

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS
ESCUELA DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Proyecto de Graduación presentado a la Escuela de Tecnología de Alimentos para optar
por el grado de Licenciado en Ingeniería de Alimentos

Evaluación del efecto de la concentración de proteína en la materia prima para la
elaboración de queso fresco sobre las características fisicoquímicas, la percepción
sensorial de los consumidores y el rendimiento del producto final a nivel piloto e industrial

Elaborado por:

Rodiney Xavier Nájera Ruiz

B34857

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Abril, 2019

TRIBUNAL EXAMINADOR

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

Elaborado por:
Rodiney Xavier Nájera Ruiz

Aprobado por:

M.Sc. Pedro Oscar Vargas Aguilar
Presidente del tribunal

Licda. Diana Víquez Barrantes
Directora del proyecto

M.Sc. Ana Isabel Incer González
Asesora del proyecto

Licda. Ana Cristina Azofeifa Sánchez
Asesora del proyecto

Licda. Marcy Isabel González Vargas
Profesora designada

DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

El presente proyecto de graduación se mantiene bajo la modalidad de confidencialidad parcial. La confidencialidad representa una protección para la empresa interesada frente a posibles competidores. Por lo anterior, el documento se publica restringiendo y codificando información que represente un riesgo para la empresa.

DEDICATORIA

El presente proyecto final de graduación está dedicado a mi madre, Lidieth María Ruiz Picado. Sin su apoyo incondicional, su guía, sus consejos, su sacrificio y su esfuerzo, este proyecto no hubiese sido posible y yo no sería la persona que soy.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco muchísimo a mi grupo asesor Diana Víquez, Ana Incer y Cristina Azofeifa por la paciencia, confianza y apoyo durante toda la realización de este proyecto.

A la profesora Marcia Cordero por sus sabios consejos y porque siempre me brindó palabras de motivación y de apoyo cuando las necesité, con toda su ternura.

A Camacho y Alonso por toda su ayuda en planta, al igual que mis compañeras Esther, Megan y Caro y mi gran amigo Mauro que me apoyaron. Le agradezco a Giova y a Luis por todo su apoyo en el laboratorio de química.

A los profes Eric Wong, Ileana Morales, Elba Cubero, María Lourdes Pineda y Marianela Cortés por compartir conmigo parte de su conocimiento, su tiempo y ayuda.

Les agradezco infinitamente a mis compañeras de U, Rebe y Xime, porque siempre estuvieron ahí cuando las necesité y fueron un gran apoyo en las situaciones difíciles. También les agradezco muchísimo a Jessi y Majo que me apoyaron muchísimo.

Le agradezco mucho a Kevin que me acompañó con todo su amor, con toda su paciencia, sus consejos, su tiempo y su gran disposición para ayudarme.

Por último, mi familia merece el mayor de los agradecimientos, porque fueron mi mayor apoyo en todo el proceso.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

| | |
|---|------|
| TRIBUNAL EXAMINADOR..... | I |
| DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL..... | II |
| DEDICATORIA..... | III |
| AGRADECIMIENTOS..... | IV |
| ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS..... | V |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | VII |
| ÍNDICE DE CUADROS..... | VIII |
| ABREVIATURAS..... | X |
| RESUMEN..... | XI |
| | |
| 1. Justificación..... | 1 |
| 2. Objetivos..... | 4 |
| 2.1. Objetivo general..... | 4 |
| 2.2. Objetivos específicos..... | 4 |
| 3. Marco teórico..... | 5 |
| 3.1. Tecnologías de membranas en la industria láctea..... | 5 |
| 3.1.1. Generalidades..... | 5 |
| 3.1.2. Ultrafiltración..... | 6 |
| 3.2. Queso fresco..... | 7 |
| 3.2.1. Generalidades..... | 7 |
| 3.2.2. Procesamiento..... | 8 |
| 3.2.3. Rendimiento del queso..... | 17 |
| 3.3. Análisis proximal..... | 20 |
| 3.4. Análisis sensorial..... | 21 |
| 3.4.1. Generalidades..... | 21 |
| 3.4.2. Análisis sensorial de discriminación..... | 22 |
| 3.4.3. Análisis sensorial de agrado general..... | 23 |
| 3.5. Textura..... | 24 |
| 3.5.1. Generalidades..... | 24 |
| 3.5.2. Análisis de Perfil de Textura (TPA)..... | 24 |
| 3.5.3. Textura en el queso..... | 26 |
| 4. Materiales y métodos..... | 28 |

| | | |
|--------|--|----|
| 4.1. | Localización del proyecto | 28 |
| 4.2. | Materia prima | 28 |
| 4.2.1. | Análisis de recepción de leche | 28 |
| 4.2.2. | Retenidos UF para la elaboración de los quesos | 29 |
| 4.3. | Pruebas preliminares | 30 |
| 4.3.1. | Análisis de variabilidad del retenido obtenido | 30 |
| 4.3.2. | Elaboración de queso..... | 30 |
| 4.4. | Definitivas..... | 33 |
| 4.4.1. | Pruebas definitivas a escala piloto | 33 |
| 4.4.2. | Pruebas definitivas a escala industrial | 37 |
| 4.5. | Métodos de Análisis | 38 |
| 4.5.1. | Análisis de leche cruda y retenido..... | 38 |
| 4.5.2. | Análisis de los quesos elaborados | 39 |
| 5. | Resultados y análisis | 40 |
| 5.1. | Pruebas preliminares | 40 |
| 5.2. | Análisis a escala piloto..... | 44 |
| 5.3. | Análisis a escala industrial | 52 |
| 6. | Conclusiones..... | 56 |
| 7. | Recomendaciones | 57 |
| 8. | Referencias bibliográficas | 59 |
| 9. | Anexos | 68 |
| 9.1. | Retenidos | 68 |
| 9.2. | Quesos..... | 69 |
| 9.3. | Recuperaciones | 70 |
| 9.4. | Textura..... | 71 |
| 9.5. | Sensorial | 75 |
| 9.5.1. | Diferencia | 75 |
| 9.5.2. | Agrado general..... | 76 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Gráfico general del Análisis de Perfil de Textura | 25 |
| Figura 2. Diagrama de flujo seguido en la elaboración de queso fresco a escala piloto...31 | |
| Figura 3. Ejemplo de la bandeja que fue entregada en el panel sensorial de diferencia. .35 | |
| Figura 4. Ejemplo de bandeja que se presentó en el panel de agrado general y escala a proyectar. | 37 |
| Figura 5. Diagrama de un silo para el almacenamiento de leche..... | 46 |
| Figura 6. Flujo de proceso y decisión para la obtención de retenido de leche. | 47 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro I. Tecnologías de membrana empleadas en la industria láctea, aplicaciones y sus principales características operativas. | 5 |
| Cuadro II. Requisitos tanto físicos como químicos de la leche según el reglamento nacional. | 10 |
| Cuadro III. Combinaciones diferentes de temperaturas y tiempos para distintos tipos de tratamientos térmicos en productos lácteos..... | 12 |
| Cuadro IV. Clasificación y características de las diferentes clases de evaluaciones sensoriales. | 21 |
| Cuadro V. Parámetros medidos en el Análisis de Perfil de Textura (TPA)..... | 25 |
| Cuadro VI. Producciones de retenido de leche cruda ultrafiltrada elaborados por la empresa para las diferentes pruebas realizadas. | 29 |
| Cuadro VII. Caracterización fisicoquímica del retenido de leche cruda ultrafiltrada para la evaluación de su variabilidad. | 40 |
| Cuadro VIII. Análisis fisicoquímicos de la materia prima y de los quesos elaborados en las pruebas preliminares..... | 42 |
| Cuadro IX. Rendimiento y recuperación de componentes en los quesos elaborados en las pruebas preliminares..... | 42 |
| Cuadro X. Análisis de perfil de textura (TPA) en el texturómetro TA.XTPlus empleando una sonda cilíndrica de 5 cm..... | 42 |
| Cuadro XI. Caracterización fisicoquímica promedio de los retenidos pasteurizados de leche cruda ultrafiltrada empleados en la elaboración de queso para cada tratamiento..... | 44 |
| Cuadro XII. Caracterización fisicoquímica promedio de los quesos obtenidos a escala piloto. | 48 |
| Cuadro XIII. Rendimiento de los quesos obtenido a escala piloto y porcentajes de recuperación. | 48 |
| Cuadro XIV. Análisis de Perfil de Textura (TPA) de los quesos elaborados a escala piloto. | 50 |
| Cuadro XV. Análisis sensorial de discriminación por medio de prueba tétrada..... | 51 |
| Cuadro XVI. Análisis sensorial de agrado general para las muestras de queso fresco.... | 51 |
| Cuadro XVII. Caracterización fisicoquímica de los retenidos empleados en la prueba industrial y en el tratamiento control. | 52 |

| | |
|---|----|
| Cuadro XVIII. Caracterización fisicoquímica de los quesos elaborados a escala industrial, rendimiento y porcentajes de recuperación. | 53 |
| Cuadro XIX. Análisis de perfil de textura (TPA) de los quesos elaborados a escala industrial. | 54 |
| Cuadro XX. Caracterización fisicoquímica del retenido a lo largo del tiempo para evaluar su variabilidad. | 68 |
| Cuadro XXI. Análisis fisicoquímico de todos los retenidos empleados en las diferentes repeticiones de los tratamientos evaluados a escala piloto. | 69 |
| Cuadro XXII. Análisis fisicoquímico de todos los quesos empleados en las diferentes repeticiones de los tratamientos evaluados a escala piloto. | 69 |
| Cuadro XXIII. Recuperación de componentes en la elaboración de los quesos de las diferentes repeticiones de los tratamientos evaluados a escala piloto. | 70 |
| Cuadro XXIV. Parámetros obtenidos del análisis de perfil de textura (TPA) en el queso obtenido bajo el tratamiento de $(X_p \pm 0,1)$ % de proteína en la materia prima, procesado a escala piloto. | 71 |
| Cuadro XXV. Parámetros obtenidos del análisis de perfil de textura (TPA) en el queso obtenido bajo el tratamiento de $(Y_p \pm 0,3)$ % de proteína en la materia prima, procesado a escala piloto. | 72 |
| Cuadro XXVI. Parámetros obtenidos del análisis de perfil de textura (TPA) en el queso obtenido bajo el tratamiento de $(Z_p \pm 0,2)$ % de proteína en la materia prima, procesado a escala piloto. | 73 |
| Cuadro XXVII. Parámetros obtenidos del análisis de perfil de textura (TPA) en los quesos procesado a escala industrial. | 74 |
| Cuadro XXVIII. Juicios obtenidos en el análisis de discriminación entre las muestras de queso bajo los tratamientos X_p % y Y_p % y los tratamientos X_p % y Y_p % de proteína en la materia prima. | 75 |
| Cuadro XXIX. Agrado para el queso elaborado bajo el tratamiento de X_p % de proteína en la materia prima. | 76 |
| Cuadro XXX. Agrado para el queso elaborado bajo el tratamiento de Y_p % de proteína en la materia prima. | 77 |
| Cuadro XXXI. Agrado para el queso elaborado bajo el tratamiento de Z_p % de proteína en la materia prima. | 78 |

ABREVIATURAS

- AFC:** Escogencia Forzada Alternativa, por sus siglas en inglés.
- ANDEVA:** Análisis de Varianza.
- AOAC:** Asociación de Químicos Analíticos Oficiales, por sus siglas en inglés.
- APHA:** Asociación Americana de Salud Pública, por sus siglas en inglés.
- BPM:** Buenas Prácticas de Manufactura.
- BPO:** Buenas Prácticas de Ordeño.
- CITA:** Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos.
- ETA:** Escuela de Tecnología de Alimentos.
- FAO:** Organización para la Agricultura y la Alimentación, por sus siglas en inglés.
- FDA:** Administración de Alimentos y Medicamentos, por sus siglas en inglés.
- HACCP:** Análisis de Riesgos y de Puntos Críticos de Control, por sus siglas en inglés.
- HHST:** Calentamiento más alto por un Menor Tiempo, por sus siglas en inglés.
- HTST:** Alta Temperatura por Corto Tiempo, por sus siglas en inglés.
- IICA:** Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
- INEC:** Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- MF:** Microfiltración.
- MP:** Materia Prima.
- MPC:** Concentrado de Proteína de Leche, por sus siglas en inglés.
- NF:** Nanofiltración.
- OI:** Ósmosis Inversa.
- OMS:** Organización Mundial de la Salud.
- PPG:** Proporción Proteína/Grasa.
- PRODAR:** Programa de Desarrollo de la Agroindustria Rural.
- RTCA:** Reglamento Técnico Centroamericano.
- RTCR:** Reglamento Técnico de Costa Rica.
- TNE:** Tétrada No Especificada.
- TPA:** Análisis de Perfil de Textura, por sus siglas en inglés.
- UF:** Ultrafiltración.
- UHT:** Ultra Alta Temperatura, por sus siglas en inglés.
- WPC:** Concentrado de Proteína de Suero, por sus siglas en inglés.

RESUMEN

Nájera Ruiz, Rodiney Xavier

Evaluación del efecto de la concentración de proteína en la materia prima para la elaboración de queso fresco sobre las características fisicoquímicas, la percepción sensorial de los consumidores y el rendimiento del producto final a nivel piloto e industrial

Tesis de Licenciatura en Ingeniería de Alimentos – San José, Costa Rica

Nájera-Ruiz, RX. 2019.

78 h, 6 il. – 92 refs

Se evaluó el efecto del contenido de proteína en la materia prima para la elaboración de queso fresco a escala piloto. Se evaluaron 3 concentraciones de proteína como tratamientos, con 3 repeticiones. Por medio de un análisis de covarianza, bajo un diseño experimental de bloques completos, se determinó que no existen diferencias significativas entre la composición de las materias primas.

A los quesos elaborados a escala piloto se les realizó análisis proximal, análisis de perfil de textura (TPA), cálculo de recuperación de componentes, cálculo del porcentaje de rendimiento y análisis sensorial de discriminación y de agrado. No se obtuvo diferencia significativa, al 95 % de confianza, para ninguna de las variables respuesta analizadas, pero la potencia de prueba para la mayoría de ellas sugiere que es posible que exista diferencia entre ellas si se aumenta las repeticiones del análisis y se controla de mejor manera la concentración de la materia prima.

Con base en los resultados obtenidos a escala piloto, se llevó a cabo una prueba exploratoria a nivel industrial para observar el comportamiento del queso resultante, desde su caracterización fisicoquímica, rendimiento y textura, respecto al queso tradicional de la empresa.

La materia prima empleada en la prueba industrial presentó mayor contenido de proteína, pero una menor proporción proteína/grasa (PPG) respecto al control industrial, por lo que las características obtenidas en el queso resultante se deben al efecto de estas dos variables. De manera exploratoria se puede observar que al aumentar la concentración de proteína en la materia prima se obtuvo un aumento del contenido de grasa, de

rendimiento, de recuperación de humedad, de dureza y de masticabilidad en el queso elaborado, mientras que se notó la disminución en el contenido de proteína, de humedad y de la recuperación de grasa y de proteína.

Además, se observó una elevada densidad de cuajada en el tanque de coagulación, un grano más formado, más definido, más duro y con menor humedad respecto al queso tradicional. El queso resultó más consistente (más duro y más seco) lo que facilitó el ajuste de peso y su posterior empaque, con menos recorte asociado.

Como se obtiene un aumento de rendimiento, la textura no se ve alterada y los consumidores no detectan diferencia entre los diferentes quesos elaborados a escala piloto, de manera exploratoria, se recomienda repetir el análisis a escala industrial estandarizando el proceso de ultrafiltración y aumentando las repeticiones. Con esto podrían obtenerse, de manera significativa, aumento en rendimiento y mejoras del proceso a nivel tecnológico. Además, se podría aumentar la PPG para potenciar el aumento de rendimiento y mejoramiento de características del queso.

QUESO, LÁCTEOS, CONCENTRACIÓN DE PROTEÍNA, PROPORCIÓN PROTEÍNA/GRASA, TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS, ULTRAFILTRACIÓN, RETENIDO, CONCENTRADO.

Directora: Lic. Diana Viquez Barrantes

Escuela de Tecnología de Alimentos

1. Justificación

El sector lechero es industrialmente un sector sólido, dinámico y muy diversificado en Costa Rica. Desde años atrás hasta la actualidad, la producción de leche en el país ha estado en crecimiento, con un aumento del 19,6 % del 2008 al 2013 (Madriz 2014) hasta posicionarse actualmente como el país con el mayor consumo de leche en el mercado centroamericano, siendo este de 200 litros de leche per cápita al año (Madriz 2017).

Según datos del 2012, la industria láctea nacional se mantiene liderando la movilidad del mercado ya que ocupa un 43,6 % del valor agregado de las actividades pecuarias, un 54,8 % del valor de las exportaciones del sector y un 46,15 % de los empleos directos entre fincas e industrias (Madriz 2014), por lo que es evidente su papel trascendental en la economía del país; desde el capital hasta los empleos que genera, además de participar en el mercado mundial con una importante exportación que creció en un 13 % entre el 2006 y 2015 (Báez y Espinoza 2017).

Además, se ha visto un mayor consumo de productos lácteos y una mayor producción, considerándose nuestro país autosuficiente en la producción de leche y potenciando, por ende, las exportaciones. En general, la producción de leche ha aumentado de manera sostenida gracias a la mayor eficiencia de las empresas y no necesariamente a un incremento en el área de producción (González 2013; Barquero 2014).

Para el aumento de la eficiencia y productividad de las industrias lácteas se pueden implementar diferentes técnicas y tecnologías, siendo la ultrafiltración (UF) una de ellas, ya que sustituye, agiliza u optimiza procesos; por ejemplo, en la elaboración de quesos se puede obtener mayor cantidad de producto con los mismos lotes y con menos horas hombre (Govindasamy-Lucey *et al.* 2004).

El presente proyecto final de graduación se realizará en una empresa láctea que está incursionando en el procesamiento de leche por UF tangencial. Actualmente, la empresa está iniciando las pruebas con leche en el equipo de UF adquirido, específicamente pruebas de programación del equipo, pruebas de optimización y fijación de los parámetros de operación, con el fin de obtener siempre un retenido con composición constante en cuanto a grasa y proteína.

En la empresa, el permeado en este momento es la fracción de importancia resultante de la operación, ya que se tiene su uso posterior previsto. El retenido, por su parte, es el producto de la UF sin aplicación definida en la empresa y por ello es necesario aprovecharlo de alguna manera, debido a que es una fracción muy rica en nutrimentos y con potencial comercial.

Este retenido se emplea ampliamente en la elaboración de queso, con la particularidad que se necesitan procesos estandarizados específicos para el producto, ya que se acortan los tiempos de coagulación y la cantidad de enzima adicionada (Tamime 2013) lo que representa un trabajo adicional para la empresa en cuanto a la optimización de un nuevo proceso específico para el queso con incorporación de retenido.

Dado que la empresa requiere que no se realicen modificaciones en sus procesos actuales, es aquí donde se tiene el reto principal, que es incorporar el retenido a la materia prima y elaborar queso fresco con las mismas condiciones del proceso tradicional estandarizado de la empresa. Además, se busca que el queso mantenga sus características, por lo que es necesario evaluar si se tienen cambios, tanto negativos como positivos, en el producto final respecto al queso fresco actual (sin incorporación de retenido), verificándolos por medio de una caracterización fisicoquímica y análisis sensorial con consumidores.

Es de interés de la investigación evaluar si al aumentar la cantidad de proteína en la materia prima para la elaboración del queso al adicionarle retenido de leche ultrafiltrada, se logra aumentar su rendimiento manteniendo las características sensoriales del queso fresco actual de la empresa.

Por otra parte, el queso representa un consumo importante a nivel nacional; este, junto con leche y huevos, se encuentra en el tercer lugar en los gastos de los costarricenses ocupando un 15,50 % del total del gasto en alimentos mensual per cápita, siendo el pan y cereales el primer lugar con 25,14 %, seguido por la carne con un 18,80 % (INEC 2014), por lo que se nota que representa un gasto bastante importante en los hogares costarricenses, y aporta ganancias elevadas a la empresa.

Actualmente el queso es el producto lácteo con mayor exportación, a Centroamérica principalmente, representando el 40 % de las exportaciones totales. Entre los años 2006 -

2015 los quesos y requesón (este último producido y consumido en otros países de Centroamérica) tuvieron un incremento del valor exportado de 13,5 % y ocuparon un 37,4 % de la demanda mundial del sector lácteo (Báez y Espinoza 2017), por lo que queda en evidencia que este producto se mantiene activo en el mercado y en la economía costarricense, y al evaluar su mejoramiento por medio de esta investigación se podría generar diversos beneficios económicos a la empresa.

El estudio se realizó a nivel piloto con el objetivo de mantener el control de las variables del proceso temperatura y tiempo, y facilitar el estudio del efecto de la concentración de proteína en la materia prima para la elaboración de queso fresco. Asimismo, permitirá lograr una caracterización y detalle más profundo, con el fin de obtener conclusiones más certeras del análisis y desarrollo de la investigación (Anaya-Durand y Pedroza-Flores 2008), y ya teniendo una evidencia sólida del comportamiento del queso a escala piloto se pueden realizar pruebas industriales para establecer recomendaciones de proceso.

Un aspecto trascendental para estudiar en la investigación es la estandarización de la proteína, aumentando su contenido, en la materia prima para la producción de queso, ya que se relaciona con el aumento de rendimiento, disminución de pérdida de grasa y aumento de firmeza, sólo si se tiene un procedimiento con las condiciones óptimas y específicas para la concentración de proteína estandarizada (Govindasamy-Lucey *et al.* 2004).

Por las razones expuestas, en cuanto a la alta producción de leche y la utilización de la UF que genera un retenido aprovechable, es que nace la necesidad de incorporar este subproducto durante la elaboración del queso fresco que se tiene en la empresa y evaluar su efecto sobre las características fisicoquímicas y sensoriales del producto final, mediante la evaluación de diferentes porcentajes de incorporación de retenido y contenido de proteína en la materia prima.

Los resultados del proyecto serán de gran aporte a la empresa para aprovechar la fracción de retenido resultante de la UF en la búsqueda de aumentar la eficiencia y eficacia del proceso de elaboración del queso fresco y si se logra, con ello aumentar el valor agregado de la producción láctea costarricense, generando un estudio base para el escalamiento de este en la empresa.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la concentración de proteína en la materia prima para la elaboración de queso fresco, empleando retenido de leche ultrafiltrada y siguiendo el procedimiento tradicional de la empresa, sobre las características fisicoquímicas, la percepción sensorial de los consumidores y el rendimiento del producto final a nivel piloto e industrial.

2.2. Objetivos específicos

- 2.2.1. Analizar los cambios en las características fisicoquímicas, rendimiento y percepción sensorial de los consumidores, en los quesos frescos elaborados a escala piloto con tres diferentes porcentajes de proteína en la materia prima para la validación de la incorporación del retenido de la ultrafiltración de leche en el producto.
- 2.2.2. Analizar las características fisicoquímicas y rendimiento del queso fresco que ofreció mejores atributos a escala piloto al procesarlo a escala industrial, para su comparación con el queso tradicional de la empresa (control industrial) y generación de recomendaciones de proceso.

3. Marco teórico

3.1. Tecnologías de membranas en la industria láctea

3.1.1. Generalidades

Las tecnologías de membrana son procesos de separación donde se concentra o se fracciona un líquido en dos fases de diferentes composiciones, empleando para este fin filtros de membrana semipermeable de diferente tamaño de poro (Kumar *et al.* 2013). El fraccionamiento de sustancias a través de la membrana no sólo depende del tamaño de poro, sino también depende de la carga de los solutos y su afinidad con la membrana (Kowalik-Klimczak 2017).

