



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA

Programa de Posgrado en Alimentos del Centro de la República
(PROPAC)

Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

**“DESARROLLO DE UN ADEREZO REDUCIDO EN GRASA
UTILIZANDO SUERO LÁCTEO CAPRINO”**

T E S I S

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Presenta:

LN. Reyna Margely Pool Cab.

Dirigido por:

Dra. Silvia Lorena Amaya Llano.

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Noviembre, 2016.



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Química
Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

"DESARROLLO DE UN ADEREZO REDUCIDO EN GRASA UTILIZANDO
SUERO LÁCTEO CAPRINO"

T E S I S

que como parte de los requisitos para obtener el grado de:
Maestro en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Presenta:

LN. Reyna Margely Pool Cab.

Dirigido por:

Dra. Silvia Lorena Amaya Llano

SINODALES

Dra. Silvia Lorena Amaya Llano
Presidente

Dr. Eduardo Castaño Tostado
Secretario

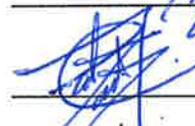
Dr. Sergio de Jesús Romero Gómez
Vocal

Dra. Rosalía Reynoso Camacho
Suplente

Dra. Beneranda Murúa Pagola
Suplente

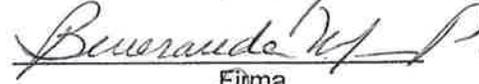
M.S.P. Sergio Pacheco Hernández
Director de la Facultad


Firma


Firma


Firma


Firma


Firma


Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
Directora de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Noviembre, 2016.

RESUMEN

El interés en los productos lácteos de origen caprino ha ido creciendo, especialmente en el queso. Durante su manufactura se genera el suero, el cual es un contaminante si no es aprovechado, sin embargo, por su composición es considerado un producto de alto valor nutricional. De esta manera, es necesario buscar alternativas para su aprovechamiento. Por otro lado, la tecnología de separación de membrana se utiliza en la industria láctea con diferentes fines, entre ellos la concentración de proteínas para su comercialización o empleo en la formulación de nuevos productos. El objetivo de esta investigación fue desarrollar un aderezo reducido en grasa a base de un retenido de suero lácteo de cabra obtenido por ultrafiltración, así como evaluar su estabilidad sensorial. Previo a la elaboración del aderezo, se realizaron análisis proximales y fisicoquímicos al suero lácteo caprino y a su retenido. Para la preparación del aderezo, se emplearon dos estabilizantes, goma xantana (GX) y carboximetilcelulosa (CMC), en cuatro diferentes proporciones, definidas mediante un diseño experimental de mezclas. Los parámetros empleados para caracterizar las formulaciones obtenidas fueron: pH, porcentaje de acidez e índice de peróxido. La evaluación sensorial permitió elegir una de las formulaciones, la cual posteriormente se caracterizó mediante análisis proximales y se evaluó en el estudio de estabilidad sensorial. Los resultados mostraron que el contenido de proteína incrementó en el retenido con respecto al suero lácteo (1.4 g/100 g *versus* 0.85 g/100 g, respectivamente). Así mismo, las mezclas de estabilizantes no afectaron los valores de pH, acidez e índice de peróxido de las formulaciones ($p > 0.05$). Mediante la evaluación sensorial se eligió la formulación con la mezcla 0.5/0.2% (GX/CMC). De acuerdo con las normas establecidas, el aderezo desarrollado es un producto reducido en grasa (22%) y su contenido de proteína es 2.4 veces mayor a lo recomendado. Durante un periodo de 28 días, el porcentaje de acidez, índice de peróxido y porcentaje de creaming incrementaron, mientras que el pH y el coeficiente de consistencia disminuyeron en las muestras almacenadas a 29.5, 35 y 45°C. Sensorialmente, se consideró un producto estable pues a los 14 días se observó un rechazo del 7 – 21%, 12 - 28% y 18 - 37% para las muestras almacenadas a 29.5, 35 y 45°C, respectivamente. El análisis de correlación mostró que el índice de peróxido y el porcentaje de creaming son los parámetros que correlacionan mejor con la probabilidad de rechazo, aunque el segundo sólo se presentó en las muestras de 35 y 45°C. Finalmente, el aderezo desarrollado representa una opción más saludable para los consumidores de este tipo de producto, así como para el aprovechamiento del suero lácteo caprino.

Palabras clave: Suero lácteo caprino, aderezo, estabilizante, estabilidad sensorial.

