bitstream/1/2855/1/RAL_15_22_pag_45_54.pdf.
- MIKULEC, N., HABUS, I., ANTUNAC, N., HAVRANEK, J., KALIT, S. & VITALE, L. 2008. RP-HPLC Evaporative Light Scattering detection method for determination of free amino acids in cheese. 5th IDF Symposium on Cheese Ripening. International Dairy Federation. INTERNET. <http://www.cheese2008.ch/en/index.html>.
- MOLINA, C. 2011. Costo en masa del gas LP para uso doméstico. Tropicigás. Alajuela. Comunicación personal.
- MONTERO, K. 2011. Precio del ácido cítrico monohidratado grado alimentario. Importadora Química del Norte, S.A. Cartago. Comunicación personal.
- MURILLO, O. (omurillo@cnp.go.cr). S.f. Ficha técnica de proceso de queso Turrialba pasteurizado. San José, CNP. INTERNET. http://www.cnp.go.cr/php_mysql/admin/KTML/uploads/files/boletines/Queso_FTP.pdf
- PARRA, R. 2009. Lactosuero: Importancia en la industria de los alimentos. *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía de Medellín* 62(1): 4967-4982.
- PEDRERO, D. & PANGBORN, R. 1989. *Evaluación Sensorial de los Alimentos: Métodos Analíticos*. Alambra, México, D.F.
- PETERSON, J., LORENZ, L.J., RISLEY, D.S. & SANDMANN, B.J. 1999. Amino acid analysis of peptides using HPLC with evaporative light scattering detection. *Journal of Liquid Chromatography and Related Technologies* 22(7): 1009-1025.
- PROCHILE. 2007. Perfil del mercado de quesos - Costa Rica. INTERNET. www.prochile.cl/doc2.php?file=c_rica_queso_2007.pdf.

- RAVINDRA, P., CHAN, E. & UPENDER, R. 2007. Effect of temperature and salt concentration on rheological behavior of whey protein isolate starch mixed dispersions. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 58(7): 542-547.
- RAVINDRA, P. & CHAN, E. 2007. Whey Protein Isolate - Starch System - A Critical Review. *International Journal of Food Engineering* 3(6): 1-28.
- REVILLA, A. 1985. *Tecnología de la leche: procesamiento, manufactura y análisis*. 2 ed. IICA, San José.
- SALAZAR, N. 1999. Establecimiento de las condiciones adecuadas para la fabricación de suero en polvo a partir de suero producido en la elaboración de queso tipo "Turrialba", mediante la técnica de secado por atomización. Tesis de Lic. en Tecnología de Alimentos. Universidad de Costa Rica, Escuela de Tecnología de Alimentos. San José.
- SALVADOR FIGUERAS, M. 2001. Análisis de conglomerados o cluster. Universidad de Zaragoza. INTERNET. <http://www.ciberconta.unizar.es/leccion/cluster>.
- SÁNCHEZ, A. 2010. Cómase el queso del puro Turrialba. *La Nación*. Edición electrónica. INTERNET. <http://www.nacion.com/2010-07-02/Entretenimiento/NotasSecundarias/Entretenimiento2419833.aspx>.
- SANCHO, J., BOTA, E. & DE CASTRO, J. 1999. *Introducción al análisis sensorial de los alimentos*. 1ra. Ed. Edicions de la Universitat de Barcelona, Barcelona.
- SANTINI, Z., ALSINA, D., ATHAUS, R., MEINARDI, C., FREYRE, M., DÍAZ, J. & GONZÁLEZ, C. 2007. Evaluación de la textura en quesos de oveja. *Aplicaciones del análisis factorial discriminante*. *Revista FAVE - Ciencias Agrarias* 5 / 6 (1-2): 7-14.
- SCANCO. 2010. *Texturómetros - StableMicroSystems*. INTERNET. <http://www.scancotec.com/stabletexturometros.html>
- SCOTT, R. 1991. *Fabricación de queso*. Acribia, Zaragoza.
- SHELLHORN, C. & VALDEZ, V. 1995. *La leche humana, composición, beneficios y comparación con la leche de vaca*. Ministerio de Salud, UNICEF, Santiago.

INTERNET.