Estas tecnologías favorecen el etiquetado limpio, al extender la vida útil de los alimentos sin la necesidad de emplear conservantes y preservantes. Una de sus mayores ventajas es que pueden sustituir tratamientos térmicos para la eliminación de microorganismos. Con ello, se conservan componentes termo-sensibles y se obtiene mayor eficiencia energética (Le *et al.* 2014).

Dentro de este grupo de tecnologías se encuentran la microfiltración (MF), la ultrafiltración (UF), la nanofiltración (NF) y ósmosis Inversa (OI), que se aplican ampliamente en la industria láctea con diferentes propósitos, las cuales se detallan en el cuadro I.

Cuadro I. Tecnologías de membrana empleadas en la industria láctea, aplicaciones y sus principales características operativas.

| Tipo | Tamaño de poro | Corte de peso molecular (cut - off) | Presión | Componentes principales en el retenido | Aplicación de la tecnología en la industria lechera |
|------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------|--|--|
| MF | 0,2 - 2 μm | > 200 kDa | Baja (menos de 2 bar) | Proteínas, glóbulos de grasa y bacterias | Elaboración de queso con el retenido y remoción de bacterias |
| UF | 1 - 500 μm | 1 - 200 kDa | Media (1 - 10 bar) | Micelas de caseína, glóbulos de grasa, minerales coloidales, bacterias y células somáticas | Estandarización de leche con ambas fracciones, concentración de leche y fraccionamiento de proteínas |

Cuadro I. Tecnologías de membrana empleadas en la industria láctea, aplicaciones y sus principales características operativas (*Continuación*).

| Tipo | Tamaño de poro | Corte de peso molecular (cut - off) | Presión | Componentes principales en el retenido | Aplicación de la tecnología en la industria lechera |
|------|----------------|-------------------------------------|------------------------------|--|---|
| NF | 0,5 - 2 nm | 300 - 1000 Da | De media a alta (5 - 40 bar) | Minerales polivalentes, nitrógeno no proteico, lactosa | Desalinización de suero y deslactosado de leche |
| OI | NA | 100 Da | Alta (10 - 100 bar) | Minerales monovalentes | Recuperación de sólidos totales |

Fuente: (Rosenberg 1995; Childress y Elimelech 2000; Pouliot 2008, citados por Kumar *et al.* 2013; Le *et al.* 2014).

3.1.2. Ultrafiltración

La ultrafiltración (UF) es un proceso de separación por membranas que emplea un gradiente, generalmente de presión o en algunos casos electrostático, para el fraccionamiento de alguna sustancia (Chacón-Villalobos 2006).

Dependiendo del tamaño de los poros de la membrana y naturaleza de los solutos es posible separar diferentes componentes de las sustancias que se procesen, donde algunos quedan en la fracción retenida y los que logran atravesar la membrana en la fracción conocida como permeada. Por lo anterior es que uno de los objetivos primordiales de la UF es el fraccionamiento y purificación de componentes específicos, tales como proteínas, grasa y lactosa en el caso de la leche (Le *et al.* 2014).

La fracción retenida se mantiene en el interior del equipo de ultrafiltración hasta finalizar el tratamiento, esto es, cuando se logra obtener el nivel de concentración deseado, mientras que la segunda está constantemente saliendo del equipo.

Para determinar la eficiencia del proceso de ultrafiltración se pueden estudiar algunos índices como lo son el factor de concentración (o factor de reducción volumétrico) y el coeficiente de retención de las membranas utilizadas, este último en relación con los componentes principales de la sustancia sometida a UF (Dushkova y Dinkov 2005).

Dentro de esta tecnología se encuentra la UF tangencial, que permite una mayor eficacia y eficiencia al disminuir, por medio del flujo de alimentación, el depósito de sólidos o taponamiento de la membrana al barrer continuamente la superficie, lo que repercute en

la posibilidad de procesar mayores volúmenes sin pausas programadas para mantenimiento de membranas (Romero 2010).

El rendimiento del proceso de ultrafiltración depende en gran medida de los materiales de la membrana, el pH, las temperaturas y otros parámetros operativos del equipo (Le *et al.* 2014).

3.1.2.1. Ultrafiltración de leche para la elaboración de queso

La leche es un sistema complicado y polidisperso con partículas suspendidas y moléculas solubles que tienen diferentes cargas y que se encuentran en una amplia gama de tamaños, por ello es posible emplear cualquier tipo de membrana para fraccionarle de algún modo. Las moléculas más grandes presentes en la leche son los glóbulos de grasa, cuyos tamaños varían de 1-15 μm (3,5 μm en promedio) seguidas de las micelas de caseína (0,4 μm en promedio) (Le *et al.* 2014).

Uno de los principales objetivos de la UF es concentrar y separar macromoléculas en suspensión (retenido) principalmente grasa, proteínas del suero, caseínas y, en caso de emplear leche cruda, también se concentrarían los microorganismos que se encuentren en la microbota de la leche. Además se retienen pequeñas cantidades de lactosa y minerales. De esta manera se obtiene un permeado más diluido respecto a la leche (Dushkova y Dinkov 2005; Romero 2010).

Con la ultrafiltración se logra un aumento de la eficiencia de los procesos de elaboración de queso al concentrar la leche, es decir, empleando el retenido de la operación en el proceso. Con lo anterior se aumenta la proporción caseína: proteína, se mejora el control de la composición y la calidad del producto terminado y se aumenta el rendimiento, tal y como se menciona en el punto 3.2.2.2. más adelante (Kumar *et al.* 2013).

3.2. Queso fresco

3.2.1. Generalidades

La leche contiene aproximadamente entre 3,1 - 3,7 % de proteínas, de las cuales el 80 % son caseínas. Estas proteínas son las que juegan un papel trascendental en la elaboración de queso fresco, ya que, al precipitarlas y concentrarlas por medio del desuerado, se logra obtener este producto (Badui 2006), reportándose un rendimiento promedio de entre 13 - 14 % (FAO 2011).

La FAO y OMS (2018) por medio del *Codex Alimentarius*, definen al queso como el producto que se obtiene por coagulación total o parcial de la proteína de la leche, crema o leche de mantequilla, o de sus combinaciones, posterior a un escurrimiento del suero generado por acción del cuajo u otros coagulantes, en el que la proporción entre las proteínas de suero y la caseína no es superior a la de la leche.

Desde la perspectiva estructural, el queso es un alimento heterogéneo, organizado en una red proteica continua principalmente de caseínas integradas en un complejo fosfocaseinato cálcico, el cual mantiene ocluida materia grasa, agua y minerales. Es por esta razón, que el queso logra conservar la mayoría de los componentes de la leche y su valor nutritivo (Castro *et al.* 2014; Ramírez-López y Vélez-Ruiz 2012).

El queso puede ser blando, semiduro, duro y extra duro, madurado o no madurado, y puede estar recubierto (FAO y OMS 2018), siendo el queso fresco el que está listo para el consumo inmediatamente después de su elaboración, es decir, sin procesos de maduración (RTCA 2014).

3.2.2. Procesamiento

PRODAR, IICA y FAO (s.f.) en su ficha técnica para el queso fresco pasteurizado presentan un proceso general y simple, donde incluyen las etapas de: recepción, análisis, adición de cloruro de calcio, pasteurización, enfriamiento, adición de cuajo y coagulación, corte y agitación, desuerado, lavado de cuajada, salado, moldeo y volteo, empaque y almacenamiento.

Estas son las etapas básicas de un proceso de queso fresco. Algunas de ellas pueden no aplicarse, como es el caso de la pasteurización, esta se puede omitir si la leche se ha obtenido con las más estrictas Buenas Prácticas de Ordeño (BPO) y Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) y se tiene un control riguroso de la alimentación y salud del animal. Además de ésta etapa, el lavado de la cuajada es otra operación opcional para reducir el contenido de lactosa residual y suero de leche, y lograr un queso con sabor más neutro.

Por otra parte, existen otras etapas como la ultrafiltración y estandarización, que opcionalmente se pueden aplicar para optimizar el proceso, y también se pueden añadir cultivos bioprotectores para asegurar la inocuidad del producto final.

A continuación se detalla el objetivo de cada etapa del proceso general.

3.2.2.1. Recepción y análisis

La calidad final del queso depende de la calidad de la leche cruda que se emplea para este fin. Es por esta razón que es trascendental su análisis. FAO (2018) expresa que la leche cruda de buena calidad “no debe contener residuos ni sedimentos; no debe ser insípida ni tener color y olor anormales; debe tener un contenido de bacterias bajo; no debe contener sustancias químicas (por ejemplo, antibióticos y detergentes), y debe tener una composición y acidez normales”.

Dos de los parámetros de control de calidad que se aplican más ampliamente a la leche son el pH y la temperatura de recepción. La leche de vaca tiene un pH entre 6,5 y 6,8 como consecuencia de la presencia de caseínas, aniones fosfórico y cítrico, principalmente. Si los valores de pH son inferiores puede deberse a la presencia de calostro (pH cercano a 6,0 debido al elevado contenido de proteínas) o la fermentación de la lactosa por parte de la microbiota normal de la leche, lo que da indicios de baja calidad microbiológica (Negri 2005).

Por su parte, si el pH es superior al ámbito normal, puede deberse a la leche de fin de lactancia del animal o leches mastíticas, debido a un aumento en la concentración de iones sodio (Na^+) y cloruro (Cl^-) y una reducción del contenido de lactosa y de fósforo inorgánico soluble, por lo que da indicios de una afectación en la salud del animal y elevado contenido de células somáticas (Negri 2005).

La temperatura de la leche, si no va a ser procesada en las siguientes 2 horas después del ordeño, tiene que ser llevada a temperaturas inferiores a 10 °C, óptimamente a temperaturas de refrigeración, es decir, a menos de 4,4 °C. Esto porque las bacterias se encontrarían en su fase de adaptación, por lo que su crecimiento a esta temperatura sería muy lento (Callejo 2008; Frye y Kilara 2015).

A partir de los 10 °C, las reacciones químicas de degradación y el crecimiento microbiano tienen lugar con mayor probabilidad y facilidad, es por esto que la leche tiene que tener un adecuado manejo en cuanto a la cadena de frío durante su acarreo (vehículos de transporte) y recibo en las industrias (Frye y Kilara 2015).

El RTCR (2006) presenta las características y límites con los que tiene que cumplir la leche tanto cruda como tratada térmicamente, estos parámetros se muestran en el cuadro II.

Cuadro II. Requisitos tanto físicos como químicos de la leche según el reglamento nacional.

| Característica | Leche entera | Leche Semidescremada | Leche descremada |
|---|----------------------------------|----------------------|------------------|
| Grasa (%) | % \geq 3 | 1 \leq % < 3 | % < 1 |
| Sólidos totales (% mínimo) | 11,0 | 10,0 | 8,0 |
| Cenizas (% máximo) | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| Proteína (% mínimo) | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| Densidad a 15 °C (g/mL) | 1,032 | 1,030 | 1,029 |
| Punto de congelación (°C) | -0,513 \leq Pto. \leq -0,541 | | |
| Punto de congelación (°Horvet) | -0,531 \leq Pto. \leq -0,560 | | |
| Sólidos no grasos (% mínimo) | 8,0 | | |
| Acidez expresada como ácido láctico (%) | 0,13 \leq % \leq 0,17 | | |
| Fosfatasa y sedimento (mg/kg) | Negativo | | |

Fuente: (RTCR 2006).

3.2.2.2. Ultrafiltración

El empleo del retenido de la ultrafiltración de leche en la elaboración de quesos aumenta la eficiencia del proceso. Permite disminuir el tiempo de coagulación, la cantidad adicionada de cuajo, de cloruro de calcio y de cultivo inicial ya que se logra una mayor interacción enzima-proteína y proteína-proteína al experimentar menos dilución al adicionarlo (Kumar *et al.* 2013; Le *et al.* 2014).

Además, se disminuye el uso de sal. Esto debido a que se obtiene un cambio en la estructura del queso y se aumenta la retención de moléculas como la sal. Por último, se acelera todo el proceso de elaboración y se obtiene una mejora en el rendimiento del queso (Kumar *et al.* 2013; Le *et al.* 2014).

3.2.2.3. Estandarización

El objetivo de la estandarización de la leche para la elaboración de queso radica en ajustar los parámetros de grasa y proteína, principalmente, para solventar las variaciones estacionales de la composición de la leche (Delgado 2010).

Para lograr la estandarización de la grasa primeramente se tienen que separar los glóbulos de grasa de la leche. Para ello se emplea una descremadora, la cual actúa bajo la acción de la fuerza centrífuga separando, por diferencia de densidades, la crema láctea de la leche, para posteriormente reintroducir la crema en la leche descremada a las concentraciones deseadas (Le *et al.* 2014).

En el caso de la estandarización de la proteína se pueden emplear diferentes métodos para aislar concentrados de proteínas tanto líquidos (tecnologías de membranas) como en polvo (secado por atomización). Para realizar la estandarización se pueden adicionar los retenidos obtenidos por membranas (MF y UF principalmente), adición de concentrados proteicos como concentrados de proteína de leche y de proteínas del suero (MPC o WPC, por sus siglas en inglés) o caseinatos (Delgado 2010; Guinee *et al.* 2006).

En esta etapa es importante controlar la proporción proteína/grasa (PPG) en la materia prima para la elaboración de queso, ya que al aumentar la PPG aumentan significativamente los niveles de proteína, calcio y fósforo en el producto final, además de la recuperación de la grasa láctea y humedad. Lo anterior se debe a que la grasa queda ocluida en la red proteica formada y al hacerlo bloquea la salida de agua de la red. Todos estos aspectos tienen consecuencias texturales, fisicoquímicas y de rendimiento en el queso (Guinee *et al.* 2007).

3.2.2.4. Pasteurización

La pasteurización es el proceso de calentar cada partícula del alimento que se somete al proceso a una de las temperaturas indicadas en el cuadro III y mantenidas continuamente durante el tiempo especificado. En cada combinación de tiempo y temperatura, se pueden aplicar tiempos y/o temperaturas mayores, pero nunca menores (FDA 2015).

Cuadro III. Combinaciones diferentes de temperaturas y tiempos para distintos tipos de tratamientos térmicos en productos lácteos.

| Tipo de tratamiento térmico | Temperatura (°C) | Tiempo |
|---|------------------|---------------|
| Por lote | 63 | 30 minutos |
| Flujo continuo (HTST ¹ y HHST ²) | 72 | 15 segundos |
| | 89 | 1 segundo |
| | 90 | 0,5 segundos |
| | 94 | 0,1 segundos |
| | 96 | 0,05 segundos |
| | 100 | 0,01 segundos |

Nota: ¹ Alta temperatura por corto tiempo (por sus siglas en inglés); ² Calentamiento más alto por un menor tiempo (por sus siglas en inglés).

Fuente: (FDA 2015).

Este proceso se aplica a la leche para eliminar la totalidad de las células vegetativas bacterianas con carácter patogénico presentes. Con esto también se eliminan al menos en un 90 % las bacterias de deterioro y se inactivan las enzimas endógenas de la leche (Grappin y Beuvier 1997; Kelly *et al.* 2008). Estos tratamientos son aplicables al retenido de leche, siempre y cuando este no supere el 10 % de grasa, el 18 % de sólidos totales y no tenga edulcorantes adicionados; en su defecto se tiene que aumentar en 3 °C, como mínimo, la temperatura.

La aplicación de los diversos tratamientos térmicos provoca la desnaturalización de las proteínas, pero en general no afectan a la composición de aminoácidos y, por ende, las propiedades nutricionales de la leche no se ven alteradas. Las proteínas que se pueden ver mayormente afectadas son las β -lactoglobulinas, mientras que las proteínas que se mantienen más estables a la temperatura son las micelas de caseína, incluso a temperaturas de hasta 140 °C (Mejía-López *et al.* 2017).

3.2.2.5. Enfriamiento

La leche pasteurizada se enfría alrededor de 35 - 39 °C, esto con el objetivo de condicionar la temperatura de la leche a la temperatura óptima para desarrollo del cultivo y procurar mejorar la acción del cuajo (PRODAR, IICA y FAO s.f.; Arce 2011; Badui 2006).

3.2.2.6. Adición de cloruro de calcio

En la fase coloidal de una leche sin alteraciones se encuentran las micelas de caseína que contienen aproximadamente un 20% del calcio (Ca) y fósforo (P) unidos a su conformación, así como sales de $\text{Ca}(\text{PO}_3)_2$ coloidal, citratos y magnesio (Mg) que las mantienen estables. Al aplicar algún tipo de tratamiento térmico, el equilibrio Ca/P soluble se hace insoluble (precipita), y, por ende, modifican la superficie de las micelas (Ramírez 2009).

Para restablecer el calcio soluble en la leche pasteurizada es que se adiciona cloruro de calcio a la materia prima para la elaboración de queso, y con ello lograr mantener la estabilización del complejo fosfocaseinato cálcico, disminuir el tiempo de coagulación y formar un gel más firme, al recuperar el equilibrio entre las fases coloidal y soluble (Ramírez 2009; Arce 2011).

Es de importancia realizar esta etapa en la elaboración de queso, ya que el calcio complementa a las fuerzas de Van der Waals y disminuye la repulsión electrostática entre las micelas, neutraliza sus cargas y genera puentes entre sus sitios negativos, favoreciendo así su agregación (Pacheco 2018).

3.2.2.7. Adición del cultivo láctico

Los quesos se pueden elaborar a partir de leche cruda (leche que no se ha sometido a ningún tipo de tratamiento térmico) siempre y cuando se asegure su inocuidad y la del queso a través de estrictos controles sanitarios y de análisis microbiológicos pertinentes, o con leche pasteurizada.

En el caso de la elaboración de queso con leche cruda, o su retenido obtenido por ultrafiltración, la materia prima contiene todos los microorganismos con los cuales se pudo haber contaminado la leche desde las etapas de ordeño, almacenamiento y distribución, por esto se tiene que asegurar su inocuidad. Mientras que la leche pasteurizada, manipulada posteriormente bajo condiciones de BPM y controles estrictos de temperatura

y tiempo, está libre de microorganismos patógenos y no representa un riesgo para la salud de los consumidores.

Debido a que la carga microbiológica disminuye en gran medida, la leche pasteurizada y sus derivados están expuestos con mayor probabilidad a la sobrevivencia de patógenos en caso de una recontaminación. Esto al tener una menor microbiota competitiva, por lo que es recomendable el uso de un cultivo láctico bioprotector (PRODAR, IICA y FAO s.f.).

La adición de cultivo láctico tiene varias funciones. Dentro de ellas se encuentran aspectos sensoriales (desarrollo de aromas y sabores por reacciones proteolíticas y lipolíticas), aspectos tecnológicos de coagulación (se mejora la coagulación mixta o se emplea sólo para coagulación ácida), maduración (desarrollo de textura por reacciones enzimáticas proteolíticas y lipolíticas) y de bioprotección (microbiota competitiva).

En el queso fresco el aspecto que tiene mayor relevancia es el de bioprotección. Según Chr-Hansen (2017) los cultivos bioprotectores incluyen “tipos de cultivos de uso muy extendido para prevenir la aparición de levaduras y mohos no deseados, lo que alargaría la vida útil, naturalmente... contemplan aspectos de la gestión de riesgos, disminuyendo los desperdicios y aumentando la inocuidad”. Dentro de los cultivos más usados destacan *Streptococcus lactis*, *S. cremoris*, *Lactobacillus lactis* y *L. bulgaricus* (Badui 2006).

Los bioprotectores combaten el crecimiento de microorganismos patógenos en el queso, así como los de deterioro. Los más ampliamente usados son las bacterias ácido-lácticas, ya que son seguros para el consumo y dominan naturalmente la microbiota de muchos alimentos durante el almacenamiento. Son una muy buena opción usarlos en lugar de productos químicos preservantes o antimicrobianos ya que permiten una etiqueta limpia (Vignolo y Fadda 2008).

Estos cultivos bioprotectores se adicionan sólo como una barrera adicional a las Buenas Prácticas de Manufactura, almacenamiento y distribución, es decir, aumentan los controles de inocuidad (Vignolo y Fadda 2008). Según Olofsson (2010) muchos riesgos se pueden eliminar empleando procedimientos adecuados en el programa de prerrequisitos en la producción, aplicando estrictamente las BPM y buenas prácticas de higiene, sumado a esto, un plan HACCP para el proceso del queso.

3.2.2.8. Adición de cuajo y coagulación

La coagulación es la formación de un gel que resulta de la interacción proteica. Esto posterior a un proceso de desestabilización de las micelas de caseína en la leche. La misma se puede obtener por diferentes métodos, como lo son la acidificación y la proteólisis enzimática (Badui 2006).

La modificación fisicoquímica de la micela de caseína, obtenida por acidificación, puede lograrse con la adición de cultivos bacterianos fermentadores de lactosa o adición de algún ácido grado alimentario hasta alcanzar el punto isoeléctrico de las proteínas presentes (alrededor de un pH de 4,6) (Castro *et al.* 2014).

Por su parte, la coagulación por proteólisis enzimática se logra adicionando cuajo, renina o quimosina (tanto de origen vegetal como microbiano). En este proceso se hidroliza la caseína *k* (justo en el enlace Fen105 - Met106) en *para*-caseína *k* y en el caseinomacropéptido, lo que provoca la desestabilización de las caseínas (Delgado 2010; Badui 2006).

Durante la coagulación, las moléculas de *para*-caseína se unen por medio de fuerzas electrostáticas y de Van der Waals, dando lugar a filamentos irregulares que se entrecruzan, lo que estabiliza la matriz (Castro *et al.* 2014), y por la acción del calcio sobre las caseínas *a* y *b*, se forma un gel flexible, cohesivo, impermeable y contráctil, cuya magnitud dependerá del grado de mineralización (contenido en calcio), la proporción grasa/proteína y la incorporación de seroproteínas dentro del complejo fosfocaseinato cálcico (Delgado 2010).

3.2.2.9. Corte y desuerado

Posterior a la coagulación se realiza una etapa de corte de la cuajada, esto con el fin de dividirla en coágulos donde el drenaje (sinéresis) tenga lugar. Se quiere obtener una cuajada con un elevado contenido de materia seca, es decir, se quiere dejar salir la mayor cantidad de suero posible, pero sin destruir por completo los coágulos, para esto se puede cortar con cuchillo o lira en forma de cuadros (Delgado 2010; Goddik 2012).

El desuerado, como el nombre de la operación lo indica, es la separación de la fase líquida (suero) de la fase sólida. Durante la salida y separación del suero se da una reorganización a nivel fisicoquímico de la cuajada y tienen lugar interacciones hidrofóbicas

dentro de la micela que determinan la estructura final del queso (Govindasamy-Lucey *et al.* 2005)

Esta operación se ve potenciada con calentamiento, agitación, disminución del pH y prensado de los coágulos obtenidos tras el corte (Delgado 2010), y se ve limitada por la retención de agua en la matriz de caseína, ya sea por proteínas solubles desnaturalizadas (por el efecto de los tratamientos térmicos) ocluidas en la cuajada o por aumentos en la concentración de proteína de la materia prima (Goudédranche *et al.* 1980, citado por Delgado 2010).