ABSTRACT

The interest for goat dairy products has been increasing, especially with cheese. During cheese production a considerable volume of whey is generated, which represents a significant water pollutant when it is discharged. However, considering its composition, whey has a high nutritional value. Therefore, it would be beneficial to find alternative uses for whey. On the other hand, membrane separation technology has different applications in dairy industry, such as protein concentration that can be used for new product development. The objective of this research was to develop a reduced-fat salad dressing using the retentate fraction of goat whey obtained from ultrafiltration, as well as to evaluate its sensory stability. Previously, proximate and physico-chemical analysis of whey and its retentate were performed. For the creation of salad dressing, two stabilizers, xanthan gum (GX) and carboxymethylcellulose (CMC), were added in four different proportions according to an experimental mixture design. The following parameters were measured to characterize the formulations: pH, titratable acidity, and peroxide value. One of the formulations was chosen by consumers which underwent proximate analysis and the sensory stability study. The results showed that protein content of retentate was higher than whey (1.4 g/100 g *versus* 0.85 g/100 g, respectively). The stabilizer mixtures did not affect pH, titratable acidity, and peroxide value of formulations ($p > 0.05$). Sensory evaluation allowed to select the formulation containing 0.5/0.2% (GX/CMC). According to regulations, the salad dressing is a reduced fat product (22%) and its protein content is 2.4 fold higher than the minimum recommended percentage. The titratable acidity, peroxide value, and creaming percentage increased while pH and consistency coefficient decreased in samples at 29.5, 35 and 45°C during the 28-day storage period. The results of sensory evaluation showed that salad dressing at the 14-day storage was rejected by 7 – 21%, 12 - 28%, and 18 - 37% of consumers in samples stored at 29.5, 35 and 45°C, respectively. Correlation analysis showed that peroxide value and creaming percentage correlated better with the rejection probability, although the second one was only observed in samples at 35 and 45°C. Lastly, the salad dressing developed represents a healthier option for those who consume these products as well as an alternative use for caprine whey.

Keywords: Caprine whey, salad dressing, stabilizer, sensory stability.

DEDICATORIAS

A Dios, por permitirme terminar una etapa más de mi vida, algo que no hubiera podido lograr sola, por ayudarme en todo momento y bendecirme en incontables ocasiones aun sin merecerlo.

A mis padres, Humberto y Reyna, porque a pesar de la distancia, siempre me dieron su apoyo incondicional y me animaron en los momentos difíciles.

A mis hermanos, Freddy y Jahdiel, por sus consejos y por recordarme de diferentes maneras lo que realmente vale la pena.

A mis amigas, Martha, Cindy y Margarita, por estar siempre ahí, escucharme incluso cuando no tenía sentido lo que decía, por sus consejos y por darme ánimos con sus palabras y acciones.

AGRADECIMIENTOS

A mis amigas y compañeras de generación, Abril, Adriana y Gaby por todo el apoyo que me brindaron y los momentos que compartimos en el transcurso de la maestría.

A mis compañeros de laboratorio, Flor, Lucía, Samy, Miguel y Manuel, porque a pesar de que fue corto el tiempo que los conocí, agradezco la ayuda que cada uno me dio de diferentes maneras.

A la Dra. Silvia Amaya Llano, por su dirección en este proyecto.

A mis sinodales, Dr. Eduardo Castaño Tostado, Dr. Sergio Romero Gómez, Dra. Rosalía Reynoso Camacho y Dra. Beneranda Murúa Pagola, por sus aportaciones para la mejora de este trabajo.

A Carmelita y al personal administrativo, por su orientación y ayuda.

A la Universidad Autónoma de Querétaro y al Programa de Posgrado en Alimentos del Centro de la República, por todo el apoyo brindado durante la realización de este trabajo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico otorgado durante el programa de maestría.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	i
ABSTRACT.....	ii
INDICE DE CUADROS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Leche de cabra.....	3
2.1.1 Composición de la leche de cabra <i>versus</i> otros tipos de leche.....	3
2.1.2 Producción de leche de cabra en el mundo y en México.....	4
2.1.3 Producción de queso y suero lácteo de cabra.....	5
2.2 Suero lácteo de cabra.....	6
2.2.1 Suero dulce y ácido.....	6
2.2.2 Composición del suero lácteo de cabra.....	6
2.2.2.1 Proteínas.....	8
2.2.2.2 Lípidos.....	8
2.2.2.3 Carbohidratos.....	9
2.2.2.4 Vitaminas y sales minerales.....	10
2.2.3 El suero lácteo como contaminante ambiental.....	11
2.3 Tecnología de separación por membrana.....	12
2.3.1 Aplicaciones de la tecnología de separación por membrana en la industria láctea.....	14
2.4 Desarrollo de aderezos.....	16
2.4.1 Definición de aderezo.....	16
2.4.2 Ingredientes para la elaboración de aderezos.....	16
2.4.3 Desarrollo de aderezos a base de suero lácteo.....	18