<http://www.unicef.cl/lactancia/docs/mod01/Mod%20beneficios%20manual.pdf>.

SHIBINY, S., FARRAG, A., GARAWANY, G. & ASSEM, F. 2007. Rheological and functional properties of whey protein concentrate and β -lactoglobulin and α -lactoalbumin rich fractions. *International Journal of Dairy Science*. 2(3): 196-206.

STAGE 5 PROPOSAL. 2002. Global Document: Amino Acid Analysis. INTERNET. www.nihs.go.jp/dbcb/Bio-Topic/amino.pdf.

STEFFL, A., SCHREIBER R., HAFENMAIR M. & KESSLER H. 1999. Influence of whey protein aggregates on the renneting properties of milk. *International Dairy Journal* 9: 403-404.

STONE, H. & SIDEL, J. 2004. *Sensory Evaluation Practices*. 3 ed. Elsevier Academic Press, California.

TOP200FOODS.COM. sf. Food sources of tryptophan. INTERNET. <http://top200foodsources.com/cgi-bin/nutrients.cgi>.

VILLANUEVA, N., DA SILVA, M. & PETENATE, A. 2002. Performance of the hybrid and self-adjusting hedonic scales in the generation of internal preference maps. IFT Annual Meeting, July 15-19. California.

VILLANUEVA, N., PETENATE, A. & DA SILVA, M. 2005. Performance of the hybrid hedonic scale as compared to the traditional hedonic, self-adjusting and ranking scales. *Food Quality and Preference* 16: 691-703.

WALSTRA, P., WOUTERS J. & GEURTS T. 2006. *Dairy Science and Technology*. 2 ed. Taylor and Francis Group, Florida.

WALZEM, R. 2004. Nutritional properties of whey, lactose and milk minerals products: Nutritional properties of whey products. Arlington. INTERNET. www.usdec.org/files/pdfs/US08D_06.pdf.

WATERS CORPORATION. 2008. Waters: The science of what's possible. HPLC and UPLC Amino Acid Analysis. INTERNET. www.waters.com/waters/home.htm.

WEHR, H. & FRANK, J. 2004. *Standard methods for the examination of dairy products*. 17 ed. American Public Health Association (APHA), Washington.

9. APENDICES

9.1. Primera serie de corridas experimentales

Fecha: 14-08-2009

Cuadro 26. Datos experimentales del proceso de recuperación de proteína de suero empleado en la primera serie de corridas

Parámetro	Magnitud
Suero empleado	100,0 kg
Recuperado de proteína obtenido	13,4 kg
Humedad del recuperado de proteína obtenido	88,98 %
Sólidos del recuperado de proteína obtenido	11,02 %
Gas utilizado	1,4 kg

Cuadro 27. Datos experimentales de rendimiento y composición de las muestras elaboradas en la primera serie de corridas

Tratamiento	Muestra	Rendimiento (%)	Humedad (%)	Grasa (%)
Control	1	16,7	60,60	20,0
	2	16,4	61,10	19,0
	3	16,2	61,76	18,0
Adición de proteína a la cuajada	4	18,2	61,35	20,0
	5	19,1	63,90	18,0
	6	18,8	63,80	17,5
Adición de proteína a la leche	7	18,5	62,74	18,0
	8	17,5	63,11	18,0
	9	17,8	62,51	18,0

Muestras empleadas en prueba triangular, agrado y comparación de rendimientos.

9.2. Encuesta empleada en los paneles de agrado.

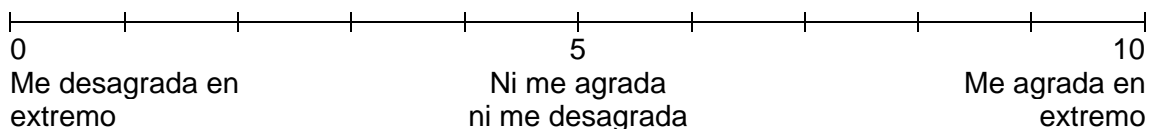
PRUEBA DE AGRADO DE QUESO FRESCO

Nombre: _____ Edad: _____ Sexo: M () F ()