3.2.2.10. Salado

La sal (cloruro de sodio) tiene varias funciones en los quesos tales como brindar el sabor salado, por la presencia del ion sodio, lo que hace que mejore las propiedades sensoriales del producto; disminuye la actividad de agua y aumenta la presión osmótica, por lo que actúa como regulador del desarrollo bacteriano, y, por último, regula la actividad enzimática (Ramírez-Navas *et al.* 2017; Delgado 2010).

Este proceso se puede realizar por tres diferentes métodos, como lo son la inmersión en salmuera, salado directamente a la cuajada desuerada antes de su moldeo o “en seco” y salado “en seco superficial”, que consiste en la adición de sal sobre la superficie del queso moldeado. En quesos frescos se suele adicionar desde 0,6 % a 7,0 % de sal, en quesos madurados entre 0,9 % y 6,0 % y en quesos de pastas hiladas entre 1,2 % y 1,9 % (Ramírez-Navas *et al.* 2017).

3.2.2.11. Moldeado y prensado

El moldeado se realiza para darle la forma final al queso y ayudar, junto con el prensado, a que se forme una cuajada cohesiva y estable. El moldeo y el prensado generalmente se realizan utilizando el mismo molde, ya que este además de darle la forma al queso, permite la salida de suero por los orificios en su estructura (Ramírez-López y Vélez-Ruiz 2012).

En el queso fresco, generalmente, se realiza un autoprensado, es decir, no se requiere de una prensa quesera, sino más bien, este proceso se realiza con el propio peso de los moldes con el queso (Ramírez-López y Vélez-Ruiz 2012), esto se puede realizar

volteando los quesos tres veces en intervalos de 15 minutos y luego dejarlos reposar 3 horas antes de desmoldar (PRODAR, IICA y FAO s.f.).

3.2.2.12. Empaque y almacenamiento

El empaque y almacenamiento son dos factores trascendentales en la calidad del queso durante su vida útil. El material de empaque no debe permitir el paso de humedad, para evitar contaminación, debe proteger al producto de la luz, para evitar pérdida de calidad nutricional por componentes fotosensibles presentes en el queso como la riboflavina, y proteger al producto del oxígeno para evitar la oxidación de grasa y la pérdida de aromas (Mortensen *et al.* 2002; Iličić *et al.* 2016).

Para la elección del material de empaque se tienen que considerar diferentes aspectos como el grosor, que define las características mecánicas y de barrera, la resistencia, que define la aptitud del empaque para el transporte y mantenerse sellado durante el almacenamiento, la reflectancia y transmitancia del empaque, que definen la protección a la luz, y la permeabilidad de oxígeno (Mortensen *et al.* 2002; Iličić *et al.* 2016).

El plástico es uno de los materiales de empaque más empleados. Aunque generalmente no protege de la luz, Iličić *et al.* (2016) avalan el uso de empaques de polipropileno y poliestireno, basados en sus características de alargamiento hasta rotura (resistencia), permeabilidad de gases y versatilidad de grosores.

Según PRODAR, IICA y FAO (s.f.) el queso fresco pasteurizado se tiene que almacenar a temperaturas de refrigeración para mantener su calidad e inocuidad, además mencionan una vida útil aproximada de 5 – 7 días bajo estas condiciones.

3.2.3. Rendimiento del queso

El rendimiento del queso es un aspecto que puede verse influenciado por diferentes factores como lo son la composición de la leche y sus pretratamientos, procesos de estandarización o suplementación, tipo de coagulante, adición de cloruro de calcio, entre otros factores que se describen a continuación.

3.2.3.1. Características de la materia prima

El rendimiento del queso es un factor dependiente de la composición de la materia prima con la cual se elabora, particularmente proteína y grasa. La cantidad de queso que

se obtenga varía en relación directa con el contenido de caseína de la materia prima y está influenciada con la proporción de grasa a proteína de la leche (Abd y Ahmed 2011).

Al aumentar el contenido de sólidos totales en la materia prima, manteniendo una proporción grasa/proteína de 1,5, se aumenta linealmente el rendimiento medido en fresco (sin maduración) y se obtiene una mayor recuperación de sólidos en el queso (Guinee *et al.* 2006; Guinee y Pudja 1994).

Guinee *et al.* (2006), realizaron un estudio donde aumentaron el contenido de proteína en la materia prima con fosfocaseína, concentrado de proteína de leche (MPC) o retenido fresco de leche ultrafiltrada, y se obtuvo un aumento de rendimiento (kg de queso/100 kg de leche estandarizada) para todos los tratamientos.

El aumento de rendimiento se asocia con la mayor retención de proteínas del suero, las cuales en promedio son β – lactoglobulinas y α - lactoalbúminas, que constituyen alrededor del 60 % del material nitrogenado extra, retenido en el queso (Lelievre y Lawrence 1988).

Debido a la mayor retención de seroproteínas el queso, existe la posibilidad que este se vuelva más blando, ya que se aumenta con ésta la retención de agua (Karlsson *et al.* 2007; Delgado 2010; Spangler *et al.* 1990). Debido a la disminución de dureza se requiere un contenido mineral relativamente alto para que las propiedades sensoriales de los productos tradicionales y UF sean idénticas (Lelievre y Lawrence 1988).

El comportamiento anterior se obtiene al aumentar el contenido de proteína, siempre y cuando este no sea mayor de 5 - 7 % en la materia prima. A partir de este contenido de proteína en la materia prima aumenta mucho la firmeza de la cuajada, el corte se dificulta y ésta se puede desgarrar, favoreciendo la sinéresis y perdiendo partículas finas (Guinee *et al.* 2006; Guinee *et al.* 1994).

Conforme se aumenta el contenido de proteína en la materia prima, y la proporción proteína/grasa es mayor, se aumenta el rendimiento. Esto porque la grasa queda ocluida en la red proteica formada (por que la cantidad de proteína es mayor que la materia grasa) y al hacerlo bloquea la salida de agua de la red, aumentando la recuperación de grasa y de humedad (Guinee *et al.* 2007).

3.2.3.2. Condiciones de proceso

3.2.3.2.1. Almacenamiento de la leche

El almacenamiento de la leche a temperaturas menores a 7 °C durante más de un día (o por períodos más largos) afecta a la leche de dos maneras, la primera es que se favorece la solubilización de las caseínas que se encuentran organizadas en micelas (Abd y Ahmed 2011). La segunda forma es el crecimiento y actividad enzimática de microorganismos psicrótrofos como los géneros *Pseudomonas* y *Enterobacter*, así como bacterias productoras de esporas como *Bacillus cereus* (Heller *et al.* 2003).

Estos microorganismos psicrótrofos producen proteinasas termoestables que junto a las caseínas solubilizadas se facilita la proteólisis enzimática, asociada con una cuajada más débil, mayores pérdidas de grasa en el suero y con ello la disminución de los rendimientos queseros (Heller *et al.* 2003; Abd y Ahmed 2011).

3.2.3.2.2. Pasteurización

La pasteurización alta (UHT, HTST o HHST) de la leche para la elaboración de queso hace que las proteínas del suero se desnaturalicen. Las proteínas desnaturalizadas se precipitan junto con las caseínas durante el proceso de coagulación, aumentando la recuperación proteica. Lo anterior se relaciona con el aumento de rendimiento (Nielsen 2006).

La coprecipitación de las proteína solubles pueden afectar la formación de gel, dando como resultado un queso que difiere del tradicional en cuanto a cuerpo, textura y sabor. Esto sucede debido a que la unión de las proteínas del suero a las superficies de las micelas impiden estéricamente la agregación de las micelas, por lo que no se forma una matriz estable (Kethireddipalli *et al.* 2010).

En un proceso de pasteurización de 72 °C/15 s o menor, las proteínas solubles permanecen estables, mientras que a temperaturas o tiempos de pasteurización más altos se inducen mayor cantidad de interacciones caseína - proteínas del suero desnaturalizadas (Nielsen 2006; Abd y Ahmed 2011).

3.2.3.2.3. Homogenización de la leche

Esta operación consiste en hacer pasar la leche por válvulas a diferente presión para lograr dividir los glóbulos de grasa de la leche en glóbulos más pequeños. Los pequeños

glóbulos se logran organizar de mejor manera dentro de la red de para-caseína, lo que favorece la retención de grasa y humedad, aumentando el rendimiento (Abd y Ahmed 2011).

3.3. Análisis proximal

El análisis proximal consiste en la determinación de los macro-componentes en los alimentos, es decir, proteína, grasa, humedad, fibra bruta, carbohidratos y cenizas. En el caso del queso los carbohidratos son principalmente lactosa y no se tiene determinación de fibra bruta, por su naturaleza.

El contenido de proteína, tanto en el retenido empleado, como en el queso resultante, es trascendental analizarlo debido a que es la variable que se está estudiando. Lelievre y Lawrence (1988) mencionan que la retención de seroproteínas constituyen alrededor del 60 % del material nitrogenado extra retenido en el queso elaborado con retenido de leche UF, por lo que es importante cuantificarlo. El método de análisis más ampliamente usado es el de Kjeldahl (Barquero 2012).

Debido a la mayor retención de proteínas del suero, el queso puede volverse más blando, por lo que sugieren que puede requerirse un contenido mineral relativamente alto para evitar estas diferencias en textura, es decir, si se controla el contenido mineral de queso UF, las propiedades sensoriales de los productos tradicionales y UF podrían ser similares (Lelievre y Lawrence 1988). Por esta razón es valioso analizar el contenido de cenizas en el queso. El método más ampliamente usado es el de calcinación en mufla (Barquero 2012).

El contenido de lactosa es trascendental analizarlo, ya que, a mayor cantidad de lactosa retenida en el queso, aumenta la probabilidad de la acidificación del queso en almacenamiento, por lo que se puede ver afectada su calidad. Según Heller *et al.* (2003) alrededor del 98 % de la lactosa se elimina en el suero, y la lactosa que se retiene en el queso se fermenta en las primeras 24 horas después de haber sido prensado. Para su determinación se emplean principalmente métodos enzimáticos y métodos espectroscópicos (Barquero 2012).

Los posibles cambios en la acidez del queso, repercutirían en la desmineralización de las micelas de caseína por lo que se vería afectación en la textura. Además de la desmineralización, conforme cambia la acidez del queso y se tenga un pH similar al punto isoeléctrico de las caseínas, la estructura del queso sería más rígida (Ramírez-López y Vélez-Ruiz 2012; Walstra *et al.* 2005).

Por último, el contenido de humedad se analiza en horno de microondas o en estufa, principalmente. El contenido de grasa se puede determinar por el método de Babcock, Soxhlet o Goldfish, principalmente y el contenido de sal se podría realizar por el método de Volhard o métodos potenciométricos (Barquero 2012).

3.4. Análisis sensorial

3.4.1. Generalidades

El análisis sensorial de los alimentos es un conjunto de técnicas para la medición de la percepción de los consumidores sobre los alimentos. Es un método científico utilizado para medir, analizar e interpretar las respuestas de los evaluadores sobre los productos; percibidas a través de los sentidos de la vista, el olfato, el tacto, el gusto y el oído (Lawless y Heyman 2010).

Los análisis sensoriales se pueden agrupar en tres grandes grupos, según el objetivo del análisis y las variables respuesta requeridas. A continuación, se muestran en el cuadro IV.

Cuadro IV. Clasificación y características de las diferentes clases de evaluaciones sensoriales.

| Clase | Objeto de interés | Tipo de prueba | Características del panelista |
|----------------|---|----------------|---|
| Discriminación | Evaluar si los productos son perceptiblemente diferentes en alguna medida | Analítica | Proyectado para la agudeza sensorial, orientado al método de prueba, puede ser o no entrenado |
| Descriptivo | Conocer cómo difieren los productos en alguna característica sensorial específica | Analítica | Proyectado para la agudeza sensorial y motivación, entrenado o altamente entrenado |

Cuadro IV. Clasificación y características de las diferentes clases de evaluaciones sensoriales (*Continuación*).

| Clase | Objeto de interés | Tipo de prueba | Características del panelista |
|----------|--|----------------|---|
| Afectivo | Conocer en qué nivel son gustados los productos o cual (es) son preferidos | Hedónica | Proyectado para los productos, no entrenado |

Fuente: (Lawless y Heyman 2010).

Las pruebas analíticas se realizan en laboratorios de análisis sensorial bajo condiciones controladas de codificación y aleatorización de muestras, nivel y tono de luz y ventilación, aleatorización en el orden de las pruebas, entre otros parámetros; mientras que las pruebas hedónicas generalmente se realizan en condiciones similares a las que normalmente se consume el producto (Lawless y Heyman 2010; Espinoza 2007).

3.4.2. Análisis sensorial de discriminación

Estas pruebas se realizan para evaluar si es posible diferenciar dos estímulos confundibles, en muestras diferentes. Son importantes para determinar si ha ocurrido un cambio perceptible en las características de algún alimento, o si se nota alguna diferencia en el mismo tras una etapa de modificaciones, entre otros aspectos (Angulo & O'Mahony 2009 a; Angulo & O'Mahony 2009 b).

En el análisis de discriminación se encuentran diferentes pruebas para evaluar la diferencia entre dos muestras, como lo son la prueba de dúo-trío, triángulo, 2- Escogencia Forzada Alternativa (2- AFC, por sus siglas en inglés), 3- AFC, tétrada, entre otras.

Algunas de estas pruebas, como las n- AFC, son dirigidas, es decir, se le da una característica al panelista y se le solicita que escoja la muestra en la que la característica dada presenta mayor magnitud, por ejemplo: la más salada, la más blanda o la más oscura. En la presente investigación se esperan múltiples cambios al aumentar el contenido de proteína en la materia prima para la elaboración de queso fresco, por esta razón no se puede seleccionar una prueba guiada (Angulo & O'Mahony 2009 a).

Para los análisis de discriminación en donde no se conocen los cambios o son cambios en más de un atributo se emplean ampliamente la prueba triángulo y la prueba tétrada no especificada (TNE), donde se les solicita a los panelistas que agrupen las

muestras por similitud, es decir, no se le guía con algún atributo. Estas pruebas ofrecen una proporción más baja de respuestas debidas al azar ($p = 1/3$) en comparación con otras pruebas (Worch y Delcher 2013).

La prueba TNE puede tener un efecto negativo en la discriminación en cuanto a la adaptación, la fatiga y memoria, al incorporar una cuarta muestra en la prueba. Aun así, dentro de estas dos pruebas (triángulo y TNE) la más recomendable es la TNE, ya que tiene una mayor potencia estadística al brindar un mayor número de respuestas correctas en las mismas condiciones de análisis (Ishii *et al.* 2014).

Para la prueba TNE se tienen que definir el grado de diferencia que se quiere evaluar (d prima), así como la confianza sobre las conclusiones que se van a obtener (error tipo I o α , y error tipo II o β). Con estos parámetros definidos se puede encontrar la cantidad de analistas requeridos en las tablas de Ennis (2013) y la cantidad de juicios correctos para que la diferencia en los productos analizados sea significativa en las tablas de Ennis y Jesionka (2011).

3.4.3. Análisis sensorial de agrado general

El análisis de agrado general es una prueba sensorial afectiva, es decir, se realiza con personas no seleccionadas ni entrenadas que evalúan el producto de manera emotiva (en función de su gusto disgusto respecto a él), de esta manera se recolectan respuestas lo más reales posibles (Espinoza 2007).

En este tipo de pruebas se necesita un tamaño de muestra amplio, de más de 100 consumidores (O'Sullivan 2017), de esta manera se logra disminuir la variabilidad que los panelistas introducen al análisis por factores como experiencias, cultura, hábitos, intereses personales, dieta y salud, que hagan que su agrado hacia el producto se vea afectado (Svensson 2012; Hough *et al.* 2006).

Para medir el nivel de agrado que los panelistas sienten hacia las muestras de análisis se puede emplear una escala lineal continua de 10-15 cm. Tras haber evaluado la muestra los panelistas marcan en la escala el nivel de agrado (O'Sullivan 2017).

3.5. Textura

3.5.1. Generalidades

La textura es un aspecto fundamental en los productos alimenticios que determina su aceptación o rechazo por parte de los consumidores, además de ser en algunos casos un determinante de calidad. En muchas ocasiones es el primer referente de gusto o disgusto por el producto. Es por esta razón que es de trascendental importancia realizar análisis de textura en alimentos (Torres *et al.* 2015).

La textura es un atributo multivariable. Es un conjunto de propiedades físicas que se relacionan con la mecánica y la reología de los alimentos, por ende, representan la estructura de los mismos. Es un atributo independiente del olor o el gusto del alimento y puede ser medido de dos maneras: por análisis sensorial descriptivo o por métodos instrumentales, siendo estos los más aptos (Torres *et al.* 2015; García 2012).

El análisis descriptivo representa mayor inversión de tiempo, debido a la alineación de percepción sensorial que se tiene que llevar a cabo con los participantes por la variabilidad de criterios presente. Y aun realizando esta etapa, se vuelve difícil entender, sensorialmente, cada una de las propiedades físicas que componen a la textura y sus magnitudes (García 2012; Torres *et al.* 2015).

Existen diferentes métodos instrumentales que se aplican según el tipo de alimento y los resultados que se desean obtener. Por ejemplo, en frutas uno de los parámetros más importantes de la textura es la firmeza o dureza, para lo cual se emplea un penetrómetro, mientras que en queso el método que más se aplica es el método de análisis de perfil de textura (TPA, por sus siglas en inglés) (Guerrero *et al.* 2015).

3.5.2. Análisis de Perfil de Textura (TPA)

Este análisis es uno de los métodos instrumentales más ampliamente empleado en los alimentos, debido a que imita las condiciones a que se somete el producto alimenticio durante el proceso de masticación. Según Torres *et al.* (2015), se obtiene una simulación del esfuerzo de la mandíbula al morder y con esto se puede determinar el comportamiento del alimento con respecto a la fuerza aplicada.

Es una prueba de doble compresión (ver figura 1) que permite conocer la magnitud de las características físicas texturales presentes en el alimento como lo son la fracturabilidad, dureza, elasticidad, cohesividad, masticabilidad, gomosidad y la adhesividad (Hleap y Velasco 2010).

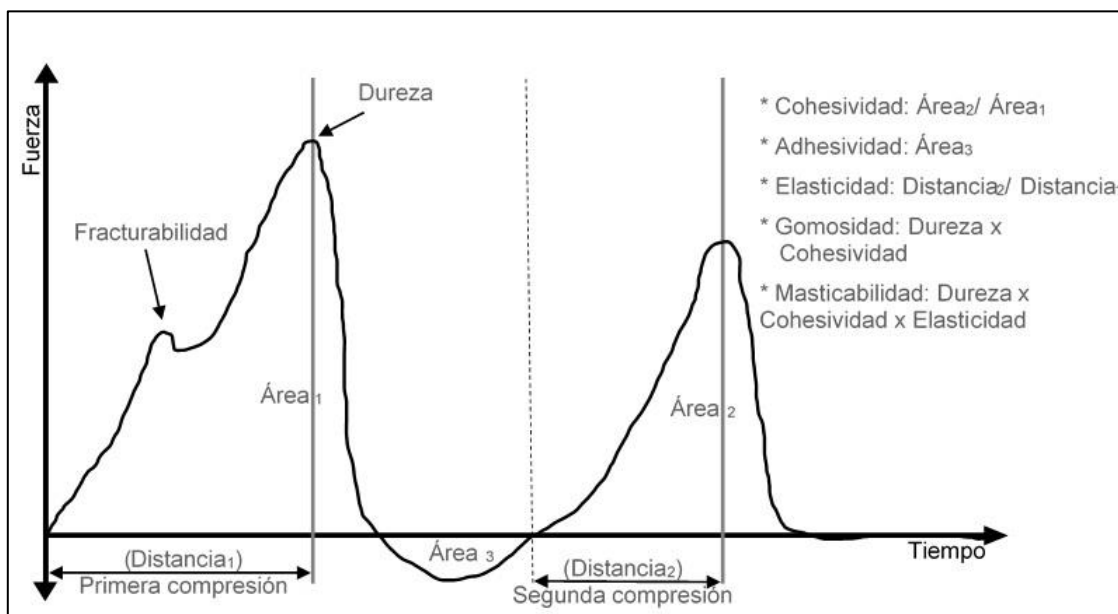


Figura 1. Gráfico general del Análisis de Perfil de Textura

Fuente: Basado en Hleap y Velasco 2010.

A continuación, se muestran los parámetros medidos en el TPA, su definición, determinación y unidades.

Cuadro V. Parámetros medidos en el Análisis de Perfil de Textura (TPA).

| Parámetro | Definición | Determinación |
|--------------------------------|--|---|
| Fracturabilidad (Newton, N) | Fuerza necesaria para fracturar la muestra | Fuerza en la primera ruptura significativa de la muestra |
| Adhesividad (Joule, J) | Trabajo necesario para vencer la fuerza de atracción entre la muestra y una superficie | Área negativa después del primer ciclo de compresión (Área ₃). Representa el trabajo necesario para separar la superficie del equipo y la muestra |

Cuadro V. Parámetros medidos en el Análisis de Perfil de Textura (TPA)
(Continuación).

| Parámetro | Definición | Determinación |
|-------------------------------|--|---|
| Dureza (Newton, N) | Fuerza necesaria para lograr una deformación determinada | Máxima fuerza durante el primer ciclo de compresión |
| Cohesividad (Adimensional) | Fuerza de los enlaces internos que mantiene la estructura de una muestra. Representa la resistencia de un material a una segunda deformación con relación a como este se comportó en un primer ciclo de deformación. | Relación entre el área positiva del segundo ciclo de compresión (Área ₂) y el área positiva del primer ciclo (Área ₁) |
| Elasticidad (Adimensional) | Capacidad que tiene una muestra deformada para recuperar su forma o longitud inicial después de que la fuerza ha impactado en ella | El cociente Distancia ₂ / Distancia ₁ |
| Gomosidad (Newton, N) | Fuerza necesaria para desintegrar una muestra de alimento semisólido a un estado tal que facilite su ingesta | Producto de la Dureza y la Cohesividad |
| Masticabilidad (Newton, N) | Fuerza necesaria para masticar un alimento sólido hasta un estado tal, que permita su ingesta | Producto de la Dureza, Cohesividad y Elasticidad |

Fuente: (Szczesniak 1963 y Bourne 1978, citado por Torres *et al.* 2015).

3.5.3. Textura en el queso

La textura en el queso depende principalmente del tipo y la edad de este. Esto se traduce en diferencias en cuanto a composición, cambios bioquímicos y fisicoquímicos de los componentes y en su estructura (tanto macro, como ojos y grietas, como micro, organización de la red proteica) (Castro *et al.* 2014).

En el queso, la dureza y la elasticidad son parámetros determinantes, seguido de la adhesividad y cohesividad (Guerrero *et al.* 2015). Existen dos fenómenos que controlan estas propiedades en los quesos: acción de enzimas proteolíticas sobre la matriz proteica (se disminuye la firmeza y se modifica la elasticidad y el color) y la pérdida de humedad, que aumenta la interacción entre las proteínas lo que provoca el aumento de la firmeza (Ramírez-López y Vélez-Ruiz 2012).

Los quesos con mayor contenido de proteína presentan una mayor dureza, esto porque en la coagulación se forman una mayor cantidad de filamentos en la red, lo que aumenta la capacidad de soportar un esfuerzo (Castro *et al.* 2014).

Un componente trascendental en la textura de los quesos es la grasa. Ésta se encuentra ocluida en la matriz como material de relleno tanto en forma de glóbulos como en grasa libre. Este componente interfiere en la textura de los quesos, tanto en su comportamiento con la temperatura como en su contenido (Castro *et al.* 2014; Ramírez-López y Vélez-Ruiz 2012).