2.4.4	Estudios de estabilidad en aderezos	19
3.	JUSTIFICACIÓN.....	22
4.	OBJETIVOS.....	24
4.1	Objetivo general	24
4.2	Objetivos específicos	24
5.	METODOLOGÍA	25
5.1	Estrategia general	25
5.2	Materiales.....	26
5.3	Métodos.....	26
5.3.1	Análisis proximal y fisicoquímico del suero lácteo de cabra	26
5.3.1.1	Acidez titulable, método AOAC No. 947.05	26
5.3.2	Obtención del retenido por ultrafiltración	27
5.3.3	Elaboración del aderezo.....	27
5.3.4	Análisis químico del aderezo	28
5.3.5	Determinación de la mezcla de proporciones de hidrocoloides....	28
5.3.5.1	Determinación de indicadores analíticos	29
5.3.5.2	Evaluación sensorial.....	29
5.3.6	Estudio de vida de estabilidad sensorial.....	29
5.3.6.1	Duración del estudio y factor acelerante.....	29
5.3.6.2	Determinación de parámetros de calidad y estabilidad	30
5.3.6.3	Diseño de almacenamiento en reversa	31
5.3.6.4	Análisis microbiológico	32
5.3.6.5	Evaluación sensorial del aderezo	33
5.4	Diseño experimental y análisis estadístico	34
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
6.1	Composición fisicoquímica del suero lácteo caprino y su retenido.	35
6.2	Diseño experimental de mezclas.....	37

6.2.1 Evaluación sensorial.....	38
6.3 Caracterización química del aderezo	43
6.4 Estudio de estabilidad sensorial del aderezo	45
6.4.1 Parámetros fisicoquímicos evaluados durante el estudio de estabilidad.....	48
6.4.2 Análisis de correlación entre los parámetros fisicoquímicos y la probabilidad de rechazo.....	59
7. CONCLUSIONES	64
8. REFERENCIAS	66

INDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1 Composición promedio (% w/w) de la leche de algunas especies.....	3
Cuadro 2.2 Principales países productores de leche de cabra en el 2013	5
Cuadro 2.3. Composición del suero dulce y ácido de cabra en dos estudios.....	7
Cuadro 2.4 Composición general del suero dulce caprino (basado en sólidos totales) obtenido de granjas e industrias queseras	7
Cuadro 2.5 Concentración de las principales proteínas en el suero de leche de cabra y de vaca	8
Cuadro 5.1 Proporción de ingredientes empleados en la formulación del aderezo ..	27
Cuadro 5.2 Diseño experimental de mezclas del aderezo	28
Cuadro 6.1 Composición fisicoquímica del suero lácteo caprino y su retenido	35
Cuadro 6.2 Diseño experimental de mezclas y valores de pH, acidez total e índice de peróxido de las formulaciones de aderezo	37
Cuadro 6.3 Valores de pH, acidez e índice de peróxido recomendados por la NMX-F-341-NORMEX-2006 y el Codex Alimentarius	38
Cuadro 6.4 Valores de X^2 y p de los atributos evaluados en las formulaciones de aderezo.....	38
Cuadro 6.5 Composición química del aderezo a base de suero lácteo caprino y de un aderezo comercial	44
Cuadro 6.6 Probabilidad de rechazo para diferentes temperaturas durante el periodo de 14-28 días.....	47
Cuadro 6.7 Análisis de correlación entre la probabilidad de rechazo y los parámetros fisicoquímicos	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Diferentes procesos de separación por membrana	13
Figura 2.2 Aplicaciones de la tecnología de membrana en la industria láctea	15
Figura 5.1 Diseño de almacenamiento en reversa del aderezo.....	32
Figura 6.1 Análisis de correspondencia de las formulaciones considerando el atributo de sabor.....	39
Figura 6.2 Análisis de correspondencia de las formulaciones considerando el atributo de olor.....	40
Figura 6.3 Análisis de correspondencia de las formulaciones considerando el atributo de consistencia	41
Figura 6.4 Análisis de correspondencia de las formulaciones considerando el atributo de agrado general.....	42
Figura 6.5 Aceptación/rechazo de las muestras de aderezo almacenadas a 29.5°C	46
Figura 6.6 Aceptación/rechazo de las muestras de aderezo almacenadas a 35°C..	46
Figura 6.7 Aceptación/rechazo de las muestras de aderezo almacenadas a 45°C..	47
Figura 6.8 Cambios en el pH del aderezo durante el período de almacenamiento a 29.5, 35 y 45°C.....	48
Figura 6.9 Cambios en el % de acidez del aderezo durante el período de almacenamiento a 29.5, 35 y 45°C.....	50
Figura 6.10 Cambios en el índice de peróxido del aderezo y aceite de soya durante el período de almacenamiento a 29.5, 35 y 45°C.....	51
Figura 6.11 Cambios en el coeficiente de consistencia del aderezo durante el período de almacenamiento a 29.5, 35 y 45°C.....	54
Figura 6.12 Cambios en el % de creaming del aderezo durante el período de almacenamiento a 29.5, 35 y 45°C.....	56
Figura 6.13 Correlación entre la probabilidad de rechazo y los parámetros fisicoquímicos a 29.5°C	60
Figura 6.14 Correlación entre la probabilidad de rechazo y los parámetros fisicoquímicos a 35°C	61
Figura 6.15 Correlación entre la probabilidad de rechazo y los parámetros fisicoquímicos a 45°C	62