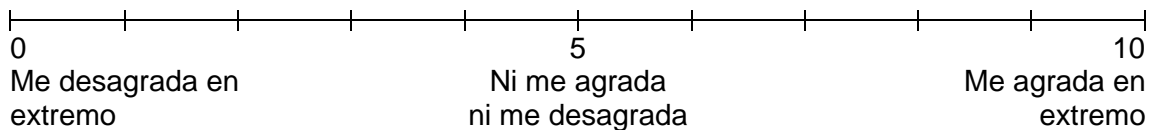
Fecha: _____

Por favor pruebe de izquierda a derecha las tres muestras de queso fresco codificadas y marque con una línea vertical dentro de la escala según corresponda de acuerdo a que tanto le agrada o desagrada el producto. Se puede marcar entre puntos. Enjuáguese la boca entre muestras.

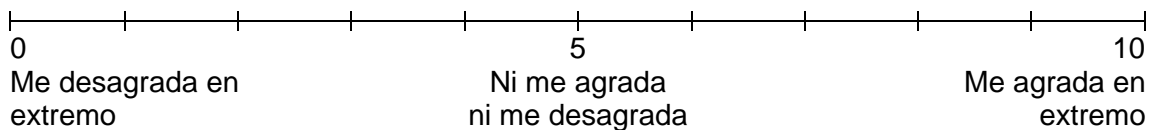
Muestra: _____



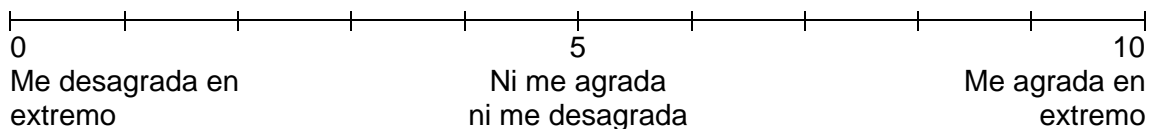
Muestra: _____



Muestra: _____



Muestra: _____



9.3. Datos experimentales primer panel de agrado aplicado a tres tratamientos de queso fresco elaborados con incorporación de proteína de suero en etapas diferentes.

Juez	Calificación de agrado			Juez	Calificación de agrado		
	Control	Cuajada	Leche		Control	Cuajada	Leche
01	10,00	5,43	2,63	41	3,00	7,00	9,03
02	5,47	7,20	6,87	42	7,00	7,00	10,00
03	6,50	4,53	7,53	43	7,00	8,00	5,00
04	8,50	6,43	4,37	44	7,00	9,03	8,03
05	5,60	6,60	7,57	45	7,50	6,50	7,50
06	8,77	5,00	7,60	46	8,43	7,43	3,83
07	4,00	5,00	6,10	47	6,00	6,00	6,00
08	2,00	6,00	3,00	48	8,87	8,80	9,03
09	9,03	8,00	8,03	49	5,00	5,00	4,37
10	6,00	3,00	8,00	50	4,00	5,00	6,00
11	7,00	5,00	8,00	51	5,00	7,00	8,63
12	10,00	5,00	5,00	52	6,57	4,40	5,40
13	3,87	5,00	7,97	53	9,03	9,47	8,13
14	10,00	0,13	5,17	54	9,03	6,93	8,00
15	9,03	8,00	8,00	55	6,53	8,53	5,47
16	8,20	6,27	8,70	56	8,53	7,47	8,47
17	9,67	9,37	10,00	57	8,00	9,03	5,00
18	2,00	4,00	4,47	58	8,00	9,03	9,03
19	9,10	9,60	9,53	59	7,00	8,00	2,00
20	9,03	8,00	8,00	60	6,00	9,03	8,00
21	1,97	7,10	6,10	61	1,47	7,50	10,00
22	9,03	6,00	8,00	62	9,03	7,00	6,00
23	8,00	10,00	7,00	63	4,00	4,50	7,00
24	5,00	7,00	7,00	64	8,47	6,00	8,47
25	4,87	5,90	8,50	65	9,03	7,00	4,03
26	7,60	5,60	4,30	66	9,03	10,00	7,00
27	8,40	7,23	7,00	67	7,53	8,00	9,03
28	7,50	8,00	7,40	68	3,63	6,50	3,60
29	5,00	5,00	5,00	69	7,17	8,50	9,53
30	9,80	9,20	10,00	70	10,00	9,03	4,00
31	6,90	7,00	9,03	71	7,57	6,47	7,53
32	1,00	7,00	0,00	72	9,03	6,00	10,00
33	7,00	5,00	7,00	73	9,43	5,50	0,10
34	10,00	7,00	8,00	74	4,00	5,00	2,50
35	4,40	3,50	1,53	75	7,00	4,40	2,00
36	5,73	6,00	4,00	76	6,00	5,00	5,00
37	8,00	7,47	4,00	77	9,03	1,00	0,00
38	6,17	7,63	5,53	78	5,50	2,43	9,50
39	8,00	6,00	3,00	79	9,03	8,00	7,00
40	10,00	10,00	7,00	80	7,60	7,00	9,03