A baja temperatura los glóbulos son sólidos, y por ende aumenta la dureza del queso, mientras que a temperaturas más altas la grasa se funde y lo ablanda (Castro *et al.* 2014). Por otra parte, a mayor contenido de grasa se disminuye la firmeza y aumenta la elasticidad, mientras que si se reduce su contenido (por lipólisis o por formulación) se obtendrá un queso más duro (Ramírez-López y Vélez-Ruiz 2012).

Otros de los factores que interfieren en la textura de los quesos son el pH (entre más cercano al punto isoeléctrico de las proteínas, más rígido será el queso), la humedad (a mayor humedad, menor dureza), el contenido de sal (a mayor nivel de salado se da una mayor sinéresis, y con esta, mayor dureza) y la maduración (relacionado con los niveles de proteólisis, lipólisis y disminución de humedad) (Ramírez-López y Vélez-Ruiz 2012).

4. Materiales y métodos

4.1. Localización del proyecto

La prueba preliminar y el proceso a escala piloto se realizaron en la planta de procesamiento piloto del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA). Los análisis sensoriales y de perfil de textura fueron llevados a cabo, respectivamente, en el laboratorio de análisis sensorial y en el laboratorio de química de la Escuela de Tecnología de Alimentos (ETA), ubicados en el Campus Universitario Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca.

Los análisis fisicoquímicos se realizaron en el laboratorio de química del CITA y en los laboratorios de análisis de la empresa; además, la prueba a escala industrial se llevó a cabo en su planta de quesos.

4.2. Materia prima

Las materias primas empleadas en la elaboración de los quesos se enlistan a continuación:

- Retenido de la ultrafiltración de leche cruda entera
- Cultivo láctico
- Cloruro de calcio en disolución
- Ácido sórbico en polvo
- Ácido láctico en disolución
- Cuajo en polvo
- Enzima coadyuvante de coagulación en polvo
- Cloruro de sodio granulado

4.2.1. Análisis de recepción de leche

La empresa, como análisis de rutina, realizó pruebas de calidad a la leche que se empleó en UF, y de esta manera aceptó únicamente las leches que cumplieran con lo descrito en el RTCR (2006) para calidad de leche. Estas pruebas se llevaron a cabo en el laboratorio de la empresa por sus colaboradores.

4.2.2. Retenidos UF para la elaboración de los quesos

La empresa realizó diversas producciones de retenido a lo largo del presente proyecto, para de esta manera cumplir con los objetivos del mismo. Los datos de las producciones se muestran en el cuadro VI bajo codificación.

Cuadro VI. Producciones de retenido de leche cruda ultrafiltrada elaborados por la empresa para las diferentes pruebas realizadas.

| Etapa del proyecto | | Codificación para el porcentaje promedio de proteína |
|-------------------------------------|--------------------------|--|
| Pruebas preliminares (variabilidad) | | P1 |
| Pruebas preliminares | Tratamiento 1 | X0 |
| | Tratamiento 2 | Y0 |
| | Tratamiento 3 | Z0 |
| Pruebas del objetivo 1 | Tratamiento A | Xp y Xp ¹ |
| | Tratamiento B | Yp y Yp ¹ |
| | Tratamiento C | Zp y Zp ¹ |
| Pruebas del objetivo 2 | Control industrial | Xi |
| | Tratamiento industrial * | Yi y Yi ¹ |

Nota: para todos los casos, los porcentajes de proteína siguen el siguiente orden de magnitud $Z > Y > X$. Los códigos con superíndice "1" son los porcentajes planteados al inicio, es decir, no fueron los que estudiaron realmente, mientras que los que no tienen superíndice son los porcentajes reales. * $Xp < Yi$ y $Yi < Zp$.

Para lograr obtener los diferentes porcentajes de proteína en la materia prima para las pruebas preliminares y definitivas a escala piloto, según los tratamientos, se realizaron diluciones con agua del retenido más concentrado. En el caso de las pruebas industriales, como se siguió el procedimiento tradicional de la empresa, se realizaron las diluciones con leche descremada.

Los retenidos de leche cruda ultrafiltrada se almacenaron en los silos de la empresa y de allí se tomaron en bolsas plásticas para su posterior transporte hacia la planta piloto del CITA en el caso de las pruebas preliminares y definitivas a escala piloto. Para las pruebas definitivas a escala industrial el retenido se envió a la planta de la empresa por medio de un sistema por tuberías.

4.2.2.1. Análisis fisicoquímicos

A los retenidos de leche empleados en la prueba preliminar de elaboración de queso se les realizó análisis de proteína y de grasa, mientras que a los retenidos empleados en el análisis de variabilidad y a los empleados en las pruebas definitivas a escala piloto se les realizó análisis fisicoquímicos de pH, contenido de humedad, de proteína, de grasa, de lactosa y de cenizas; bajo los métodos de análisis del punto 4.5.

En el caso de las pruebas definitivas a escala industrial, a la mezcla de retenido y leche empleada (como se mencionó en el punto 4.2.2.) se le analizó el contenido de grasa, de proteína y de humedad.

4.2.2.1.1. Análisis de datos

Con el software Excel del paquete Microsoft Office se calculó el promedio, la desviación estándar y el intervalo de confianza, al 95 % de confianza, para cada parámetro fisicoquímico en la prueba preliminar de evaluación de la variabilidad del retenido.

Para las pruebas definitivas a escala piloto se calculó el promedio y el intervalo de confianza, al 95 % de confianza, para cada parámetro fisicoquímico y para cada repetición. Con el software de descubrimiento estadístico JMP ® Pro 9, del instituto SAS, se realizó un análisis de covarianza al 95 % de confianza, bajo un diseño experimental de bloques completos, con el número de repetición como factor bloque. Además, se calculó el valor de la potencia de prueba ($1 - \beta$), empleando el mismo software.

4.3. Pruebas preliminares

4.3.1. Análisis de variabilidad del retenido obtenido

Se realizaron análisis fisicoquímicos al retenido procedente de la ultrafiltración de leche que se estaba obteniendo en la empresa al inicio del funcionamiento del equipo de membranas para la evaluación de su variabilidad. Los parámetros analizados son los que se presentaron anteriormente en el punto 4.2.2.1.

4.3.2. Elaboración de queso

Estas pruebas constaron en la elaboración de tres lotes de queso con 25 litros de retenido por lote, aproximadamente. El proceso de queso se elaboró en marmitas de vapor con capacidades de 113 litros y 130 litros. El objetivo de las pruebas fue evaluar la viabilidad

de elaborar quesos con incorporación de retenido a diferentes porcentajes de proteína de X0 %, Y0 % y Z0 %.

Para la elaboración de queso, tanto de las pruebas preliminares como de las pruebas definitivas a escala piloto, se siguió el flujo de proceso presentado en la figura 2. Este flujo está adaptado a la planta piloto del CITA.

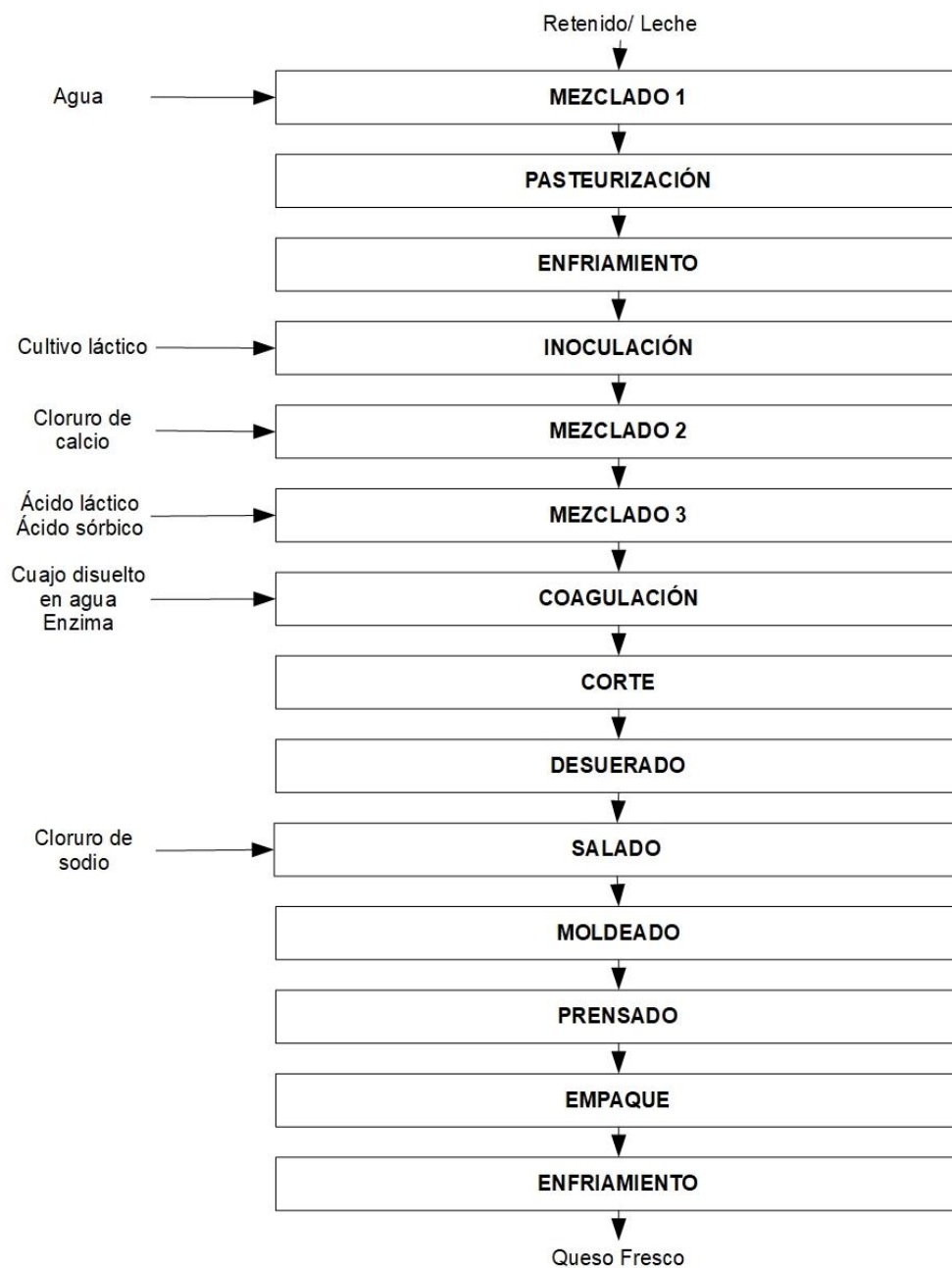


Figura 2. Diagrama de flujo seguido en la elaboración de queso fresco a escala piloto.

4.3.2.1. Análisis fisicoquímicos

A los quesos elaborados en las pruebas preliminares se les realizó análisis fisicoquímicos de humedad, contenido de sal, proteína y grasa, bajo los métodos de análisis del punto 4.5.

4.3.2.1.1. Análisis de datos

Se calculó el porcentaje de rendimiento del queso, para ello se empleó la ecuación 1:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Masa de producto terminado}}{\text{Masa de materia prima}} * 100 \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Para los parámetros fisicoquímicos analizados se calculó el porcentaje de recuperación de la Materia Prima (MP) en el queso, según la ecuación 2:

$$\% \text{ Recuperación}_x = \frac{(X_{\text{queso}}) * \text{masa queso}}{(X_{\text{MP}}) * \text{masa MP}} * 100 \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Donde “X” es el parámetro químico analizado (en porcentaje) en la MP o en el queso.

4.3.2.2. Análisis de perfil de textura (TPA)

Para evaluar las posibles diferencias de textura se realizó un TPA y se calculó la dureza, la elasticidad, la cohesividad y la masticabilidad en el queso fresco.

Los parámetros de operación fueron los siguientes: velocidad pre-ensayo, ensayo y post-ensayo de 2 mm/s, sonda cilíndrica de 5 cm, distancia de 10,0 mm de compresión (deformación del 50 %) con un tiempo entre compresiones de 5 segundos y fuerza de disparo de 5,0 g considerando las condiciones usadas en Arce-Méndez (2016) y Delgado (2010).

Se analizaron 22 muestras de queso, para cada lote, cortadas en cubos de 2 cm de lado, inmediatamente antes del análisis y a los 7 días de almacenamiento en refrigeración, considerando lo establecido por Nuath *et al.* (2000) en Nedomová *et al.* (2017). Estas se mantuvieron a temperatura de entre 18 – 20 °C durante su análisis, bajo el método de análisis descrito en el punto 4.5.

4.3.2.2.1. Análisis de datos

Con el software Excel del paquete Microsoft Office se calculó el promedio y el intervalo de confianza, al 95 % de confianza, para cada parámetro del TPA de cada tratamiento.

4.4. Definitivas

4.4.1. Pruebas definitivas a escala piloto

Posterior a las pruebas preliminares se eligieron los porcentajes de proteína de Xp^1 %, Yp^1 % y Zp^1 % en la materia prima como tratamientos a estudiar en la elaboración de los quesos. Se siguió el proceso detallado en la figura 2 para tal fin.

El primer tratamiento se eligió de referencia por ser el porcentaje aproximado que emplea la empresa en su queso tradicional, el segundo ya que es la meta de la empresa, y el tercero se planteó considerando un tratamiento que se mantuviera por debajo del 5 % (como se explicó anteriormente) y que estuviera por encima de la meta de la empresa, para de esta manera evaluar si se podría utilizar un porcentaje de proteína aún mayor y, por ende, generar aún más cantidad de permeado.

Los porcentajes elegidos cambiaron al elaborar las pruebas, según se explica más adelante en el apartado 5.2. Análisis a escala piloto, a porcentajes promedio de Xp %; Yp % y Zp %. De igual manera se mantuvo el sentido de la investigación, ya que se evaluó el porcentaje meta de la empresa, se evaluó un porcentaje de Zp % para comparar los resultados con lo expuesto en Guinee *et al.* 2006 y, Guinee y Pudja 1994, que expresan que al aumentar el contenido de proteína a más de 5 – 7 %, se pueden obtener los efectos contrarios a lo esperado (aumento de rendimiento), y se mantuvo un tratamiento intermedio para evaluar tendencia en los resultados.

Para cada uno de los tratamientos anteriores, se elaboraron tres repeticiones. El proceso de queso se elaboró en marmitas de vapor con capacidades de 113 litros y 130 litros, con 65 litros de retenido por lote.

4.4.1.1. Análisis fisicoquímicos y de textura

A los quesos elaborados en las pruebas definitivas a escala piloto, se les realizó análisis fisicoquímicos de pH, contenido de humedad, de proteína, de grasa, de lactosa, de

cenizas y de cloruro de sodio, además del porcentaje de rendimiento y la textura. Los métodos de análisis fisicoquímicos empleados se encuentran descritos en el punto 4.5.

En la prueba de TPA se analizaron 10 muestras de queso, por cada lote, cortadas en cubos de 2 cm de lado inmediatamente antes del análisis, considerando lo establecido por Santini *et al.* (2007), a los 3 días de almacenamiento (Nuath *et al.* 2000, en Nedomová *et al.* 2017). Estas se mantuvieron a temperatura de entre 18 – 20 °C durante su análisis.

4.4.1.1.1. Análisis de datos

Se calcularon los porcentajes de recuperación para todos los componentes analizados y los porcentajes de rendimiento, tal y como se mencionó en el punto 4.3.2.1.1. haciendo uso de las ecuaciones 1 y 2.

Con el software Excel del paquete Microsoft Office se calculó el promedio y el intervalo de confianza para los porcentajes de rendimiento, los parámetros químicos y los porcentajes de recuperación, asimismo para cada parámetro del TPA de cada tratamiento (con los resultados de las tres repeticiones).

Con el software de descubrimiento estadístico JMP ® Pro 9, del instituto SAS, se realizó un análisis de covarianza al 95 % de confianza, bajo un diseño experimental de bloques completos, con el número de repetición como factor bloque. Además, se empleó el mismo software para calcular el valor de la potencia de prueba ($1 - \beta$).

4.4.1.2. Análisis sensorial de diferencia

Se realizó un panel de análisis sensorial de discriminación comparando los tratamientos X_p % - Y_p % y X_p % - Z_p % para evaluar sus posibles diferencias desde la perspectiva de los consumidores. Se eligió el tratamiento de X_p % como un tratamiento de referencia al presentar el menor contenido de proteína, considerando que el objetivo es emplear la mayor cantidad de retenido de leche ultrafiltrada y por ende, la generación de la mayor cantidad de permeado, se decide dejarlo como punto de partida.

Para la realización del análisis sensorial se empleó la repetición 2 de los tres tratamientos en estudio. Lo anterior debido a que conforme se aumentan el número de pruebas realizadas, se aumenta con ellas la habilidad, experiencia y práctica en la elaboración del queso, lo que podría influir en los resultados obtenidos, por lo que analizar

sensorialmente la primera prueba (poca experiencia) y la última (más experiencia respecto a las dos primeras) podría no ser representativo de la realidad.

Se evaluaron las posibles diferencias sensoriales con una prueba tétrada, una significancia (α) de 5 %, error tipo II (β) de 10 %, $d' = 1,20$ y con 47 panelistas consumidores de queso fresco (Ishii *et al.* 2014; Rousseau 2015; Angulo y O'Mahony 2009; Ennis y Jesionka 2011).

Los panelistas que evaluaron los quesos fueron seleccionados previo al análisis con las siguientes condiciones: no haber comido, fumado, tomado bebidas alcohólicas ni estimulantes media hora antes de la realización del panel sensorial. Se les presentó un set de muestras, como se observa en la figura 3, con cubos de queso con 2,5 cm de lado, en dos diferentes pruebas tétrada.

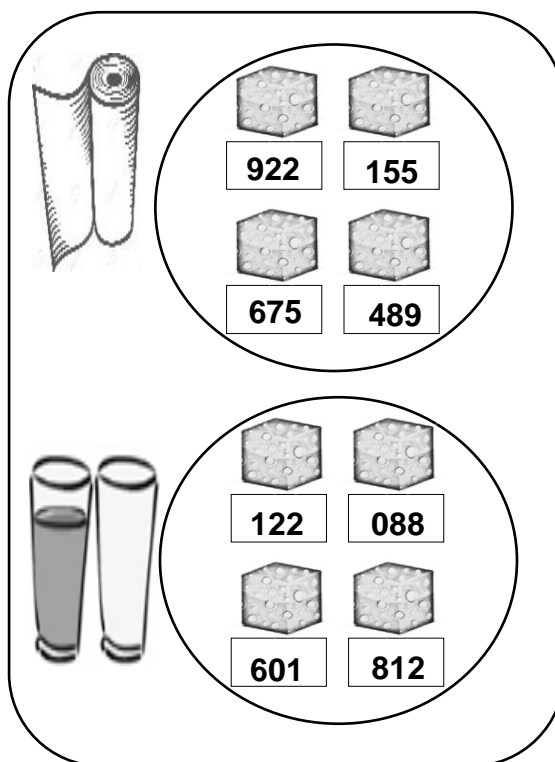


Figura 3. Ejemplo de la bandeja que fue entregada en el panel sensorial de diferencia.

A los panelistas se les brindó dos muestras del tratamiento de Xp % de proteína (A) y dos muestras de alguno de los tratamientos restantes para cada una de las pruebas (B). Estas muestras fueron codificadas cada una con tres dígitos elegidos al azar, balanceadas

según sus 6 posibles órdenes de presentación (BBAA, AABB, ABAB, BABA, ABBA, BAAB; donde B es el tratamiento de Yp % de proteína en una de las pruebas y de Zp % de proteína en la otra) y su presentación fue aleatorizada.

En el panel se les solicitó a los panelistas que agruparan en dos grupos de dos muestras cada uno, según la similitud de las mismas haciendo uso del software Fizz 2.0 Biosystems, y se les dio la instrucción de enjuagarse con agua entre cada muestra y expectorar en un vaso vacío el enjuague.

4.4.1.2.1. Análisis de datos

Para conocer si la diferencia es o no significativa se emplearon las tablas propuestas por Bi y O'Mahony (2013), en donde se presenta que en una prueba tétrada no direccionada con 47 panelistas, el número mínimo de juicios correctos es de 22 (a un 95 % de confianza) para que la diferencia sea significativa.

Se calculó la proporción de aciertos del análisis para cada prueba tétrada, es decir, la proporción entre los aciertos y el total de juicios. Posterior a esto, haciendo uso de las tablas de Ennis (2013) se obtuvo la d' (d prima) relacionada con el análisis. Por último, con el dato de la d' se calculó la probabilidad exacta de encontrar diferencias haciendo uso de las tablas de Roessler *et al.* (1978) para un análisis de una cola con probabilidad de respuesta al azar de $p = 1/3$.

4.4.1.3. Análisis sensorial de agrado

El panel se realizó con 112 consumidores de queso fresco no entrenados (Hough *et al.* 2006), utilizando una escala hedónica híbrida de 10 cm que permite determinar desde el máximo nivel de gusto hasta el máximo nivel de disgusto, lo que facilita al panelista la localización de un punto de indiferencia (Lawless y Heymann 2010). La escala fue proyectada en un monitor empleando el software Fizz y de esta manera la calificación de cada juez quedó documentada en este programa.

A los panelistas se les presentó una bandeja como la que se observa en la figura 4, donde cada una de las muestras de queso representan los tratamientos que se analizaron. Las muestras fueron codificadas con tres dígitos elegidos al azar cada una; estas muestras fueron balanceadas según sus seis posibles órdenes de presentación y su presentación en la bandeja se aleatorizó. En el panel se les solicitó a los consumidores que definieran el

nivel de agrado general por los productos, mediante el marcaje sobre la escala proyectada en el monitor.

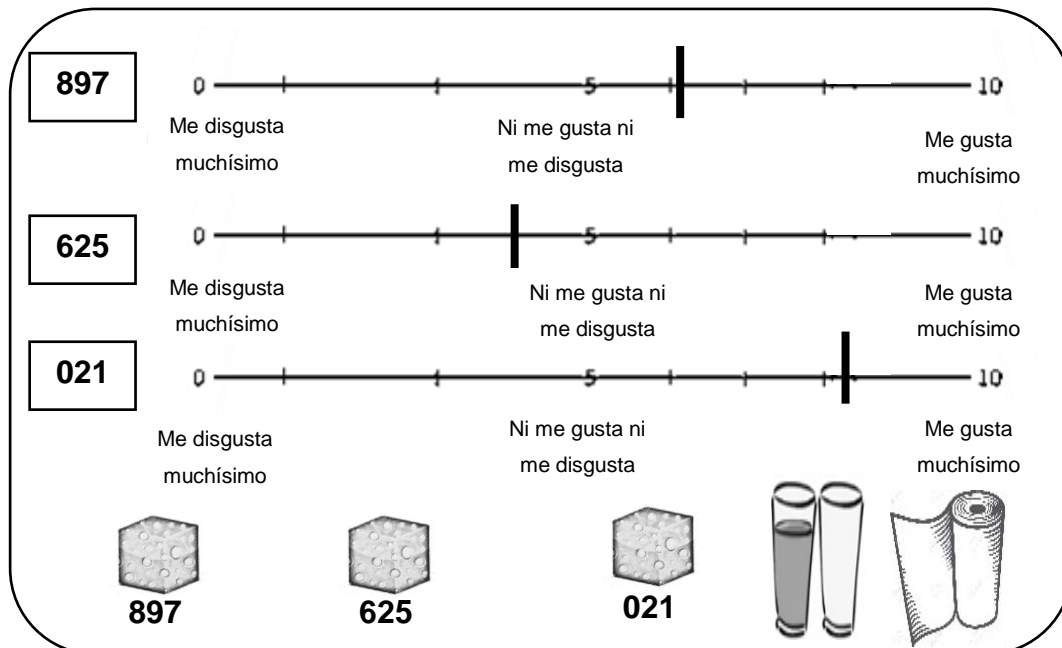


Figura 4. Ejemplo de bandeja que se presentó en el panel de agrado general y escala a proyectar.