1. INTRODUCCIÓN

La producción de leche de cabra en México y en otras regiones del mundo ha ido aumentando. Los factores que han permitido dicho aumento son: a) un mayor consumo doméstico, b) su consumo por el segmento de la población que presenta alergia a la leche de vaca, así como otros problemas gastrointestinales, c) los beneficios potenciales a la salud que se han asociado con su alto contenido de oligosacáridos y nucleótidos, y d) un interés creciente por parte de expertos en los derivados lácteos de origen caprino, especialmente el yogurt y los quesos (Amigo y Fontecha, 2011).

Los quesos de origen caprino representan un producto de gran importancia, sobre todo en regiones de Europa, donde casi toda la producción de leche se destina a su elaboración (Tranjan *et al.*, 2009). En México, aunque no hay un registro exacto de la cantidad de quesos caprinos producidos, la FAO reportó que de los años 1993 a 2013, hubo un incremento paulatino en la producción de 17.5% (FAO, 2015a).

El suero lácteo es un subproducto de la manufactura del queso y posee un gran valor nutricional, por su contenido de proteínas de alto valor biológico, vitaminas hidrosolubles, minerales y oligosacáridos (Hernández-Ledesma, Ramos, y Gómez-Ruiz, 2011).

No obstante, para la industria quesera representa un problema ya que se estima que por cada kilogramo de queso producido, se generan 11 litros de suero, de manera que en términos prácticos se produce una gran cantidad de suero que generalmente se utiliza como fertilizante en el campo, se desecha en lagunas, aguas residuales o el mismo océano, donde se oxida (Smithers, 2008; Tranjan *et al.*, 2009). De este modo, el suero es considerado un contaminante, pues su eliminación representa una sobrecarga para la mayoría de los sistemas de tratamientos de desecho, lo que se traduce posteriormente en un malfuncionamiento de dichos sistemas (Janczukowicz, Zieliński, y Dębowski, 2008).

Esta situación ha dado lugar a la búsqueda de alternativas para la utilización del suero lácteo y poder otorgarle un valor agregado. En la industria alimentaria el

procesamiento del suero se ha enfocado en productos que se usan principalmente como ingredientes, entre éstos destacan el suero en polvo, los concentrados y aislados de proteínas y los concentrados de lactosa. También se ha considerado su potencial en el desarrollo de nuevos productos, debido a las propiedades nutricionales y funcionales que presenta (Jeličić, Božanić, y Tratnik, 2008).

Por otro lado, actualmente hay un mayor interés en la población por mejorar la calidad de su alimentación y prevenir aquellas enfermedades relacionadas con la dieta; una de las tendencias principales es la demanda y consumo de alimentos reducidos en grasa, con el fin de evitar o no agravar padecimientos como el sobrepeso, la obesidad y otros derivados de éstos (Micha *et al.*, 2014).