9.4. Segunda serie de corridas experimentales

Fecha: 28-08-2009

Cuadro 28. Datos experimentales del proceso de recuperación de proteína de suero empleado en la segunda serie de corridas

Parámetro	Magnitud
Suero empleado	100,0 kg
Recuperado de proteína obtenido	15,0 kg
Humedad del recuperado de proteína obtenido	89,42 %
Sólidos del recuperado de proteína obtenido	10,58 %
Gas utilizado	1,4 kg

Cuadro 29. Datos experimentales de composición de las muestras elaboradas en la segunda serie de corridas

Tratamiento	Muestra	Humedad (%)	Grasa (%)
Control	1	63,10	16,5
	2	60,70	19,0
Adición de un 50 % proteína	7	62,00	18,0
	8	64,30	16,0
Adición de un 80 % proteína	5	59,00	20,5
	6	60,05	19,5
Adición de un 100 % proteína	3	63,40	18,0
	4	61,30	21,0

Muestras empleadas en prueba triangular y agrado. No se utilizaron en comparación de rendimientos por tratarse de dos repeticiones por tratamiento.

9.5. Datos experimentales segundo panel de agrado aplicado a cuatro tratamientos de queso fresco elaborados con incorporación de proteína de suero en cantidades diferentes.

Juez	Calificación de agrado				Juez	Calificación de agrado			
01	8,00	9,00	6,00	7,00	41	6,00	8,00	8,00	8,00
02	8,30	3,80	4,50	1,50	42	9,00	1,00	1,00	9,00
03	7,00	4,00	10,00	5,00	43	7,00	4,00	10,00	8,00
04	7,40	5,00	4,00	7,00	44	8,00	5,00	6,00	6,00
05	3,70	4,30	4,60	3,50	45	9,50	6,60	6,30	7,60
06	8,00	9,00	8,00	6,00	46	8,90	7,40	4,90	9,80
07	9,00	8,00	8,00	7,00	47	5,10	9,50	5,00	9,50
08	9,40	0,50	2,50	7,50	48	10,00	1,00	7,00	6,00
09	10,00	9,00	7,00	8,00	49	9,00	7,00	8,00	8,00
10	7,50	3,50	8,50	6,50	50	10,00	10,00	10,00	9,00
11	7,00	5,00	9,40	7,00	51	10,00	7,00	7,00	9,00
12	8,00	7,00	7,00	8,00	52	3,50	7,60	8,00	9,00
13	9,00	6,00	10,00	5,00	53	6,00	10,00	10,00	5,00
14	5,70	7,40	8,40	7,80	54	7,00	6,00	4,00	8,00
15	5,50	2,50	6,50	5,50	55	9,00	7,00	7,00	7,00
16	7,00	6,00	8,00	7,50	56	9,00	8,00	8,00	7,00
17	9,50	9,00	8,50	8,00	57	8,00	8,00	8,50	9,00
18	7,50	9,20	6,60	8,50	58	10,00	9,00	8,00	7,00
19	7,00	8,00	8,00	7,00	59	8,00	10,00	8,00	8,00
20	9,00	6,60	6,60	7,00	60	6,00	10,00	7,00	9,00
21	8,00	7,00	10,00	9,00	61	5,00	5,00	9,00	5,00
22	7,00	7,00	6,00	7,40	62	9,80	8,00	7,00	6,00
23	8,50	8,40	9,40	9,30	63	9,90	9,70	4,80	4,90
24	9,90	8,00	9,00	9,90	64	10,00	10,00	10,00	10,00
25	6,50	8,60	7,40	7,50	65	8,00	5,00	5,00	10,00
26	6,50	9,50	9,50	9,50	66	9,00	5,00	2,00	5,00
27	7,00	6,00	6,00	4,00	67	6,00	7,00	6,00	7,00
28	9,00	8,00	7,70	9,20	68	4,00	2,90	2,90	5,50
29	9,00	8,00	6,00	4,00	69	6,50	8,80	9,60	5,50
30	10,00	8,00	9,00	7,00	70	9,00	8,00	10,00	7,00
31	5,00	9,00	7,00	6,00	71	5,00	6,50	5,00	6,00
32	8,00	2,00	3,00	3,00	72	5,50	6,00	8,00	9,00
33	9,00	3,00	8,00	5,00	73	7,00	8,00	8,00	8,00
34	7,00	7,00	7,00	7,00	74	10,00	10,00	6,00	5,00
35	6,00	7,00	7,00	7,00	75	9,00	8,00	8,80	7,50
36	7,00	10,00	9,00	9,00	76	6,50	1,70	3,50	1,60
37	4,00	8,00	8,00	7,00	77	9,00	7,00	8,00	8,00
38	7,00	4,00	9,00	6,00	78	9,00	8,00	8,50	9,50
39	6,00	4,00	5,00	6,00	79	4,40	5,40	6,50	7,40
40	7,00	8,00	7,00	8,00	80	10,00	9,00	8,00	8,00
					81	6,30	5,80	3,40	4,50