4.4.1.3.1. Análisis de datos

Se definió un diseño experimental irrestricto aleatorio. Cada marca realizada en la escala por cada panelista se transformó al valor de agrado general utilizando el programa Fizz. Con estos datos se realizó un ANDEVA para evaluar si existían diferencias significativas entre el nivel de agrado de los quesos elaborados, al 95 % de confianza.

4.4.2. Pruebas definitivas a escala industrial

Posterior a las pruebas a escala piloto, y su análisis, se eligió un porcentaje intermedio entre los tratamientos extremos analizados en escala piloto, en este caso el porcentaje Y_1 % de proteína en la materia prima para la elaboración de queso como tratamiento a estudiar a escala industrial. Esto debido a que no se obtuvieron diferencias significativas en los tratamientos evaluados a escala piloto y se decidió analizar en escala industrial un porcentaje que no representara un riesgo.

La materia prima que se empleó para el queso control (tradicional de la empresa) contenía un porcentaje de proteína más bajo, respecto a la prueba tratamiento.

Se siguió el flujo de proceso proporcionado por la empresa, por ende se mantiene bajo confidencialidad.

4.4.2.1. Análisis fisicoquímico y de textura

A los quesos elaborados (tratamiento y control) se les analizó su contenido de proteína, de grasa y de humedad, además del porcentaje de rendimiento y la textura. Los métodos de análisis fisicoquímicos empleados se encuentran descritos en el punto 4.5.

En la prueba de TPA se analizaron 10 muestras de queso (tanto para el control como para el tratamiento), cortadas en cubos de 2 cm de lado inmediatamente antes del análisis, considerando lo establecido por Santini *et al.* (2007), a los 3 días de almacenamiento (Nuath *et al.* 2000, en Nedomová *et al.* 2017). Estas se mantuvieron a temperatura de entre 18 – 20 °C durante su análisis.

4.4.2.1.1. Análisis de datos

Se calcularon los porcentajes de recuperación para todos los componentes analizados y los porcentajes de rendimiento, tal y como se mencionó en el punto 4.3.2.1.1. haciendo uso de las ecuaciones 1 y 2.

Además, con el software Excel del paquete Microsoft Office se calculó el promedio y el intervalo de confianza para cada parámetro del TPA de cada tratamiento.

4.5. Métodos de Análisis

4.5.1. Análisis de leche cruda y retenido

Estos análisis se llevaron a cabo en el laboratorio de la empresa.

- Grasa, proteína, lactosa y humedad: estos análisis se realizaron en el equipo MilkoScan marca Foss, con referencia al método AOAC número 972.16 (AOAC, 2005).
- Cenizas: la determinación se realizó por el método tradicional por mufla, con referencia al método AOAC 935.42 (AOAC, 2005).

- pH: se realizó utilizando un pH-metro con referencia al manual 8.827.1005 de Metrohm (s.f.).

4.5.2. Análisis de los quesos elaborados

El análisis de textura se llevó a cabo en los laboratorios de la ETA y los demás análisis se realizaron en el laboratorio de la empresa.

- Cenizas: la determinación se realizó por el método tradicional por mufla, con referencia al método AOAC 935.42 (AOAC 2005).
- Proteína total: se determinó según el método de Kjeldahl, basado en el método AOAC 920.123 (AOAC 2005).
- Grasa: se analizó por el método de Babcock, con referencia al método APHA 15.083 (APHA 2004a).
- Humedad: se analizó en horno de microondas, con referencia al método APHA 15.115 (APHA 2004b).
- NaCl: se determinó por valoración potenciométrica, con referencia al método AOAC 975.20 (AOAC 2005).
- pH: se realizó utilizando un pH-metro siguiendo el procedimiento código 3-06-05-05-016, con referencia al manual 8.827.1005 de Metrohm (s.f.).
- Lactosa: se determinó por método enzimático, bioanálisis de R-Biopharm.
- Textura: se realizó un TPA en el texturómetro TA.XTPlus de Stable Micro Systems acoplado con el software Exponent versión 6.1.15.0., según las condiciones de Arce-Méndez (2016), Delgado (2010), Santini *et al.* (2007) y Nuath *et al.* (2000) en Nedomová *et al.* 2017.

5. Resultados y análisis

5.1. Pruebas preliminares

Se realizó un estudio para la evaluación de la variabilidad de la composición fisicoquímica del retenido de leche cruda obtenido al establecer las condiciones de trabajo del equipo ultrafiltrador, configurando un porcentaje definido en el equipo. Los datos de la caracterización se muestran en el cuadro VII.

Cuadro VII. Caracterización fisicoquímica del retenido de leche cruda ultrafiltrada para la evaluación de su variabilidad.

| Parámetro | Promedio* | Desviación estándar |
|--|---------------|---------------------|
| Proteína (%) | P1 ± 0,01 | 0,03 |
| Grasa (%) | 5,20 ± 0,04 | 0,11 |
| Lactosa (%) | 4,62 ± 0,02 | 0,04 |
| Humedad (%) | 85,17 ± 0,06 | 0,14 |
| Cenizas (%) | 0,764 ± 0,008 | 0,021 |
| pH | 6,70 ± 0,08 | 0,20 |
| Proporción proteína/grasa (PPG) ¹ | RP ± 0,007 | 0,017 |

Nota: n = 24; * $\alpha = 0,05$. P1 es la codificación para el porcentaje de proteína. ¹Dato confidencial; RP es la codificación para la PPG.

Como se puede observar, en las ocasiones donde se configuró el equipo para obtener un retenido con concentración final de proteína del P1 %, ésta concentración resultó ser muy cercana a este dato con una dispersión entre las repeticiones de 0,03 % y un intervalo de confianza de tan sólo 0,01 %.

Esta variación entre los datos resulta en su segundo decimal, por lo que demuestra que la variabilidad propia del equipo no afecta de manera importante el resultado. Esto representa la muy estrecha relación que existe entre lo que se configura en el equipo de ultrafiltración y lo que se obtiene como retenido al finalizar la operación.

Para los demás componentes de la caracterización fisicoquímica, se nota una mayor dispersión entre los datos respecto a la concentración de proteína. En este caso, este comportamiento se explica por la diferente composición de la leche cruda que se empleó en cada una de las producciones de ultrafiltración realizadas.

Cuando se realiza el proceso de ultrafiltración de la leche cruda, el dato que se ingresa al sistema del equipo se conoce como Factor de Concentración (CF por sus siglas

en inglés), este dato es la relación entre el contenido de proteína que se quiere obtener en el retenido y el contenido de proteína de la leche cruda que se va a ultrafiltrar, es decir, considera únicamente el contenido de proteína, mas no los demás componentes. Es por esta razón que la variabilidad propia de la leche cruda interfiere en la dispersión entre los resultados de la caracterización, eximiendo al contenido de proteína.

Como se mencionó anteriormente, en muchas ocasiones las propiedades del queso están en función de la PPG en la materia prima que se emplea, por lo que el efecto que se pueda tener en los quesos, con ésta variación de grasa, se mantendría regulada. Esto se sustenta con observar el intervalo de confianza, que resultó en un $\pm 0,007$ %, con un 95 % de confianza.

Posterior al estudio del comportamiento del retenido (respecto a su composición fisicoquímica, realizando observaciones en dos meses diferentes) se puede observar que se mantiene casi invariable a lo largo del tiempo del análisis. Es por esta razón que se interpreta que es probable que al elaborar queso empleando retenido como materia prima, resulte en la obtención de un producto muy similar a lo largo del tiempo, es decir, se esperaría que el producto final mantuviera el mismo perfil (si se mantiene controlado el proceso).

Además de estudiar su variabilidad, se evaluó la aptitud del retenido de leche para la elaboración de queso fresco, realizando 3 pruebas preliminares empleando 3 diferentes porcentajes de proteína en el retenido, siguiendo el proceso tradicional de la empresa adaptado a escala piloto. Asimismo, se evaluaron las características de los quesos resultantes para analizar si presenta similitudes respecto al queso tradicional de la empresa, es decir, determinar si la diferencia respecto al queso fresco control es difícilmente perceptible o, en su defecto, fácilmente detectable. Los resultados de las pruebas se muestran en los cuadros VIII, IX y X.

Es importante considerar que estos resultados no son concluyentes, debido a que sólo se realizó una repetición y puede no ser representativa al verdadero efecto de la concentración de proteína en la materia prima.

Cuadro VIII. Análisis fisicoquímicos de la materia prima y de los quesos elaborados en las pruebas preliminares.

| Tratamiento | Retenido | | | Queso | | | |
|-------------|--------------|-----------|-----------------------------|-------------|---------|----------------|-----------|
| | Proteína (%) | Grasa (%) | Proporción proteína/grasa * | Humedad (%) | Sal (%) | Proteína (%)** | Grasa (%) |
| 1 | X0 | 5,05 | R1 | 56,49 | 1,55 | 17,92 | 21,24 |
| 2 | Y0 | 5,28 | R2 | 59,73 | 1,82 | 15,98 | 18,44 |
| 3 | Z0 | 5,58 | R3 | 59,16 | 1,80 | 15,75 | 19,31 |

Nota: Los análisis fisicoquímicos se realizaron en quesos con 10 días de almacenamiento. * Datos confidenciales, considerar: R1 = R3 y R2 < R1.

Cuadro IX. Rendimiento y recuperación de componentes en los quesos elaborados en las pruebas preliminares.

| Tratamiento | Rendimiento (%) | Recuperación de sal (%) | Recuperación de proteína (%) | Recuperación de grasa (%) |
|-------------|-----------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------|
| 1 | 20,20 | 75,20 | N1 | 84,96 |
| 2 | 22,90 | 76,36 | N2 | 79,98 |
| 3 | 26,00 | 71,29 | N3 | 89,97 |

Nota: * Datos confidenciales.

Cuadro X. Análisis de perfil de textura (TPA) en el texturómetro TA.XTPlus empleando una sonda cilíndrica de 5 cm.

| Tratamiento | Dureza (N) | Elasticidad (m) | Cohesividad | Masticabilidad (N.m) |
|-------------|------------|-----------------|-------------|----------------------|
| 1 | 22,48 | 0,00875 | 0,540 | 0,107 |
| 2 | 21,48 | 0,00890 | 0,526 | 0,101 |
| 3 | 15,34 | 0,00885 | 0,519 | 0,071 |

Nota: n = 22 para cada tratamiento.

Los porcentajes de proteína de los tratamientos se definieron de la siguiente manera: X0 % es, aproximadamente, el porcentaje de proteína con el que la empresa elabora su queso actualmente; Z0 % se planteó en relación con lo que establecen Guinee *et al.* (1994) acerca de la elaboración de quesos con más de 5 % de proteína en la materia prima, como ya se mencionó anteriormente; y el tratamiento de Y0 % se definió al ser la meta de la empresa y procurando un porcentaje intermedio entre los tratamientos restantes para evaluar si existía alguna tendencia.

Para la elaboración de estas pruebas, se empleó el retenido de Z0 % de proteína para la obtención de los otros tratamientos al variar su contenido de proteína, tal y como se mencionó en el apartado 4. Materiales y métodos. Debido a que la variación de proteína se obtuvo por el efecto de dilución, es decir, todos sus componentes fueron diluidos con la misma magnitud, la proporción proteína/grasa es prácticamente la misma.

Como se puede observar en el cuadro VIII, los dos tratamientos con concentración más alta resultaron en un queso similar en composición, a diferencia de estos respecto al tratamiento 1. Se observa que el contenido de humedad y el contenido de sal resultaron menores en el tratamiento de X0 %, mientras que el contenido de proteína y de grasa presentaron un comportamiento contrario.

En el cuadro IX se muestran los datos de recuperación de componentes y de rendimiento. Se observa que, de manera exploratoria, se aumenta el rendimiento del proceso conforme se aumenta el porcentaje de proteína de la materia prima, variando desde el 20 al 26 %, considerando que puede no ser un aumento significativo. En los demás resultados se observan pequeñas diferencias entre ellos, aunque no muestran una tendencia clara.

Los resultados del análisis de textura instrumental se muestran en el cuadro X. Al igual que en el caso de los cuadros anteriores referentes al queso preliminar, no se observan tendencias en ninguno de los parámetros analizados en el TPA.

Aunque se obtienen resultados aparentemente diferentes entre los tratamientos, no es posible observar tendencias claras en los análisis proximales y de textura, por lo que se presume que con diferencias pequeñas en el porcentaje de proteína de la materia prima si es posible obtener cambios importantes en el producto final.

Lo anterior sucedería siempre y cuando se aumenten, tanto las repeticiones del estudio, como la diferencia del porcentaje de proteína de los tratamientos, es decir, evaluar porcentajes de proteína con mayor diferencia entre ellos. Esto ligado a los resultados obtenidos por Guinee *et al.* (2006), Guinee *et al.* (1994), Kosikowski *et al.* (1985), Lelievre y Lawrence (1988) y Verdier-Metz *et al.* (2001) en donde se obtuvieron aumento de los rendimientos de los diferentes procesos, pero evaluando diferencias mayores entre la concentración de proteína en la materia prima.

5.2. Análisis a escala piloto

Como parte de los resultados obtenidos en las pruebas preliminares se obtuvo que es posible elaborar un queso fresco empleando retenido de leche ultrafiltrada con porcentajes de proteína entre X0 % y Z0 %. Además, se pudo apreciar que el queso resultante es muy similar al queso tradicional de la empresa (diferencia difícilmente perceptible).

Considerando los resultados preliminares y la revisión bibliográfica realizada, se plantea la evaluación de los siguientes porcentajes de proteína en la materia prima: Xp %; Yp % y Zp %, para los tratamientos A, B y C respectivamente.

Se esperaba que la concentración de los diferentes lotes de retenido facilitados presentaran una concentración muy similar, basados en el estudio de variabilidad fisicoquímica del retenido que se mostró en el cuadro VII. Al contrario, los porcentajes de proteína que se plantearon para la realización de las pruebas variaron debido a que el retenido concentrado que la empresa facilitaba, de ZP¹ %, resultó de concentraciones muy variables, en algunos casos más concentrado y en otros, al contrario, más diluido a lo esperado. Al hacer las diluciones, para la generación de los tratamientos de menor concentración, no se lograron obtener los porcentajes planteados al inicio.

Debido a que, al variar los tratamientos, variaba con ellos también la concentración de proteína entre las repeticiones de los mismos, se realizó un análisis de covarianza para evaluar si existían diferencias significativas entre la caracterización de los retenidos. Los resultados se muestran a continuación, en el cuadro XI.

Cuadro XI. Caracterización fisicoquímica promedio de los retenidos pasteurizados de leche cruda ultrafiltrada empleados en la elaboración de queso para cada tratamiento.

| Tratamiento | Proteína (%) ² | Grasa (%) | Humedad (%) | Lactosa (%) | Sólidos Totales (%) | Cenizas (%) | pH |
|-------------|---------------------------|-----------|-------------|-------------|---------------------|-------------|-------------|
| A | Xp ± 0,1 | 4,9 ± 0,3 | 86 ± 1 | 3,78* | 14 ± 1 | 0,67 ± 0,05 | 6,78 ± 0,03 |
| B | Yp ± 0,3 | 5,1 ± 0,3 | 85 ± 1 | 4,06 ± 0,05 | 15 ± 1 | 0,74 ± 0,03 | 6,78 ± 0,04 |

Cuadro XI. Caracterización fisicoquímica promedio de los retenidos pasteurizados de leche cruda ultrafiltrada empleados en la elaboración de queso para cada tratamiento (Continuación).

| Tratamiento | Proteína (%) | Grasa (%) | Humedad (%) | Lactosa (%) | Sólidos Totales (%) | Cenizas (%) | pH |
|-------------------------------|---------------|---------------|----------------|-----------------|---------------------|-----------------|-----------------|
| C | $Z_p \pm 0,2$ | $5,8 \pm 0,4$ | $83,5 \pm 0,9$ | $4,47 \pm 0,07$ | $16,5 \pm 0,9$ | $0,83 \pm 0,03$ | $6,75 \pm 0,04$ |
| Probabilidad (p) ¹ | | 0,2215 | 0,0966 | 0,1439 | 0,0966 | 0,1514 | 0,1586 |
| Potencia (%) | | 91 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Nota: Cada parámetro es el promedio de tres repeticiones. ¹Una $p > 0,05$ indica que no existe diferencia significativa entre los datos de una misma columna, al 95 % de confianza. *Las tres repeticiones son iguales, por ende no existe un intervalo de confianza asociado. ²No se tiene una potencia ni una probabilidad asociada ya que se realizó un análisis de covarianza.

Como se mencionó anteriormente, los porcentajes de proteína planteados inicialmente pasaron a ser de X_p %, Y_p % y de Z_p % en promedio. Al aumentar la magnitud de los porcentajes a evaluar, se logra la generación de una mayor cantidad de permeado, además, se podrían extender recomendaciones más ambiciosas en el uso de retenido.

Tal y como se aprecia en el cuadro XI, no se obtuvieron diferencias significativas entre la composición de las materias primas para la elaboración de queso. Esto sucedió debido a que dentro de un mismo tratamiento, sus 3 repeticiones eran muy variables en composición como consecuencia de la variación propia del retenido concentrado (retenido inicial). Esto resultó en el traslape de los tratamientos que se plantearon, obteniéndose un tratamiento macro que varía desde $(X_p - 0,1)$ % hasta $(Z_p + 0,2)$ % de proteína.

Las variaciones en el retenido concentrado, para todas las repeticiones, se debe principalmente al diseño del silo en cuanto a la agitación. En la figura 5 se muestra un diagrama general de un silo de almacenamiento de leche, se nota que el sistema de agitación se encuentra en la base del silo (punto A), lo que favorece la homogeneización.

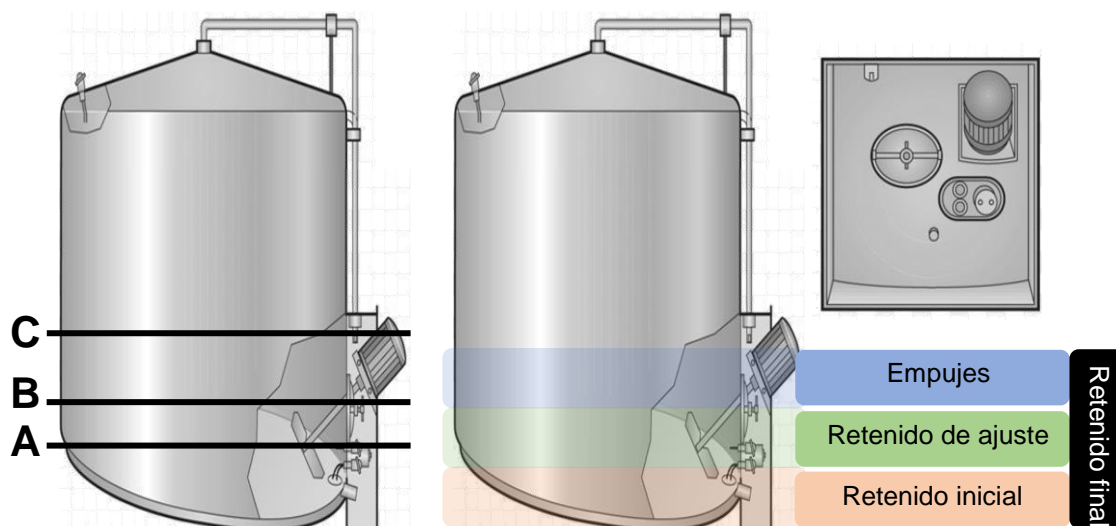


Figura 5. Diagrama de un silo para el almacenamiento de leche.

En el caso del silo de la empresa, el sistema de agitación se encuentra en el punto C, por arriba del punto de toma de muestras (punto B). La cantidad de retenido que se requirió para las pruebas a nivel piloto no alcanzaba el nivel del agitador del silo, por lo que el retenido que se empacaba en las diferentes bolsas para el envío a planta (en las 3 diferentes producciones de retenido) tenían diferente composición fisicoquímica, lo que repercutió directamente en los tratamientos.

Si al verificar inicialmente la concentración del retenido en el silo se obtiene un valor de proteína diferente al que se configuró en el equipo, el operador del ultrafiltrador toma la decisión de variar el CF de manera que el nuevo retenido que se obtenga regule la concentración del retenido inicial cuando se mezcle con este en el silo (ver figura 6). Al no existir un proceso de agitación eficaz, se obtiene dentro del mismo silo secciones con diferente concentración, sumado a esto la presencia de empujes con agua al final del proceso, que se puede integrar al silo, causando la dilución del retenido final que se obtenga (ver figura 5).

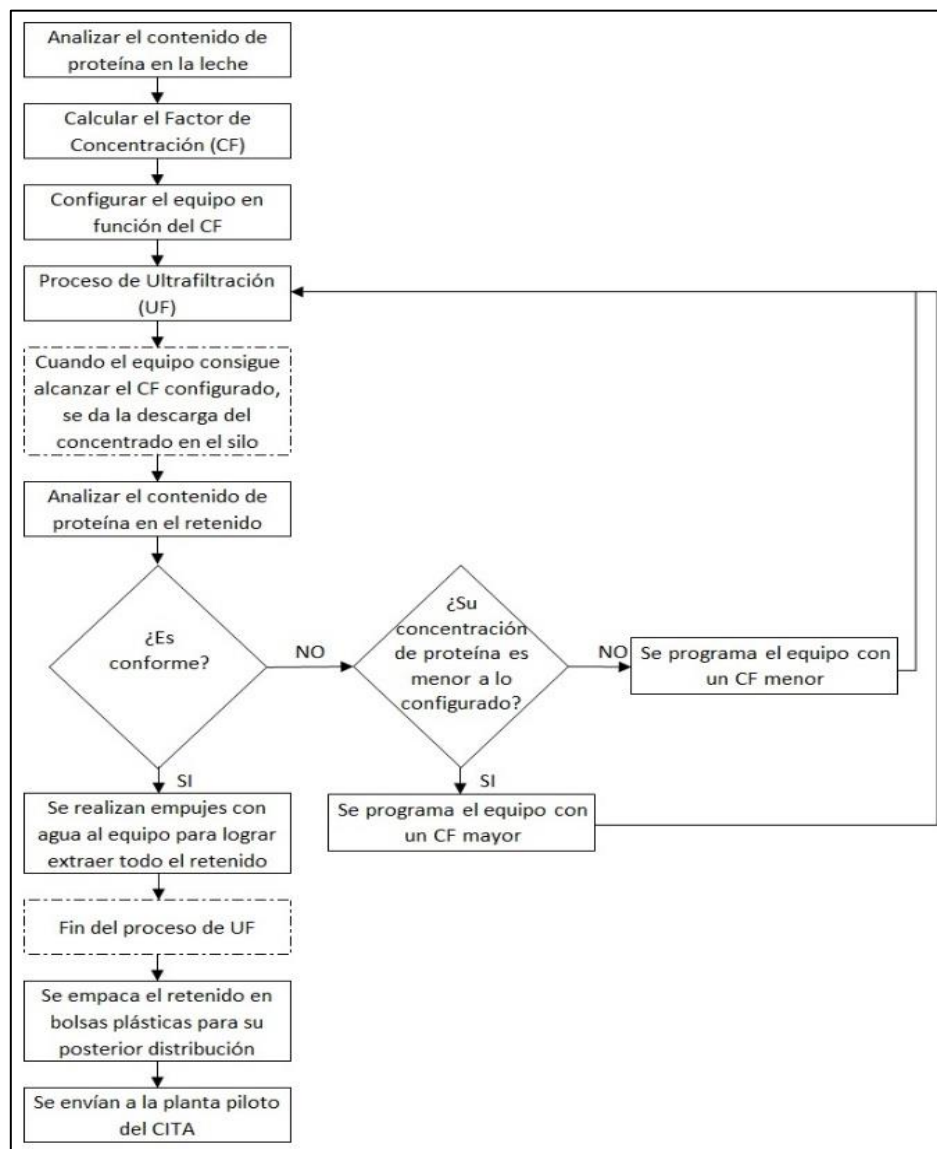


Figura 6. Flujo de proceso y decisión para la obtención de retenido de leche.

Es por lo anterior que no se obtuvieron diferencias significativas entre la composición fisicoquímica de los retenidos empleados en la elaboración de queso, lo que queda evidenciado en la probabilidad asociada y el valor de la potencia de prueba, que demuestra que el error tipo II es cero en todos los casos, a excepción de la grasa.

Los resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica y el rendimiento en los quesos que se elaboraron con estos retenidos se muestran a continuación.

Cuadro XII. Caracterización fisicoquímica promedio de los quesos obtenidos a escala piloto.

| Tratamiento | Proteína (%) | Grasa (%) | Humedad (%) | Lactosa (%) | Cenizas (%) | pH | Sal (%) |
|-------------------------------|--------------|------------|-------------|-------------|-------------|-----------|-----------|
| A | 17 ± 2 | 21,3 ± 0,7 | 56 ± 1 | 1 ± 1 | 2,5 ± 0,1 | 6,2 ± 0,2 | 1,1 ± 0,2 |
| B | 17 ± 1 | 21,8 ± 0,6 | 56,3 ± 0,4 | 1,2 ± 0,8 | 2,7 ± 0,1 | 6,2 ± 0,2 | 1,0 ± 0,2 |
| C | 17 ± 1 | 21 ± 2 | 57 ± 2 | 1,2 ± 0,7 | 2,77 ± 0,05 | 6,2 ± 0,2 | 1,2 ± 0,4 |
| Probabilidad (p) ¹ | 0,7182 | 0,3541 | 0,7131 | 0,9148 | 0,8649 | 0,8936 | 0,8426 |
| Potencia (%) | 42 | 100 | 100 | 40 | 99 | 100 | 77 |

Nota: Cada parámetro es el promedio de tres repeticiones. ¹Una p > 0,05 indica que no existe diferencia significativa entre los datos de una misma columna, al 95 % de confianza.

Cuadro XIII. Rendimiento de los quesos obtenido a escala piloto y porcentajes de recuperación.

| Tratamiento | Rendimiento (%) | Recuperación (%) | | | | |
|-------------------------------|-----------------|-----------------------|------------|---------|---------|---------|
| | | Proteína ² | Grasa | Humedad | Lactosa | Sal |
| A | 20 ± 1 | R4 ± 2 | 91,1 ± 0,3 | 13 ± 1 | 5 ± 2 | 46 ± 4 |
| B | 22 ± 2 | R5 ± 8 | 82 ± 6 | 13 ± 1 | 8 ± 6 | 45 ± 13 |
| C | 24 ± 4 | R6 ± 2 | 92 ± 11 | 17 ± 2 | 8 ± 5 | 56 ± 20 |
| Probabilidad (p) ¹ | 0,988 | 0,1817 | 0,2850 | 0,0436* | 0,4311 | 0,6715 |
| Potencia (%) | 31 | 17 | 9 | 100 | 6 | 5 |

Nota: Cada parámetro es el promedio de tres repeticiones. ¹Una p > 0,05 indica que no existe diferencia significativa entre los datos de una misma columna, al 95 % de confianza. * Aunque la probabilidad es menor a 0,05 está muy cerca del valor de significancia, por lo que la comparación de medias permite observar que realmente no existen diferencias significativas entre los datos. ²Datos confidenciales, considerar: R4 = R6 y R5 < R4.

Como se puede observar en el cuadro XII, no se tuvo diferencia significativa entre la composición fisicoquímica de los quesos. Pero si se observa la potencia de prueba para la mayoría de variables, esta sugiere que se podría estar aceptando la hipótesis nula cuando la hipótesis alternativa es verdadera, es decir, se podría estar tomando como composiciones y características iguales cuando realmente puede que exista diferencia entre ellas que se podría encontrar si se mejora la potencia de prueba.

Para mejorar esta potencia, es decir, disminuir el error tipo II del análisis, la manera más práctica es aumentar las repeticiones del análisis, en este caso si en realidad existe una diferencia entre las composiciones, la probabilidad de hallarla aumentaría. Esto porque el error aleatorio disminuiría y por ende, aumentaría la fiabilidad y precisión de los resultados, es decir, los resultados serían más representativos de la realidad (Bono y Arnau 1995). Además de esto, se debería controlar mejor el contenido de proteína en los tratamientos (reducir su variabilidad) para observar la diferencia en caso que exista.

Se esperaba que al aumentar el contenido de proteína en la materia prima, se disminuyera el contenido de humedad en el queso resultante, posiblemente por el aumento en la relación de la caseína con las sales solubles de calcio, lo que favorecería una agregación más rápida de las micelas de para-caseína y formación de una red más fuerte y gruesa, que sería más propensa al desgarre durante el corte, y por ende, en la sinéresis (Guinee *et al.* 2006; Guinee y Pudja 1994), pero no se observó esta tendencia en los resultados.

Debido a que se forma una red más gruesa y de manera más rápida, era esperable que la recuperación de proteína aumentara, asimismo, la recuperación de grasa. Al retenerse mayor cantidad de glóbulos de grasa, estos bloquean la salida de suero y se pueden retener mayormente las seroproteínas (Guinee *et al.* 2007). Debido al aumento de retención de componentes, y los resultados obtenidos en Guinee *et al.* (2006) y Verdier-Metz *et al.* (2001) se esperaba que el rendimiento del proceso (kg de queso/100 L de retenido) aumentara conforme se aumentaba el contenido de proteína en la materia prima.

Como se puede observar en el cuadro XIII, se nota la tendencia que conforme se aumenta el contenido de proteína en la materia prima, se aumenta con este el rendimiento del queso, pero debido a la variabilidad entre las repeticiones, que se evidencia en los intervalos de confianza asociados al porcentaje de rendimiento, no se obtuvieron diferencias significativas.

Para evaluar el efecto en la textura de los quesos se realizó un análisis de perfil de textura, los resultados obtenidos en el análisis se muestran a continuación.

Cuadro XIV. Análisis de Perfil de Textura (TPA) de los quesos elaborados a escala piloto.

| Tratamiento | Dureza (N) | Elasticidad (cm) | Cohesividad | Masticabilidad (N.cm) |
|-------------------------------|------------|------------------|-------------|-----------------------|
| A | 30 ± 2 | 0,868 ± 0,008 | 0,68 ± 0,03 | 17,9 ± 0,3 |
| B | 28 ± 3 | 0,893 ± 0,008 | 0,69 ± 0,04 | 17 ± 1 |
| C | 30 ± 7 | 0,88 ± 0,02 | 0,64 ± 0,02 | 17 ± 4 |
| Probabilidad (p) ¹ | 0,6689 | 0,2713 | 0,0519 | 0,9442 |
| Potencia (%) | 100 | 100 | 100 | 42 |

Nota: Cada parámetro es el promedio de diez mediciones por repetición de cada tratamiento. ¹Una $p > 0,05$ indica que no existe diferencia significativa entre los datos de una misma columna, al 95 % de confianza.

Para el TPA tampoco se obtuvieron diferencias significativas tras el análisis de covarianza. Esto puede deberse a la variación del retenido inicial, que amplía la dispersión entre los datos, o a que efectivamente no hay diferencia, aunque se aumenten las repeticiones. En este caso el erro tipo II es nulo, por lo que de manera exploratoria se podría decir que no existe diferencia.

Lo esperable era que no se obtuvieran diferencias significativas, para validar, desde las propiedades texturales, la modificación en la formulación del queso. En caso de no haber diferencia podría ser beneficioso, ya que supondría que estas no se identificarían por los consumidores. Estos datos no son concluyentes debido a que no existieron tratamientos como tales, si no, tal y como se mencionó anteriormente, se traslaparon en un solo tratamiento macro.

Además de los análisis fisicoquímicos y de textura, se realizaron análisis sensoriales con consumidores de discriminación y de agrado general. Los resultados se muestran en los cuadros XV y XVI.

Cuadro XV. Análisis sensorial de discriminación por medio de prueba tétrada.

| Comparación | Jueces | Aciertos mínimos para que haya diferencia | Aciertos | Proporción de aciertos | d prima | Probabilidad exacta ¹ |
|-------------|--------|---|----------|------------------------|---------|----------------------------------|
| Xp vs. Yp * | 47 | 22 | 15 | 0,32 | 0,00 | 0,64 |
| Xp vs. Zp * | 47 | 22 | 16 | 0,34 | 0,20 | 0,51 |

Nota: * Los valores indican los porcentajes de proteína en el retenido, en la segunda repetición de los tres tratamientos. ¹Una $p > 0,05$ indica que no existe diferencia significativa entre los datos de una misma columna, al 95 % de confianza.

Cuadro XVI. Análisis sensorial de agrado general para las muestras de queso fresco.

| Tratamiento | Nivel de agrado general |
|-------------------------------|-------------------------|
| A | 8,2 ± 0,3 |
| B | 8,3 ± 0,3 |
| C | 8,3 ± 0,3 |
| Probabilidad (p) ¹ | 0,8719 |
| Potencia (%) | 100 |

Nota: Cada parámetro es el promedio de 112 evaluaciones de cada tratamiento. ¹Una $p > 0,05$ indica que no existe diferencia significativa entre los datos de una misma columna, al 95 % de confianza.

En el cuadro XV se puede observar que al realizar la distribución binomial para las pruebas tétradas que se realizaron, el número de aciertos obtenidos en el panel, fue menor que el número de aciertos mínimos requeridos para que hubiera una diferencia significativa, con una significancia del 5 %. Esto se puede corroborar también al observar que las probabilidades de cometer un error para estas pruebas (probabilidades exactas) son mayores a 0,05.

Como los tratamientos aumentaron en su porcentaje de proteína, no se evaluó directamente el control debido a la variabilidad que se tuvo en los retenidos. Este control correspondía al porcentaje menor que se planteó al inicio del proyecto, por esta razón no se tiene certeza si se tendría un agrado diferente significativamente respecto al control.

Otro aspecto que evidencia que no existe diferencia entre los tratamientos es el valor de d' , que precisamente es un indicativo del grado de diferencia percibido entre las dos muestras, concebido como la distancia entre las medias de los dos tratamientos, que para

la primera prueba la diferencia es de 0,00 y para la segunda es de 0,20 que aún no es tal para considerarse como significativa (O'Mahony & Rousseau, 2002).

En el cuadro XVI se muestran los resultados del análisis de agrado general realizado sobre los quesos elaborados a escala piloto. Como se observa, se obtuvo en promedio un nivel de agrado de 8, en una escala de 0 - 10, el cual no resultó diferente de manera significativa entre los 3 tratamientos. Lo anterior, junto con los análisis de textura, sugerirían que al usar retenido de la ultrafiltración de leche en la elaboración de queso no se verían afectadas significativamente sus características sensoriales entre los tratamientos evaluados, pero al no haber evaluado el queso control, no se tiene certeza que los consumidores estén dispuestos a reemplazar el queso fresco al que están acostumbrados, por los quesos evaluados.

De manera exploratoria, todos los tratamientos se podrían sugerir para la elaboración de queso a escala industrial, según los resultados obtenidos, aunque estos datos no son concluyentes y más bien son de carácter exploratorio. En general, se tiene un solo tratamiento promedio de entre $(X_p - 0,1) \%$ hasta $(Z_p + 0,2) \%$ de proteína en el retenido empleado, por ende, es posible emplear cualquiera de los porcentajes entre este rango. En este caso, para evaluar su comportamiento a escala industrial se elige un porcentaje de proteína de $Y_i \%$, intermedio entre los tratamientos extremos.

5.3. Análisis a escala industrial

Con el porcentaje que se definió en las pruebas a escala piloto, se realizó una prueba industrial en la planta de quesos de la empresa, para observar el comportamiento del queso resultante, desde su caracterización fisicoquímica, rendimiento y textura, respecto al queso tradicional de la empresa (control industrial) y evaluar si son aplicables recomendaciones de proceso. Los resultados obtenidos se muestran a continuación en los cuadros XVII, XVIII y XIX.

Cuadro XVII. Caracterización fisicoquímica de los retenidos empleados en la prueba industrial y en el tratamiento control.

| Tratamiento | Proteína (%) | Grasa (%) | Humedad (%) | PPG ¹ |
|------------------------|--------------|-----------|-------------|------------------|
| Control industrial | X_i | 4,72 | 85,64 | R7 |
| Tratamiento industrial | Y_i | 5,64 | 84,69 | R8 |

Nota: PPG = Proporción Proteína/Grasa. ¹Datos confidenciales, considerar R7 > R8.

Cuadro XVIII. Caracterización fisicoquímica de los quesos elaborados a escala industrial, rendimiento y porcentajes de recuperación.

| Tratamiento | G (%) | P (%) | H (%) | R (%) | Recuperaciones (%) | | |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------|----|-------|
| | | | | | G | P | H |
| Control industrial | 20,15 | 15,39 | 59,23 | 21,28 | 90,82 | N4 | 14,71 |
| Tratamiento industrial | 21,88 | 15,31 | 57,43 | 22,22 | 86,21 | N5 | 15,07 |

Nota: G = Grasa; P = Proteína; H = Humedad; R = Rendimiento. * Datos confidenciales, considerar N4 > N5.

Como se puede observar en el cuadro XVII, el retenido empleado en la prueba a escala industrial no sólo varió en su mayor contenido de proteína, sino también en su PPG, a diferencia con las pruebas a escala piloto. En este caso, las características obtenidas en el queso resultante se deben al efecto de estas dos variables, es por esta razón es que se tuvieron tanto aspectos positivos, como aspectos no tan positivos en el tratamiento evaluado (presenta mayor contenido de proteína, pero una menor PPG).

En los cuadros XVII y XVIII, se nota que cuando la PPG fue mayor en la materia prima (control industrial), el contenido de grasa en el queso fue menor. Esto se debe a que cuando la PPG es mayor es porque se tiene un contenido de grasa menor en relación con la proteína, por ello las probabilidades que tiene la grasa de quedar retenida en el queso resultante se reducen. A diferencia de si se tiene una PPG menor, donde el contenido de grasa sería mayor respecto a la proteína en la materia prima (Ong *et al.* 2013; Guinee *et al.* 2007; Govindasamy-Lucey *et al.* 2004).

En relación con lo anterior, se observa que, aunque el contenido de grasa fue el menor en el queso, su porcentaje de recuperación fue más alto. Esto se explica debido a que cuando se tiene un contenido de grasa mayor, por lo tanto menor PPG, el contenido de proteína podría no ser suficiente para retener toda la cantidad de grasa presente, por lo que se retiene lo que sería posible para esa cantidad de proteína, y el resto de grasa se perdería en el suero (Ong *et al.* 2013; Guinee *et al.* 2007; Govindasamy-Lucey *et al.* 2004).

Por otra parte, en el caso del contenido de humedad se observa que presenta la influencia de ambas variables: contenido de proteína en la materia prima y PPG. Guinee *et al.* (2006) mencionan que el aumento del contenido de proteína en la materia prima favorece la formación de una matriz de caseína más gruesa y porosa, lo que la hace más propensa

a la sinéresis en el corte y la agitación, es por ello que se disminuye su contenido en el queso.

Tal y como se muestra en el cuadro XVIII, la humedad fue más alta al aumentar la PPG, al igual que el contenido de proteína y su recuperación. Esto tiene relación con el aumento en la recuperación de la grasa en el queso, ya que los glóbulos de grasa retenidos dentro de la matriz de caseína bloquean la salida de suero (Guinee *et al.* 2007; Guinee *et al.* 2006). Con esto, además de lograr una mayor humedad, se aumenta el contenido de proteínas del suero dentro de la matriz (Karlsson *et al.* 2007; Delgado 2010; Spangler *et al.* 1990).

Por último, se obtuvo un aparente aumento de rendimiento conforme se aumentó el contenido de proteína, lo que coincide con lo reportado por Lelievre y Lawrence (1988), Guinee *et al.* (1994), Verdier-Metz *et al.* (2001), Govindasamy-Lucey *et al.* (2004), Guinee *et al.* (2006), Abd y Ahmed (2011) y Ong *et al.* (2013).

Los cambios en la composición fisicoquímica de los quesos al variar la composición de la materia prima, desencadenan en cambios texturales. Para evaluarlos se realizó un Análisis de Perfil de Textura (TPA), los resultados se muestran a continuación en el cuadro XIX.

Cuadro XIX. Análisis de perfil de textura (TPA) de los quesos elaborados a escala industrial.

| Tratamiento | Dureza (N) | Elasticidad (m) | Cohesividad | Masticabilidad (N.m) |
|------------------------|------------|-------------------|-------------|----------------------|
| Control industrial | 31 ± 1 | 0,00901 ± 0,00009 | 0,68 ± 0,03 | 0,19 ± 0,02 |
| Tratamiento industrial | 39 ± 2 | 0,00902 ± 0,00005 | 0,72 ± 0,02 | 0,26 ± 0,01 |

Como se puede observar en el cuadro XIX, existe diferencia significativa, al 95 % de confianza, entre la dureza de los quesos evaluados, y por ende, en su masticabilidad, mientras que el caso de la elasticidad y la cohesividad no se observa diferencia estadística.

El aumento significativo de la dureza en el tratamiento con mayor concentración de proteína se debe a que como aumenta la interacción entre las proteínas durante la coagulación, se forman una mayor cantidad de filamentos en la red de caseína y por ende ésta se hace más fuerte (Ramírez-López y Vélez-Ruiz 2012; Castro *et al.* 2014). Además

de esto, los resultados presentados en el cuadro XVII suponen una baja retención de proteínas del suero que retengan humedad, por lo que al disminuir el contenido de humedad, la dureza aumenta (Karlsson *et al.* 2007; Delgado 2010; Spangler *et al.* 1990).

El estudio del comportamiento de los quesos a escala industrial al aumentar el contenido de proteína en la materia prima es exploratorio. Por lo que para poder obtener resultados concluyentes se tiene que aumentar el número de repeticiones y analizar las tendencias. En caso se obtengan resultados similares es recomendable realizar un panel sensorial de discriminación para evaluar si la diferencia en cuanto a dureza hace que los consumidores detecten que son quesos diferentes.

Durante la corrida industrial se notaron algunas mejoras del queso que se elaboró al Yi % de proteína en la materia prima, respecto al control a nivel de proceso. Al finalizar el periodo de coagulación se notó una cuajada menos blanda que en las producciones regulares y posteriormente al corte, se notó una elevada densidad de cuajada en el tanque, es decir, el nivel de suero respecto a la cuajada era menor, lo cual era esperable ya que se tenía mayor concentración de componentes.

Al momento de realizar el salado, se notó un grano más formado, más definido, más duro y con menor humedad, y resultó en un queso más consistente que se desmoronaba en menor cantidad durante el desmoldeo, respecto al queso tradicional. Este queso que se desmorona en el desmoldeo pasa a ser recorte del proceso, y se notó que este disminuye considerablemente, por lo que pudo haber tenido injerencia en el aumento de rendimiento del queso.

En la etapa de empaque, el cambio más significativo que se notó respecto al queso tradicional de la empresa fue la dureza y la reducida humedad aparente del queso, lo que facilitó el ajuste de peso y su posterior empaque.

6. Conclusiones

- El equipo de ultrafiltración tiene mayores dificultades para alcanzar mayores factores de concentración (CF) constantes, lo que se constata con los resultados obtenidos en la prueba preliminar analizando el retenido al P1 % *versus* las pruebas a nivel piloto.
- Aunque se obtienen resultados aparentemente diferentes en el análisis a escala piloto, no es posible observar tendencias claras. Aun así, se constata que diferencias pequeñas en el porcentaje de proteína de la materia prima, permiten obtener cambios importantes en el producto final en relación con características fisicoquímicas, rendimiento y percepción sensorial de consumidores.
- La proporción proteína/grasa (PPG) afecta en gran medida las características del queso fresco elaborado y se tiene mayor influencia de este parámetro sobre el producto final que de la concentración de proteína en la materia prima.
- Como de manera exploratoria se obtiene un aumento de rendimiento, la textura no se ve alterada y los consumidores no detectan diferencia entre los diferentes quesos elaborados a escala piloto podría emplearse el retenido en la elaboración de queso, pero es necesario validar con análisis sensorial el cambio en la formulación.
- Se aumenta, de manera exploratoria, el rendimiento del queso procesado a escala industrial cuando el contenido de proteína en la materia es mayor, pero se obtienen cambios en la textura del producto final, lo que eventualmente podría afectar la percepción de los consumidores y detectar diferencias en caso que se realice la modificación de la fórmula.

7. Recomendaciones

- El estudio a nivel piloto resultó en un análisis exploratorio, debido a que no se tuvieron tratamientos diferenciados por la variabilidad que se presentó en el retenido. Es necesario estandarizar el proceso de ultrafiltración para que exista mayor concordancia entre el factor de concentración configurado en el equipo y la concentración de proteína que se obtiene realmente en el retenido y con esto obtener quesos con perfiles menos variables
- En relación con lo anterior, se recomienda establecer un volumen mínimo de retenido que se almacenará en el silo, de manera tal que se logre el nivel adecuado (por encima del agitador) que potencie la eficacia de la operación. En caso que no sea posible, se sugiere evaluar la necesidad de mejorar el sistema de agitación de manera que presente una mayor potencia o un mayor número de agitadores dentro del silo. Por último, considerar el volumen muerto del equipo dentro de la operación de los empujes con agua, ayudaría en evitar la dilución del retenido obtenido.
- Se recomienda realizar más pruebas a escala piloto, para evaluar si realmente existe un efecto sobre el queso al variar el contenido de proteína en la materia prima, luego de haber mejorado el control de la composición inicial de los retenidos para lograr el establecimiento de tratamientos diferenciados de manera que se pueda analizar el efecto real. Además de esto, se recomienda aumentar las repeticiones del análisis para mejorar la potencia de prueba, y por ende, obtener conclusiones más confiables.
- Se recomienda aumentar la cantidad de las pruebas industriales para determinar si las diferencias encontradas son significativas, asimismo, para validar la elaboración de queso con retenido de la ultrafiltración de leche aumentando la concentración de proteína respecto al queso control. Además, se recomienda la evaluación sensorial de los quesos resultantes (primeramente, con un análisis de discriminación como el realizado con los quesos a escala piloto y en caso de tenerse diferencias significativas realizar un análisis sensorial de agrado general).
- Se recomienda aumentar, junto con el contenido de proteína, la proporción proteína/grasa y controlarla en los análisis a escala industrial. Una de las alternativas es descremar la leche que será ultrafiltrada. En este caso los efectos mencionados anteriormente se potenciarían en el queso resultante y supone que se podría obtener un queso con mejores características, y probablemente, un mayor aumento de rendimiento.