9.6. Tercera serie de corridas experimentales

Fecha: 31-01-2010

Cuadro 30. Datos experimentales del proceso de recuperación de proteína de suero empleado en la tercera serie de corridas

Parámetro	Magnitud
Suero empleado	100,0 kg
Recuperado de proteína obtenido	14,7 kg
Humedad del recuperado de proteína obtenido	89,33 %
Sólidos del recuperado de proteína obtenido	10,67 %
Gas utilizado	1,4 kg

Cuadro 31. Datos experimentales de rendimiento y composición de las muestras elaboradas en la tercera serie de corridas

Tratamiento	Muestra	Rendimiento (%)	Humedad (%)	Grasa (%)
Control	01	17,43	64,6	15,0
	02	16,73	64,1	15,0
	03	18,04	67,0	14,0
Adición de un 50 % proteína	10	17,34	65,7	14,0
	11	17,58	65,6	15,0
	12	16,64	65,6	14,5
Adición de un 80 % proteína	07	17,44	65,4	16,0
	08	17,78	65,1	15,5
	09	18,38	65,5	15,0
Adición de un 100 % proteína	04	18,63	65,4	15,0
	05	18,69	63,7	14,0
	06	19,02	65,1	15,5

Muestras empleadas en comparación de rendimientos.

9.7. Cuarta serie de corridas experimentales

Fecha: 10-04-2010

Cuadro 32. Datos experimentales del proceso de recuperación de proteína de suero empleado en la cuarta serie de corridas

Parámetro	Magnitud
Suero empleado	100,0 kg
Grasa del suero empleado (%)	0,41
Proteína del suero empleado (%)	0,86
Recuperado de proteína obtenido	15,5 kg
Humedad del recuperado de proteína obtenido	90,23 %
Sólidos del recuperado de proteína obtenido	9,77 %

Cuadro 33. Datos experimentales de la leche de partida empleada en el proceso de elaboración de las muestras de queso fresco en la cuarta serie de corridas

Grasa (%)	Proteína (%)	Lactosa (%)	Sólidos totales (%)
3,42	3,20	4,84	11,90

Cuadro 34. Datos experimentales de rendimiento y composición de las muestras elaboradas en la cuarta serie de corridas

Tratamiento	Muestra	Rendimiento (%)	Humedad (%)	Grasa (%)
Control	1	18,52	66,8	16,0
	2	18,23	65,8	16,0
	3	19,77	67,3	14,5
Adición de un 50 % proteína	4	20,41	66,3	14,0
	5	21,42	68,9	13,0
	6	21,52	69,0	13,0

Muestras empleadas en comparación de rendimientos y análisis de textura.