- Basándose en los resultados de agrado obtenido, se recomienda realizar un desarrollo de un producto nuevo, bajo alguno de los tratamientos evaluados, estratégicamente el de mayor concentración de proteína en la materia prima, ya que de esta manera se obtendría un aumento de rendimiento en el producto final y se generaría mayor cantidad de permeado.
- Como es probable obtener un aumento de rendimiento ligado al aumento de humedad en los quesos obtenidos, se recomienda realizar un estudio de almacenamiento al producto, de manera que se evalúe la pérdida de peso (por efecto de la sinéresis) a lo largo del tiempo.

8. Referencias bibliográficas

- Abd El-Gawad, MAM. Ahmed, NS. 2011. Cheese yield as affected by some parameters review. *Acta Scientiarum Polonorum: Technologia Alimentaria* 10(2): 131-153.
- Anaya-Durand, A; Pedroza-Flores, H. 2008. Escalamiento, el arte de la ingeniería química: plantas piloto, el paso entre el huevo y la gallina. *Tecnología, Ciencia, Educación* 23(1):31-39.
- Angulo, O. O'Mahony, M. 2009 a. Aplicación del modelo de Thurstone a las pruebas sensoriales de diferencia. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 59(4): 349-357.
- Angulo, O. O'Mahony, M. 2009 b. Las pruebas de preferencia en alimentos son más complejas de lo imaginado. *INCI* 34(3):177-181.
- AOAC (Asociación de Químicos Analíticos Oficiales, Estados Unidos). 2005. *Official Methods of Analysis*. 18° ed. Methods 920.123, 920.124, 926.08, 935.42, 972.16, 975.20. Maryland, Estados Unidos.
- APHA (Asociación Americana de Salud Pública). 2004 a. *Standard methods for the examination of dairy products*. 17° ed. Method 15.083 Babcock Method. Washington, Estados Unidos.
- APHA (Asociación Americana de Salud Pública). 2004 b. *Standard methods for the examination of dairy products*. 17° ed. Method 15.115 Moisture/ Solids, Microwave oven. Washington, Estados Unidos.
- Arce, JR. 2011. 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 Lic. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica.
- Arce-Méndez, JR. Thompson-Vicente, E. Calderón-Villaplana, S. 2016. Incorporación de la proteína del suero lácteo en un queso fresco. *Agronomía Mesoamericana* 27(1):61-71.
- Badui, S. 2006. *Química de los Alimentos*, 4a. ed. México, Pearson Educación.
- Báez, R; Espinoza Valverde, E. 2017. Análisis del mercado centroamericano de lácteos y sus derivados. Costa Rica. SIECA. Resumen de Políticas no. 20.
- Barquero Quirós, M. 2012. *Análisis proximal de alimentos*. San Pedro, Montes de Oca, San José, Costa Rica, Editorial UCR.

- Barquero, M. 2014. Mayor consumo de lácteos estimula la producción lechera nacional. La Nación, San José, Costa Rica; 30 jul. 2014. Disponible en http://www.nacion.com/economia/agro/Mayor-consumo-estimula-produccion-nacional_0_1429857050.html
- Bi, J; O'Mahony, M. 2013. Variance of d' for the tetrad test and comparisons with other forced-choice methods. *Journal of Sensory Studies* 28(2013):91-101.
- Bono, R. Arnau, J. 1995. Consideraciones generales en torno a los estudios de potencia. *Anales de psicología*, 11(2):193-202.
- Bourne, M.C. 1978. Texture Profile Analysis. *Food Technology* 32(1):62-66.
- Callejo Ramos, A. 2008. Refrigeración de la leche en la granja. *Frisona española* 165(2008):84-90.
- Castro, C. Novoa, CF. Algecira, N. Buitrago, G. 2014. Reología y textura de quesos bajos en grasa. *Repositorio Español de Ciencia y Tecnología* 22:58-66.
- Chacón-Villalobos, A. 2006. Tecnologías de membranas en la agroindustria láctea. *Agronomía Mesoamericana* 17(2):243-264.
- Childress, AE. Elimelech, M. 2000. Relating nanofiltration membrane performance to membrane charge (Electrokinetic) characteristics. *Environmental Science Technology* 34:3710-3716.
- Chr-Hansen. 2017. Protección: Soluciones bioprotectoras naturales en cultivos y enzimas (en línea, sitio web). Consultado el 14 de mayo de 2018. Disponible en: <https://www.chr-hansen.com/es/food-cultures-and-enzymes/cheese/cards/collection-cards/protection?countryreset=1>.
- Delgado Fuente, D. Optimización del proceso de elaboración de queso semicurado de mezcla a partir de concentrados de ultrafiltración. Tesis doctoral. España, Universidad de Burgos.
- Dushkova, MA. Dinkov, KT. 2005. Investigation of process characteristics and of principal components of ultrafiltration retentates. *Biotechnology & Biotechnological Equipment* 19(2):179-182.
- Ennis, D. 2013. Tables For Product Testing Methods (en línea). Consultado el 25 de noviembre de 2018. Disponible en: http://ifpress.com/wp-content/uploads/2013/02/Tables_for_Product_Testing_Methods.pdf

- Ennis, JM. Jesionka, V. 2011. The power of sensory discrimination methods revisited. *Journal of Sensory Studies* 26 (2011):371–382.
- Espinoza Manfugás, J. 2007. *Evaluación sensorial de los Alimentos*. La Habana, Cuba, Editorial Universitaria.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2011. Procesos para la elaboración de productos lácteos (en línea). Consultado 03 feb, 2018. Disponible en: https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/11/13305375675880/manual_lacteos_3_atinar_ii.pdf
- FAO (Organización de las naciones Unidas para la alimentación y la agricultura). OMS (Organización Mundial de Salud). 2018. Norma General del Codex para el queso. Norma Codex Standard 283-1978. Estados Unidos.
- FAO (Organización de las naciones Unidas para la alimentación y la agricultura). 2018. Producción y productos lácteos: Calidad y evaluación (en línea). Consultado el 25 de agosto de 2018. Disponible en: <http://www.fao.org/dairy-production-products/products/calidad-y-evaluacion/es/>
- FAO (Organización de las naciones Unidas para la alimentación y la agricultura). 2000. *Codex Alimentarius: Milk and milk products*. 2 Ed. Roma.
- FDA (Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos). 2015. Grade “A” Pasteurized Milk Ordinance (en línea). Consultado el 25 de agosto de 2018. Disponible en: <https://www.fda.gov/downloads/food/guidanceregulation/guidancedocumentsregulatoryinformation/milk/ucm513508.pdf>
- Frye, CP. Kilara, A. 2015. Milk from Farm to Plant. *In Dairy Processing and Quality Assurance*, 2 ed. Estados Unidos, Wiley. p. 178–196.
- García Calabuig, G. 2012. *Texturometría instrumental: Puesta a punto y aplicación a la Tecnología de Alimentos*. Tesis Master. España, Universidad de Oviedo.
- Goddik, L. 2012. Fresh Cheese. *In Handbook of Animal-Based Fermented Food and Beverage Technology*. 2da ed. Estados Unidos, CRC Press.

- González E., JM. 2013. Situación actual y perspectivas del sector lácteo costarricense visión de la Cámara Nacional de Productores de Leche. *In* Congreso Nacional Lechero, 19°, Costa Rica. Cámara Nacional de Productores de Leche.
- Goudédranche, H., J.L. Maubois, P. Ducruet, y M. Mahaut. 1980. Utilization of the new mineral Uf membranes for making semi-hard cheeses. *Desalination* 35:243-258.
- Govindasamy-Lucey, S., J.J. Jaeggi, M.E. Johnson, T. Wang, y J.A. Lucey. 2005. Use of cold ultrafiltered retentates for standardization of milks for pizza cheese: Impact on yield and functionality. *International Dairy Journal* 15(6-9):941-955.
- Govindasamy-Lucey, S; Jaeggi, JJ; Bostley, AL; Johnson, ME; Lucey, JA. 2004. Standardization of milk using cold ultrafiltration retentates for the manufacture of parmesan cheese. *Journal of Dairy Science* 87:2789–2799.
- Grappin, R. Beuvier, E. 1997. Possible implications of milk pasteurization on the manufacture and sensory quality of ripened cheese. *International Dairy Journal* 7(12):751–761.
- Guerrero Ramos, C. Salas Valerio, WF. Baldeón Chamorro, EO. 2015. Evaluación instrumental de la textura del queso elaborado con suero concentrado por ultrafiltración. *Revista de la Sociedad Química del Perú* 81(3):273-282.
- Guinee, TP; Mulholland, EO; Kelly, J; Callaghan, DJO. 2007. Effect of Protein-to-Fat Ratio of milk on the composition, manufacturing efficiency, and yield of cheddar cheese. *Journal of Dairy Science* 90:110–123.
- Guinee, TP; O’Kennedy, BT; Kelly, PM. 2006. Effect of Milk Protein Standardization Using Different Methods on the Composition and Yields of Cheddar Cheese. *American Dairy Science Association* 89:468-482.
- Guinee, TP; Pudja, PD; Mulholland, EO. 1994. Effect of milk protein standardization, by ultrafiltration, on the manufacture, composition and maturation of Cheddar cheese. *Journal of Dairy Research*, 61:117-131.
- Heller, KJ. Bockelmann, W. Schrezenmeir, J. deVrese, M. 2003. Cheese and its potential as a probiotic food. *In* Farnworth, ER. *Handbook of fermented functional foods*. Boca Raton, Florida, Estados Unidos, CRC Press.

- Hleap, JI. Velasco, VA. 2010. Análisis de las propiedades de textura durante el almacenamiento de salchichas elaboradas a partir de tilapia roja (*Oreochromis sp.*). *Revista Biotecnología en el sector Agropecuario* 8(2):46-56.
- Hough, G. Wakeling, I. Mucci, A. Chambers, E. Méndez Gallardo, I. Rangel Alves, L. 2006. Number of consumers necessary for sensory acceptability tests. *Food Quality and Preference*. 17 (2006): 522–526.
- Iličić, M. Milanović, S. Carić, M. Lazić, V. Lončar, E. Malbaša, R. Kanurić, K. Hromiš, N. 2016. Application of common packaging materials in the probiotic fresh cheese production 66(2):91-98.
- INEC (Instituto Nacional de Encuestas y Censos, Costa Rica). 2014. Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2013. Consultado 03 feb, 2018. Disponible en: <http://www.inec.go.cr/sites/default/files/documentos-biblioteca-virtual/reenigh2013.pdf>
- Ishii, R. O'Mahony, M. Rousseau, B. 2014. Triangle and tetrad protocols: Small sensory differences, resampling and consumer relevance. *Food Quality and Preference* 31(2014):49–55.
- Kelly, AL. Huppertz, T. Sheehan, JJ. 2008. Pre-treatment of cheese milk: principles and developments. *Dairy Science Technology* 88:549–572.
- Kethireddipalli, P. Hill, AR. Dagleish, DG. 2010. Protein interactions in heat-treated milk and effect on rennet coagulation. *International Dairy Journal*, 20:838-843
- Kosikowski, FV; Masters, AR; Mistry, VV. 1985. Cheddar Cheese from Retentate-Supplemented Whole Milk. *Journal of Dairy Science* 68:548-554.
- Kowalik-Klimczak, A. 2017. The possibilities of using membrane filtration in the dairy industry. *Journal of Machine Construction and Maintenance* 2:99-108.
- Kumar, P. Sharma, N. Ranjan, R. Kumar, S. Bhat, ZF. Jeong, D.K. 2013. Perspective of Membrane Technology in Dairy Industry: A Review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 26(9):1347-1358
- Lawless, HT. Heyman, H. 2010. *Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices*. 2a ed. Estados Unidos, Springer.

- Le, TT. Cabaltica, AD. Bui, VM. 2014. Membrane separations in dairy processing. *Journal of Food Research and Technology* 2(1):1-14.
- Lelievre, J; Lawrence, R. 1988. Manufacture of cheese from milk concentrated by ultrafiltration. *Journal of Dairy Research*. 55: 465-478.
- Madrigal, K. 2017. Costa Rica lidera consumo de leche en Centroamérica. *La República, Costa Rica*. Consultado 03 feb, 2018. Disponible en: <https://www.larepublica.net/noticia/costa-rica-lidera-consumo-de-leche-en-centroamerica>
- Madriz Castillo, JA. 2014. Situación actual y perspectivas del sector lácteo costarricense visión de la Cámara Nacional de Productores de Leche. *In Congreso Nacional Lechero, 20º*, Costa Rica. Cámara Nacional de Productores de Leche.
- Mejía-López, A. Rodas, S. Baño, D. 2017. La desnaturalización de las proteínas de la leche y su influencia en el rendimiento del queso fresco. *Enfoque UTE*. 8 (2): 121 - 130
- Metrohm. s.f. Manual No. 8.827.1005: Instrucciones para el uso del pHmetro 827. Consultado 07 feb, 2018. Disponible en <https://www.metrohm.com/es/documents/88278001>
- Mortensen, G. Sørensen, J. Stapelfeldt, H. (2002). Effect of light and oxygen transmission characteristics of packaging materials on photo-oxidative quality changes in semi-hard Havarti cheeses. *Packaging Technology and Science* 15(3):121–127.
- Nedomová, Š. Kilián, L. Pytel, R. Kumbár, V. 2017. Effect of ripening time on colour and texture properties in cheese. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences* 11(1):296-301.
- Negri, LM. 2005. Manual de Referencias técnicas para el logro de leche de calidad. 2 ed. Nicaragua, INTA.
- Nielsen, EW. 2006. Principles of production of cheese. *In Hui, YH (Ed.). Handbook of Food Science, Technology and Engineering*. Vol 2. Estados Unidos, CRC Press.
- Nuath, K. Hines, JT. Harris, RD. 2000. Cheese Rheology. *In Francis, FJ. Wiley Encyclopedia of Food Science and Technology*. 2 ed. Hoboken, Estado Unidos, Wiley. p. 298-315.
- O'Mahony, M. & Rousseau, B. 2002. Discrimination testing: a few ideas, old and new. *Food Quality and Preference*. 14: 157-164.

- O'Sullivan, M. 2017. Sensory Affective (Hedonic) Testing. In *A Handbook for Sensory and Consumer-Driven New Product Development* (pp. 39–56).
- Olofsson, I. 2010. Guidelines for food safety control of artisan cheese-making. Copenhagen, Dinamarca, Nordic Council of Ministers.
- Ong, L. Dagastine RR, Kentish, SE. Gras, SL. 2013. Microstructure and composition of full fat cheddar cheese made with ultrafiltered milk retentate. *Foods* (2):310-331.
- Pacheco Zamora, M. 2018. Determinación de la concentración mínima de cloruro de sodio que se puede reducir en un queso fresco sin que sea perceptible para los consumidores utilizando un umbral de diferencia y su efecto sobre el desuerado y perfil de textura. Tesis Lic. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica.
- Paine, F. (ed). 2012. *Modern processing, packaging and distribution systems for food*. New York, Estados Unidos, Springer.
- Pouliot, Y. 2008. Membrane processes in dairy technology: from a simple idea to worldwide panacea. *International Dairy Journal* 18:735-740.
- PRODAR (Programa Cooperativo de Desarrollo Rural para América Latina y el Caribe); IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura); FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación). S.f. Fichas técnicas: Procesados Lácteos (en línea). Consultado el 14 de mayo de 2018. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-au170s.pdf>.
- Ramírez Navas, JS. 2009. Composición mineral de la leche de vaca: los fosfatos. *Tecnología Láctea Latinoamericana* 57:47-53.
- Ramírez-López, C. Vélez-Ruiz, J. 2012. Quesos frescos: propiedades, métodos de determinación y factores que afectan su calidad. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* 2(6):131–148.
- Ramírez-Navas, JS. Aguirre-Londoño, J. Aristizabal-Ferreira, VA. Castro-Narváez, S. 2017. La sal en el queso: diversas Interacciones. *Agronomía Mesoamericana* 28(1):303-316.
- Roessler, EB. Pangborn, RM. Sidel, JL. Stone, H. 1978. Expanded statistical tables for estimating significance in paired-preference, paired-difference, duo-trio and triangle tests. *Journal of Food Science* 43:940 – 947.

- Romero González, JF. 2010. Control avanzado en procesos industriales de microfiltración y ultrafiltración tangencial. Tesis Máster. Valencia, España, Universidad Politécnica de Valencia.
- Rosenberg, M. 1995. Current and future applications of membrane processes in the dairy industry. *Trends of Food Science Technology* 6:12-19.
- Rousseau, B. 2015. Sensory discrimination testing and consumer relevance. *Food Quality and Preference* 43(2015):122-125.
- RTCA (Reglamento Técnico Centroamericano, Costa Rica) n.º 67.04.70:14, 2014. Productos Lácteos. Quesos. Especificaciones (en línea). Consultado 03 feb, 2018. Disponible en: <http://www.sieca.int/index.php/download/resolucion-no-366-2015-aprueba-rtca-67-04-7014-productos-lacteos-quesos-especificaciones/>
- RTCR (Reglamento Técnico, Costa Rica). 2006. Leche cruda y Leche Higienizada (en línea). Norma RTCR: 401-2006, N° 33812 (en línea). Consultado el 25 de agosto de 2018. Disponible en: <http://www.mag.go.cr/legislacion/2007/de-33812.pdf>
- Santini, ZG. Alsina, Da. Athaus, R. Meinardi, C. Freyre, M. Díaz, JR. González, C. 2007. Evaluación de la textura en quesos de oveja: aplicaciones del análisis factorial discriminante. *FAVE* 5-6(1-2):7-14.
- Spangler, PL. Jensen, LA. Amundson, CH. Olson, NF. Hill, CG JR. 1990. Gouda cheese made from ultrafiltered milk: effects of concentration factor, rennet concentration, and coagulation temperature. *Journal of dairy science* 73:1420-1428.
- Szczesniak, AS. 1963. Classification of textural characteristics. *Journal of Food Science* 28(4):385-389.
- Tamime, AY. 2013. Membrane processing: dairy and beverage applications. Reino Unido, Blackwell Publishing.
- Torres González, JD. González Morelos, KJ. Acevedo Correa, D. 2015. Análisis del Perfil de Textura en frutas, productos cárnicos y quesos. *Revista Revisión de la Ciencia, Tecnología e Ingeniería de los Alimentos* 14(2):63-75.
- Verdier-Metz, I; Coulon, JB; Pradel, P. 2001. Relationship between milk fat and protein contents and cheese yield. *Animal Research* 50(5):365-371.

- Vignolo, G; Fadda, S. 2008. Starter Cultures: Bioprotective Cultures. *In* Toldrá, F (Ed.). Handbook of fermented meat and poultry. New Jersey, Estados Unidos, Blackwell Publishing. p. 147-157.
- Walstra, P. Wouters, JTM. Geurts, TJ. 2005. Dairy Science and Technology. 2da ed. Boca Raton, Florida, Estados Unidos, CRC Press.
- Worch, T. Delcher, R. 2013. A practical guideline for discrimination testing combining both the proportion of discriminators and Thurstonian approaches. *Journal of Sensory Studies*. 28(2013):396–404.

9. Anexos

9.1. Retenidos

Cuadro XX. Caracterización fisicoquímica del retenido a lo largo del tiempo para evaluar su variabilidad.

| Fecha de Producción | Repetición | Lactosa (%) | Humedad (%) | Cenizas (%) | pH |
|---------------------|------------|-------------|-------------|-------------|------|
| 10/1/2018 | 1 | 4,53 | 85,29 | 0,739 | 6,71 |
| 11/1/2018 | 2 | 4,54 | 85,19 | 0,750 | 6,72 |
| 15/1/2018 | 3 | 4,66 | 84,96 | 0,792 | 6,75 |
| 16/1/2018 | 4 | 4,58 | 85,19 | 0,792 | 6,69 |
| 17/1/2018 | 5 | 4,61 | 85,11 | 0,791 | 6,71 |
| 22/1/2018 | 6 | 4,64 | 84,92 | 0,785 | 6,78 |
| 23/1/2018 | 7 | 4,66 | 84,89 | 0,776 | 6,72 |
| 24/1/2018 | 8 | 4,66 | 85,02 | 0,759 | 6,74 |
| 25/1/2018 | 9 | 4,60 | 85,14 | 0,742 | 6,73 |
| 29/1/2018 | 10 | 4,62 | 85,14 | 0,760 | 5,76 |
| 30/1/2018 | 11 | 4,62 | 85,22 | 0,773 | 6,80 |
| 31/1/2018 | 12 | 4,62 | 85,13 | 0,773 | 6,72 |
| 1/2/2018 | 13 | 4,62 | 85,02 | 0,762 | 6,74 |
| 4/2/2018 | 14 | 4,60 | 85,18 | 0,758 | 6,71 |
| 5/2/2018 | 15 | 4,62 | 85,13 | 0,759 | 6,75 |
| 6/2/2018 | 16 | 4,61 | 85,21 | 0,766 | 6,74 |
| 8/2/2018 | 17 | 4,59 | 85,45 | 0,730 | 6,76 |
| 9/2/2018 | 18 | 4,65 | 85,25 | 0,759 | 6,76 |
| 11/2/2018 | 19 | 4,67 | 85,29 | 0,736 | 6,75 |
| 12/2/2018 | 20 | 4,61 | 85,20 | 0,772 | 6,76 |
| 13/2/2018 | 21 | 4,70 | 85,28 | 0,724 | 6,75 |
| 14/2/2018 | 22 | 4,65 | 85,40 | 0,749 | 6,75 |
| 15/2/2018 | 23 | 4,68 | 85,30 | 0,785 | 6,72 |
| 16/2/2018 | 24 | 4,64 | 85,21 | 0,802 | 6,75 |

Nota: el porcentaje de proteína se codifica como un promedio de P1 % de proteína por temas de confidencialidad.

Cuadro XXI. Análisis fisicoquímico de todos los retenidos empleados en las diferentes repeticiones de los tratamientos evaluados a escala piloto.

| Tratamiento | Repetición | Grasa (%) | Humedad (%) | Lactosa (%) | Sólidos Totales (%) | Cenizas (%) | pH |
|-------------|------------|-----------|-------------|-------------|---------------------|-------------|------|
| A | 1 | 4,69 | 86,39 | 3,78 | 13,61 | 0,624 | 6,81 |
| | 2 | 5,16 | 84,68 | 3,78 | 15,32 | 0,698 | 6,78 |
| | 3 | 4,87 | 86,15 | 3,78 | 13,85 | 0,695 | 6,76 |
| B | 1 | 4,86 | 85,77 | 4,04 | 14,23 | 0,716 | 6,80 |
| | 2 | 5,42 | 83,94 | 4,02 | 16,06 | 0,775 | 6,79 |
| | 3 | 5,09 | 85,15 | 4,11 | 14,85 | 0,740 | 6,74 |
| C | 1 | 5,42 | 84,28 | 4,53 | 15,72 | 0,813 | 6,78 |
| | 2 | 5,84 | 82,68 | 4,48 | 17,32 | 0,862 | 6,76 |
| | 3 | 6,05 | 83,54 | 4,40 | 16,46 | 0,813 | 6,71 |

Nota: el porcentaje de proteína se codifica como un promedio de Xp % de proteína por temas de confidencialidad.