9.8. Gráficos del análisis de perfil de textura

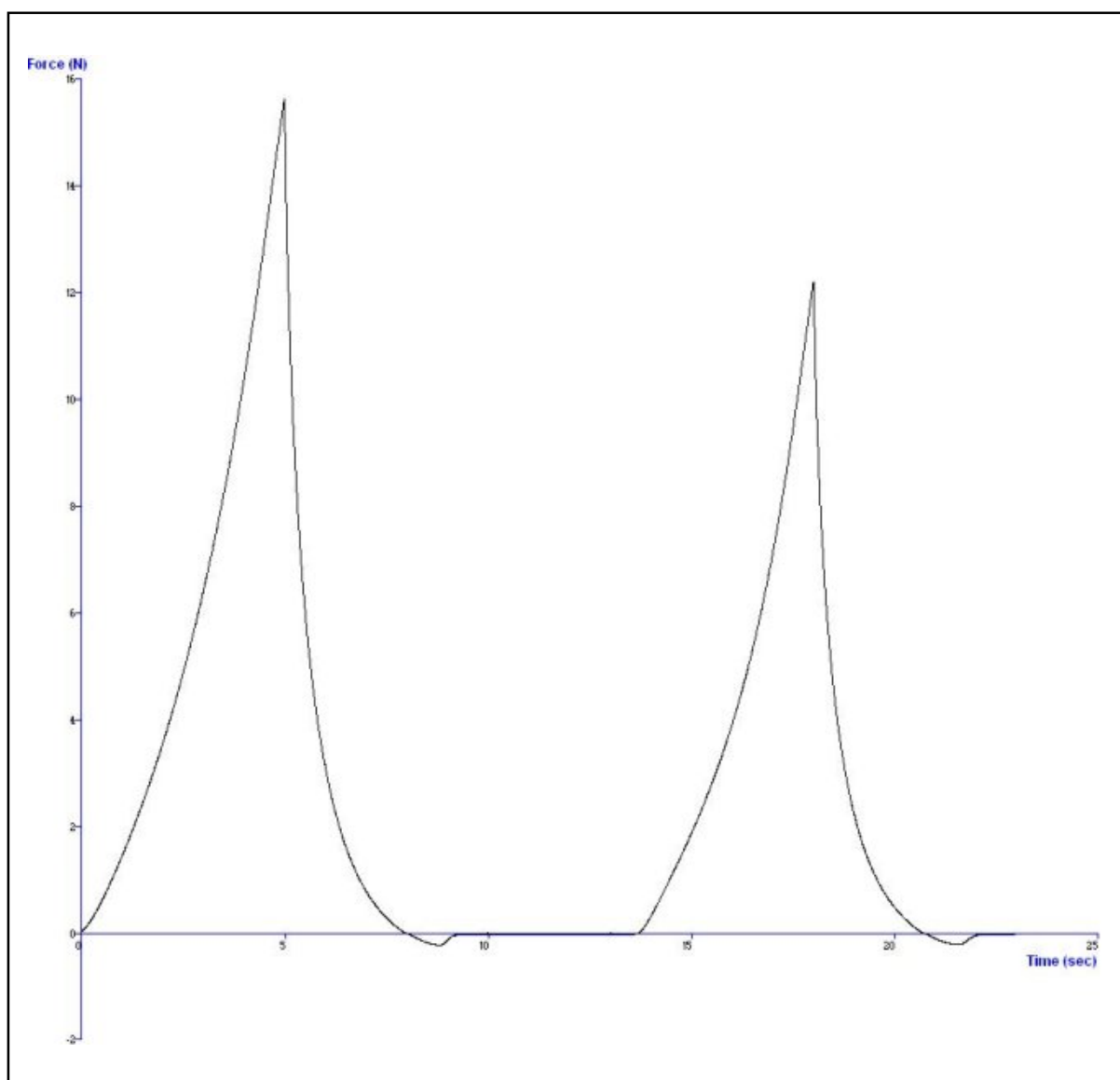


Figura 17. Gráfico promedio del análisis de perfil de textura con texturómetro Texture Analyser TA.XT PLUS de Stable Micro Systems, UK y el software Exponent versión 5.1.1.0 de tres repeticiones de queso fresco sin incorporación de proteína de suero