9.2. Quesos

Cuadro XXII. Análisis fisicoquímico de todos los quesos empleados en las diferentes repeticiones de los tratamientos evaluados a escala piloto.

| Tratamiento | Repetición | Grasa (%) | Humedad (%) | Lactosa (%) | Cenizas (%) | pH | Sal (%) |
|-------------|------------|-----------|-------------|-------------|-------------|------|---------|
| A | 1 | 21,76 | 55,18 | 1,16 | 2,487 | 6,18 | 1,23 |
| | 2 | 21,53 | 56,98 | 0,56 | 2,69 | 6,01 | 1,06 |
| | 3 | 20,67 | 56,57 | 2,45 | 2,452 | 6,37 | 0,93 |
| B | 1 | 21,98 | 55,93 | 1,11 | 2,623 | 6,17 | 0,94 |
| | 2 | 21,26 | 56,58 | 0,57 | 2,790 | 6,06 | 1,26 |
| | 3 | 22,28 | 56,40 | 1,89 | 2,656 | 6,43 | 0,94 |
| C | 1 | 21,85 | 55,03 | 1,56 | 2,792 | 6,14 | 0,97 |
| | 2 | 18,99 | 59,21 | 0,55 | 2,720 | 6,11 | 1,57 |
| | 3 | 21,17 | 57,36 | 1,53 | 2,806 | 6,43 | 1,10 |

9.3. Recuperaciones

Cuadro XXIII. Recuperación de componentes en la elaboración de los quesos de las diferentes repeticiones de los tratamientos evaluados a escala piloto.

| Tratamiento | Repetición | Rendimiento (%) | Recuperación (%) | | | |
|-------------|------------|-----------------|------------------|---------|---------|-------|
| | | | Grasa | Humedad | Lactosa | Sal |
| A | 1 | 19,60 | 90,93 | 12,52 | 6,01 | 50,40 |
| | 2 | 21,81 | 91,01 | 14,68 | 3,23 | 45,85 |
| | 3 | 20,00 | 91,49 | 13,19 | 5,56 | 42,73 |
| B | 1 | 20,23 | 84,91 | 13,14 | 12,97 | 38,34 |
| | 2 | 21,89 | 85,84 | 14,75 | 3,10 | 57,53 |
| | 3 | 23,22 | 76,65 | 12,41 | 6,55 | 37,69 |
| C | 1 | 19,01 | 101,63 | 15,38 | 10,68 | 41,51 |
| | 2 | 25,47 | 82,81 | 18,24 | 3,13 | 75,85 |
| | 3 | 26,15 | 91,50 | 17,95 | 9,09 | 49,84 |

9.4. Textura

Cuadro XXIV. Parámetros obtenidos del análisis de perfil de textura (TPA) en el queso obtenido bajo el tratamiento de $(X_p \pm 0,1)$ % de proteína en la materia prima, procesado a escala piloto.

| Repetición | Réplica | Dureza (N) | Elasticidad (m) | Cohesividad | Masticabilidad (N.m) |
|------------|---------|------------|-----------------|-------------|----------------------|
| 1 | 1 | 27 | 0,00888 | 0,62 | 0,150 |
| | 2 | 27 | 0,00879 | 0,65 | 0,157 |
| | 3 | 30 | 0,00867 | 0,62 | 0,163 |
| | 4 | 29 | 0,00866 | 0,69 | 0,174 |
| | 5 | 32 | 0,00875 | 0,65 | 0,183 |
| | 6 | 32 | 0,00847 | 0,66 | 0,178 |
| | 7 | 34 | 0,00883 | 0,67 | 0,200 |
| | 8 | 38 | 0,00863 | 0,68 | 0,221 |
| | 9 | 37 | 0,00854 | 0,70 | 0,218 |
| | 10 | 34 | 0,00873 | 0,60 | 0,180 |
| 2 | 1 | 26 | 0,00870 | 0,76 | 0,174 |
| | 2 | 27 | 0,00856 | 0,66 | 0,153 |
| | 3 | 28 | 0,00886 | 0,68 | 0,166 |
| | 4 | 28 | 0,00865 | 0,71 | 0,170 |
| | 5 | 28 | 0,00892 | 0,66 | 0,167 |
| | 6 | 29 | 0,00884 | 0,70 | 0,178 |
| | 7 | 30 | 0,00877 | 0,70 | 0,185 |
| | 8 | 30 | 0,00872 | 0,70 | 0,186 |
| | 9 | 31 | 0,00878 | 0,72 | 0,195 |
| | 10 | 32 | 0,00868 | 0,70 | 0,192 |
| 3 | 1 | 26 | 0,00901 | 0,76 | 0,182 |
| | 2 | 27 | 0,00868 | 0,65 | 0,153 |
| | 3 | 28 | 0,00860 | 0,62 | 0,151 |
| | 4 | 28 | 0,00864 | 0,69 | 0,171 |
| | 5 | 30 | 0,00878 | 0,71 | 0,188 |
| | 6 | 30 | 0,00872 | 0,72 | 0,189 |
| | 7 | 33 | 0,00843 | 0,68 | 0,192 |
| | 8 | 34 | 0,00858 | 0,63 | 0,181 |
| | 9 | 34 | 0,00836 | 0,70 | 0,199 |
| | 10 | 35 | 0,00826 | 0,64 | 0,184 |

Cuadro XXV. Parámetros obtenidos del análisis de perfil de textura (TPA) en el queso obtenido bajo el tratamiento de $(Y_p \pm 0,3)$ % de proteína en la materia prima, procesado a escala piloto.

| Repetición | Réplica | Dureza (N) | Elasticidad (m) | Cohesividad | Masticabilidad (N.m) |
|------------|---------|------------|-----------------|-------------|----------------------|
| 1 | 1 | 23 | 0,00895 | 0,71 | 0,146 |
| | 2 | 27 | 0,00873 | 0,63 | 0,148 |
| | 3 | 25 | 0,00889 | 0,69 | 0,155 |
| | 4 | 27 | 0,00896 | 0,58 | 0,139 |
| | 5 | 29 | 0,00897 | 0,62 | 0,159 |
| | 6 | 30 | 0,00869 | 0,65 | 0,172 |
| | 7 | 30 | 0,00927 | 0,64 | 0,180 |
| | 8 | 32 | 0,00879 | 0,66 | 0,187 |
| | 9 | 36 | 0,00897 | 0,64 | 0,207 |
| | 10 | 36 | 0,00868 | 0,60 | 0,186 |
| 2 | 1 | 25 | 0,00901 | 0,76 | 0,171 |
| | 2 | 25 | 0,00884 | 0,71 | 0,157 |
| | 3 | 25 | 0,00902 | 0,69 | 0,158 |
| | 4 | 27 | 0,00878 | 0,69 | 0,165 |
| | 5 | 29 | 0,00911 | 0,71 | 0,192 |
| | 6 | 30 | 0,00887 | 0,70 | 0,185 |
| | 7 | 31 | 0,00870 | 0,71 | 0,189 |
| | 8 | 31 | 0,00869 | 0,70 | 0,189 |
| | 9 | 33 | 0,00888 | 0,72 | 0,209 |
| | 10 | 35 | 0,00892 | 0,62 | 0,196 |
| 3 | 1 | 22 | 0,00909 | 0,68 | 0,134 |
| | 2 | 22 | 0,00896 | 0,71 | 0,140 |
| | 3 | 22 | 0,00880 | 0,77 | 0,152 |
| | 4 | 23 | 0,00910 | 0,78 | 0,160 |
| | 5 | 23 | 0,00905 | 0,67 | 0,140 |
| | 6 | 24 | 0,00914 | 0,73 | 0,157 |
| | 7 | 24 | 0,00893 | 0,65 | 0,142 |
| | 8 | 26 | 0,00886 | 0,68 | 0,160 |
| | 9 | 28 | 0,00919 | 0,77 | 0,201 |
| | 10 | 29 | 0,00900 | 0,68 | 0,180 |

Cuadro XXVI. Parámetros obtenidos del análisis de perfil de textura (TPA) en el queso obtenido bajo el tratamiento de $(Z_p \pm 0,2)$ % de proteína en la materia prima, procesado a escala piloto.

| Repetición | Réplica | Dureza (N) | Elasticidad (m) | Cohesividad | Masticabilidad (N.m) |
|------------|---------|------------|-----------------|-------------|----------------------|
| 1 | 1 | 33 | 0,00862 | 0,65 | 0,184 |
| | 2 | 33 | 0,00882 | 0,74 | 0,216 |
| | 3 | 33 | 0,00882 | 0,73 | 0,209 |
| | 4 | 32 | 0,00870 | 0,60 | 0,169 |
| | 5 | 34 | 0,00880 | 0,67 | 0,200 |
| | 6 | 38 | 0,00872 | 0,63 | 0,210 |
| | 7 | 38 | 0,00885 | 0,45 | 0,150 |
| | 8 | 36 | 0,00883 | 0,62 | 0,199 |
| | 9 | 45 | 0,00869 | 0,63 | 0,247 |
| | 10 | 46 | 0,00861 | 0,59 | 0,233 |
| 2 | 1 | 24 | 0,00892 | 0,72 | 0,156 |
| | 2 | 25 | 0,00879 | 0,71 | 0,159 |
| | 3 | 26 | 0,00879 | 0,60 | 0,136 |
| | 4 | 26 | 0,00886 | 0,74 | 0,171 |
| | 5 | 26 | 0,00878 | 0,68 | 0,156 |
| | 6 | 26 | 0,00861 | 0,65 | 0,147 |
| | 7 | 27 | 0,00875 | 0,59 | 0,142 |
| | 8 | 28 | 0,00882 | 0,62 | 0,151 |
| | 9 | 28 | 0,00879 | 0,63 | 0,155 |
| | 10 | 30 | 0,00863 | 0,63 | 0,162 |
| 3 | 1 | 23 | 0,00917 | 0,56 | 0,120 |
| | 2 | 24 | 0,00898 | 0,65 | 0,137 |
| | 3 | 24 | 0,00891 | 0,66 | 0,138 |
| | 4 | 24 | 0,00885 | 0,72 | 0,151 |
| | 5 | 24 | 0,00906 | 0,51 | 0,111 |
| | 6 | 25 | 0,00901 | 0,58 | 0,129 |
| | 7 | 26 | 0,00896 | 0,58 | 0,133 |
| | 8 | 27 | 0,00912 | 0,67 | 0,167 |
| | 9 | 28 | 0,00909 | 0,69 | 0,175 |
| | 10 | 29 | 0,00899 | 0,67 | 0,173 |

Cuadro XXVII. Parámetros obtenidos del análisis de perfil de textura (TPA) en los quesos procesado a escala industrial.

| Tratamiento | Réplica | Dureza (N) | Elasticidad (m) | Cohesividad | Masticabilidad (N.m) |
|------------------------|---------|------------|-----------------|-------------|----------------------|
| Control industrial | 1 | 27 | 0,00899 | 0,61 | 0,15 |
| | 2 | 27 | 0,00903 | 0,64 | 0,16 |
| | 3 | 29 | 0,00889 | 0,66 | 0,17 |
| | 4 | 30 | 0,00930 | 0,71 | 0,20 |
| | 5 | 32 | 0,00895 | 0,74 | 0,21 |
| | 6 | 32 | 0,00911 | 0,63 | 0,18 |
| | 7 | 32 | 0,00915 | 0,65 | 0,19 |
| | 8 | 32 | 0,00890 | 0,70 | 0,20 |
| | 9 | 32 | 0,00880 | 0,70 | 0,20 |
| | 10 | 34 | 0,00898 | 0,75 | 0,23 |
| Tratamiento industrial | 1 | 36 | 0,00897 | 0,75 | 0,24 |
| | 2 | 36 | 0,00914 | 0,76 | 0,25 |
| | 3 | 38 | 0,00897 | 0,63 | 0,21 |
| | 4 | 38 | 0,00903 | 0,70 | 0,24 |
| | 5 | 38 | 0,00888 | 0,75 | 0,25 |
| | 6 | 38 | 0,00910 | 0,76 | 0,26 |
| | 7 | 40 | 0,00889 | 0,72 | 0,26 |
| | 8 | 42 | 0,00905 | 0,72 | 0,28 |
| | 9 | 44 | 0,00902 | 0,70 | 0,28 |
| | 10 | 44 | 0,00911 | 0,71 | 0,28 |

9.5. Sensorial

9.5.1. Diferencia

Cuadro XXVIII. Juicios obtenidos en el análisis de discriminación entre las muestras de queso bajo los tratamientos Xp % y Yp % y los tratamientos Xp % y Yp % de proteína en la materia prima.

| N° Juez | Juicios en Xp vs. Yp | Juicios en Xp vs. Zp | N° Juez | Juicios en Xp vs. Yp | Juicios en Xp vs. Zp | N° Juez | Juicios en Xp vs. Yp | Juicios en Xp vs. Zp |
|---------|----------------------|----------------------|---------|----------------------|----------------------|---------|----------------------|----------------------|
| 1 | 1 | 0 | 17 | 1 | 0 | 33 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 1 | 18 | 0 | 1 | 34 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 1 | 19 | 1 | 1 | 35 | 0 | 1 |
| 4 | 0 | 0 | 20 | 0 | 0 | 36 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 21 | 0 | 1 | 37 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 22 | 1 | 0 | 38 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 1 | 23 | 0 | 0 | 39 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 1 | 24 | 1 | 1 | 40 | 1 | 0 |
| 9 | 1 | 0 | 25 | 0 | 0 | 41 | 1 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 26 | 0 | 1 | 42 | 1 | 0 |
| 11 | 0 | 1 | 27 | 0 | 1 | 43 | 0 | 0 |
| 12 | 0 | 0 | 28 | 0 | 0 | 44 | 1 | 0 |
| 13 | 0 | 1 | 29 | 1 | 0 | 45 | 1 | 0 |
| 14 | 1 | 0 | 30 | 0 | 1 | 46 | 1 | 0 |
| 15 | 1 | 0 | 31 | 0 | 0 | 47 | 0 | 1 |
| 16 | 0 | 0 | 32 | 0 | 1 | | | |

Nota: Los juicios representados con el número 1 representan un acierto, mientras que los representados con el número 0 representan un juicio erróneo, es decir, confusión entre las muestras

9.5.2. Agrado general

Cuadro XXIX. Agrado para el queso elaborado bajo el tratamiento de Xp % de proteína en la materia prima.

| Repetición | Agrado | Repetición | Agrado | Repetición | Agrado | Repetición | Agrado |
|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| 1 | 6,4 | 17 | 7,5 | 33 | 10,0 | 49 | 8,0 |
| 2 | 7,1 | 18 | 8,2 | 34 | 10,0 | 50 | 10,0 |
| 3 | 8,2 | 19 | 7,0 | 35 | 7,6 | 51 | 10,0 |
| 4 | 9,2 | 20 | 7,1 | 36 | 6,0 | 52 | 10,0 |
| 5 | 10,0 | 21 | 8,0 | 37 | 10,0 | 53 | 8,5 |
| 6 | 7,1 | 22 | 6,0 | 38 | 8,0 | 54 | 7,3 |
| 7 | 8,1 | 23 | 10,0 | 39 | 10,0 | 55 | 10,0 |
| 8 | 10,0 | 24 | 7,4 | 40 | 10,0 | 56 | 9,8 |
| 9 | 8,4 | 25 | 8,9 | 41 | 8,1 | 57 | 8,6 |
| 10 | 8,1 | 26 | 8,6 | 42 | 6,0 | 58 | 10,0 |
| 11 | 9,1 | 27 | 8,0 | 43 | 8,4 | 59 | 8,5 |
| 12 | 10,0 | 28 | 9,0 | 44 | 8,1 | 60 | 7,0 |
| 13 | 7,0 | 29 | 9,0 | 45 | 9,1 | 61 | 6,6 |
| 14 | 7,0 | 30 | 6,1 | 46 | 7,6 | 62 | 6,6 |
| 15 | 6,6 | 31 | 9,1 | 47 | 5,9 | 63 | 7,5 |
| 16 | 7,6 | 32 | 8,5 | 48 | 9,1 | 64 | 10,0 |
| 17 | 4,9 | 97 | 9,8 | 65 | 10,0 | 77 | 8,2 |
| 18 | 9,0 | 98 | 6,2 | 66 | 9,0 | 78 | 10,0 |
| 19 | 10,0 | 99 | 9,0 | 67 | 5,0 | 79 | 7,5 |
| 20 | 7,0 | 100 | 9,8 | 68 | 9,0 | 80 | 10,0 |
| 21 | 8,0 | 101 | 8,6 | 69 | 4,0 | 93 | 9,1 |
| 22 | 8,0 | 102 | 8,0 | 70 | 3,6 | 94 | 6,3 |
| 23 | 9,0 | 103 | 8,1 | 71 | 10,0 | 95 | 9,0 |
| 24 | 8,1 | 104 | 8,1 | 72 | 9,1 | 96 | 9,1 |
| 25 | 8,9 | 105 | 8,5 | 73 | 6,0 | 109 | 9,0 |
| 26 | 5,0 | 106 | 7,0 | 74 | 8,1 | 110 | 9,0 |
| 27 | 7,6 | 107 | 9,0 | 75 | 9,0 | 111 | 10,0 |
| 28 | 8,1 | 108 | 8,1 | 76 | 9,1 | 112 | 5,0 |

Cuadro XXX. Agrado para el queso elaborado bajo el tratamiento de Yp % de proteína en la materia prima.

| Repetición | Agrado | Repetición | Agrado | Repetición | Agrado | Repetición | Agrado |
|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| 1 | 3,9 | 17 | 9,0 | 33 | 8,0 | 49 | 8,0 |
| 2 | 8,1 | 18 | 9,3 | 34 | 9,5 | 50 | 10,0 |
| 3 | 9,0 | 19 | 5,1 | 35 | 3,7 | 51 | 8,0 |
| 4 | 8,3 | 20 | 9,0 | 36 | 4,0 | 52 | 10,0 |
| 5 | 10,0 | 21 | 7,6 | 37 | 8,0 | 53 | 9,4 |
| 6 | 8,1 | 22 | 6,6 | 38 | 9,1 | 54 | 9,0 |
| 7 | 9,1 | 23 | 10,0 | 39 | 10,0 | 55 | 9,8 |
| 8 | 10,0 | 24 | 8,5 | 40 | 9,0 | 56 | 8,8 |
| 9 | 7,6 | 25 | 9,0 | 41 | 9,6 | 57 | 6,8 |
| 10 | 7,1 | 26 | 9,5 | 42 | 9,0 | 58 | 7,1 |
| 11 | 9,0 | 27 | 8,6 | 43 | 7,0 | 59 | 7,0 |
| 12 | 10,0 | 28 | 9,0 | 44 | 9,4 | 60 | 9,1 |
| 13 | 8,1 | 29 | 4,0 | 45 | 9,5 | 61 | 9,7 |
| 14 | 9,1 | 30 | 9,0 | 46 | 8,5 | 62 | 8,0 |
| 15 | 9,1 | 31 | 8,5 | 47 | 9,2 | 63 | 6,6 |
| 16 | 4,0 | 32 | 9,0 | 48 | 10,0 | 64 | 7,1 |
| 17 | 8,1 | 97 | 6,0 | 65 | 8,0 | 77 | 0,0 |
| 18 | 5,2 | 98 | 9,4 | 66 | 6,5 | 78 | 8,1 |
| 19 | 9,6 | 99 | 8,1 | 67 | 10,0 | 79 | 10,0 |
| 20 | 9,0 | 100 | 7,1 | 68 | 9,1 | 80 | 10,0 |
| 21 | 8,6 | 101 | 10,0 | 69 | 7,1 | 93 | 9,5 |
| 22 | 9,1 | 102 | 10,0 | 70 | 8,0 | 94 | 9,0 |
| 23 | 7,1 | 103 | 8,0 | 71 | 10,0 | 95 | 7,1 |
| 24 | 8,4 | 104 | 9,0 | 72 | 7,0 | 96 | 8,4 |
| 25 | 9,9 | 105 | 8,0 | 73 | 7,7 | 109 | 7,5 |
| 26 | 9,6 | 106 | 3,0 | 74 | 7,0 | 110 | 10,0 |
| 27 | 8,0 | 107 | 9,0 | 75 | 7,5 | 111 | 10,0 |
| 28 | 9,0 | 108 | 9,9 | 76 | 10,0 | 112 | 7,7 |

Cuadro XXXI. Agrado para el queso elaborado bajo el tratamiento de Zp % de proteína en la materia prima.

| Repetición | Agrado | Repetición | Agrado | Repetición | Agrado | Repetición | Agrado |
|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| 1 | 8,2 | 17 | 9,0 | 33 | 5,0 | 49 | 7,1 |
| 2 | 10,0 | 18 | 8,8 | 34 | 10,0 | 50 | 10,0 |
| 3 | 7,5 | 19 | 6,1 | 35 | 6,4 | 51 | 7,0 |
| 4 | 5,0 | 20 | 9,5 | 36 | 7,1 | 52 | 10,0 |
| 5 | 10,0 | 21 | 8,8 | 37 | 10,0 | 53 | 9,1 |
| 6 | 9,0 | 22 | 7,0 | 38 | 10,0 | 54 | 9,5 |
| 7 | 9,5 | 23 | 10,0 | 39 | 9,5 | 55 | 9,8 |
| 8 | 10,0 | 24 | 7,5 | 40 | 8,0 | 56 | 9,3 |
| 9 | 8,5 | 25 | 7,9 | 41 | 7,6 | 57 | 9,0 |
| 10 | 9,6 | 26 | 10,0 | 42 | 7,0 | 58 | 7,1 |
| 11 | 10,0 | 27 | 9,0 | 43 | 9,0 | 59 | 9,0 |
| 12 | 10,0 | 28 | 9,0 | 44 | 5,4 | 60 | 10,0 |
| 13 | 8,6 | 29 | 8,0 | 45 | 9,0 | 61 | 7,6 |
| 14 | 9,1 | 30 | 8,1 | 46 | 8,0 | 62 | 7,5 |
| 15 | 9,8 | 31 | 8,0 | 47 | 7,6 | 63 | 9,0 |
| 16 | 6,0 | 32 | 7,5 | 48 | 8,0 | 64 | 8,6 |
| 17 | 9,0 | 97 | 5,1 | 65 | 3,9 | 77 | 5,0 |
| 18 | 6,2 | 98 | 7,6 | 66 | 3,0 | 78 | 10,0 |
| 19 | 7,1 | 99 | 8,0 | 67 | 7,0 | 79 | 10,0 |
| 20 | 7,7 | 100 | 7,0 | 68 | 9,0 | 80 | 9,5 |
| 21 | 10,0 | 101 | 8,1 | 69 | 10,0 | 93 | 7,0 |
| 22 | 8,0 | 102 | 10,0 | 70 | 6,1 | 94 | 8,6 |
| 23 | 10,0 | 103 | 9,3 | 71 | 8,0 | 95 | 10,0 |
| 24 | 9,1 | 104 | 8,8 | 72 | 10,0 | 96 | 9,2 |
| 25 | 8,3 | 105 | 10,0 | 73 | 9,4 | 109 | 8,1 |
| 26 | 8,0 | 106 | 6,1 | 74 | 5,0 | 110 | 8,0 |
| 27 | 7,0 | 107 | 7,4 | 75 | 8,0 | 111 | 9,0 |
| 28 | 8,0 | 108 | 10,0 | 76 | 10,0 | 112 | 9,1 |