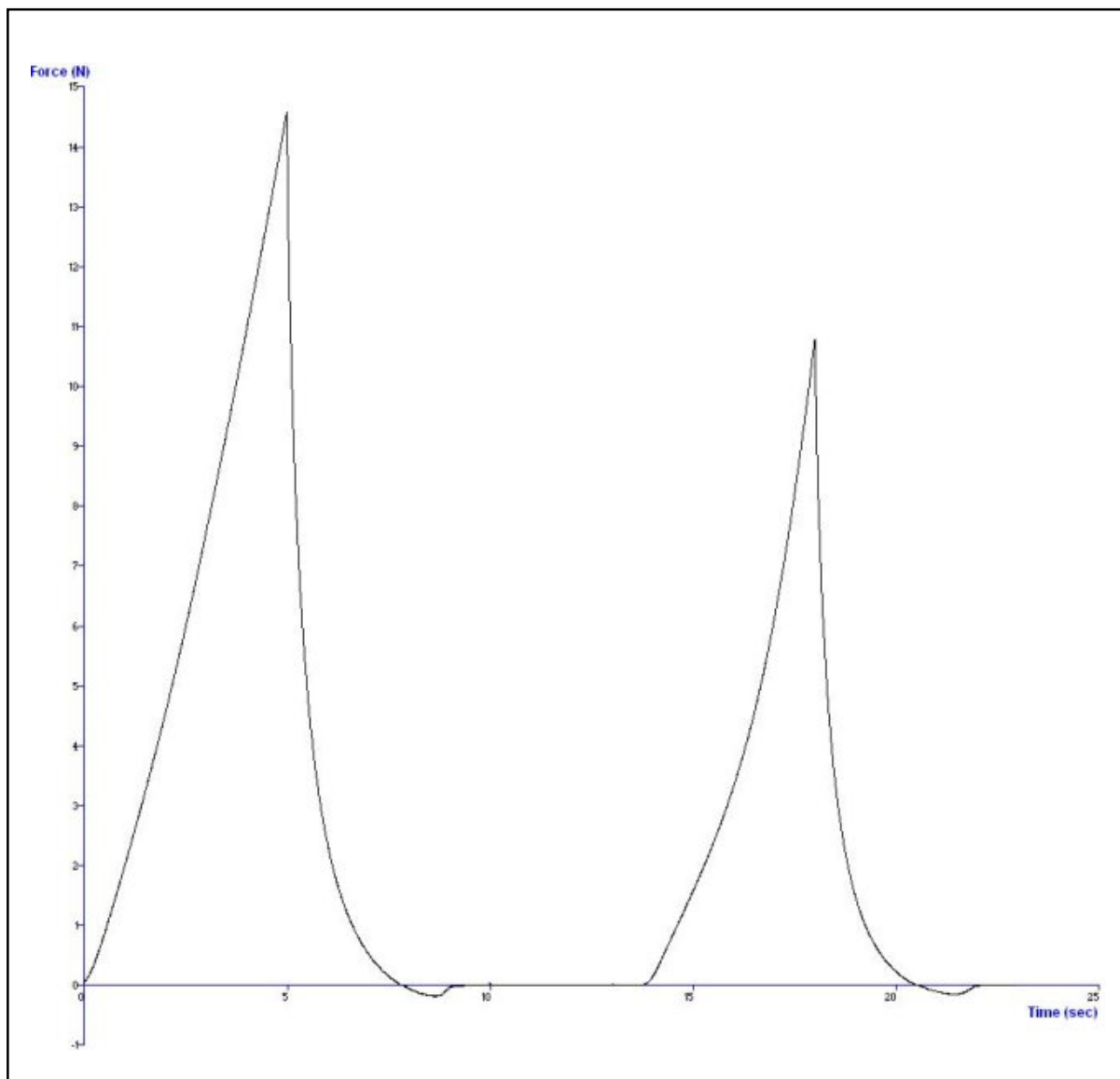


Figura 18. Gráfico promedio del análisis de perfil de textura con texturómetro Texture Analyser TA.XT PLUS de Stable Micro Systems, UK y el software Exponent versión 5.1.1.0 de tres repeticiones de queso fresco con incorporación de proteína de suero