Entre los alimentos que se caracterizan por su elevado contenido de grasas se encuentran los aderezos, pues en algunos conforman hasta el 65% de su peso total (De Cássia da Fonseca *et al.*, 2009). Sin embargo, también presentan la ventaja de que su formulación es susceptible de modificaciones, entre ellos la disminución en la cantidad de aceite y otros compuestos lipídicos empleados, convirtiéndolos de este modo en productos que se ajusten a las necesidades y demandas de la población.

En este trabajo se desarrolló un aderezo reducido en grasa a base de suero lácteo concentrado de cabra, el cual representará una alternativa a la reutilización del suero de quesería, así como una opción más saludable para la población que consume este tipo de productos.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Leche de cabra

2.1.1 Composición de la leche de cabra *versus* otros tipos de leche

La leche se define como el fluido secretado por todas las especies féminas de los mamíferos (Fox y McSweeney, 1998).

Se considera un fluido biológico muy variable. De manera particular, la leche de cabra presenta diferencias en su composición al compararla con la del ganado bovino y la de otros mamíferos. Además de las variaciones propias de cada especie, la composición puede cambiar dependiendo de otros factores, tales como: razas, individualidad del animal, estado de salud y nutrición, etapa de lactación, edad, condiciones del medioambiente, estado sanitario de los animales, entre otros (Fox y McSweeney, 1998; Park, 2006).

En el Cuadro 2.1 se presenta una comparación de la composición general de la leche de cabra y tres especies más.

Cuadro 2.1 Composición promedio (% w/w) de la leche de algunas especies

Animal	Especie	Materia seca	Grasa	Caseína	Proteínas del suero	Carbohidratos	Cenizas
Cabra	<i>Capra hircus</i>	13.3	4.5	3.0	0.6	4.3	0.8
Vaca	<i>Bos taurus</i>	12.8	3.9	2.7	0.6	4.6	0.7
Oveja	<i>Ovis aries</i>	18.6	7.5	4.5	0.8	4.6	1.0
Búfalo	<i>Bubalus bubalis</i>	17.2	7.4	3.3	0.6	4.8	0.8

Fuente: Walstra *et al.*, 2006.

Se puede observar que la composición nutricional de la leche caprina difiere de las otras especies. Destaca su contenido de grasa y proteína, el cual es ligeramente mayor que en la leche de vaca; sin embargo, dichos valores son menores que los de la leche de oveja y búfalo. En el caso de las proteínas del suero, su contenido es similar al de las otras especies, excepto la de oveja.

2.1.2 Producción de leche de cabra en el mundo y en México

En los últimos años, ha habido un interés creciente en la producción de leche caprina. Entre los factores que han contribuido a esto se encuentran los siguientes:

- a) Mayor consumo en los países en desarrollo en comparación con la leche de vaca, por lo que representa una alternativa para la nutrición de la población de escasos recursos.
- b) Alternativa para las personas que presentan alergia a la leche bovina o tienen otros desórdenes gastrointestinales.
- c) En muchos países desarrollados hay un interés por parte de expertos en los derivados lácteos de origen caprino, especialmente los quesos y el yogurt. Por lo que este segmento del mercado ha ido creciendo en los últimos años.
- d) Los potenciales beneficios a la salud que se han asociado con su alto contenido de oligosacáridos y nucleótidos.

(Amigo y Fontecha, 2011; Haenlein, 2004).

De acuerdo con los datos de la FAOSTAT (2015), la producción de queso de cabra ha aumentado en varios países, incluyendo México. Por consiguiente, también ha incrementado la generación de suero lácteo caprino, por lo que se han ido desarrollando varias alternativas para su empleo, entre las que se encuentran el desarrollo de nuevos productos.

En términos de producción mundial, la leche de cabra se ubica en el tercer lugar después de la de vaca y búfalo. En 2013, su producción mundial fue de 18,422,372 toneladas. Aunque se estima que estas cifras son mayores, pues una gran proporción de la leche que se emplea para autoconsumo familiar no se reporta (Amigo y Fontecha, 2011; FAO, 2015a).

En cuanto a la producción de leche caprina por regiones, los principales países de Asia que representan este sector son India, Bangladesh y Pakistán (Cuadro 2) (Amigo y Fontecha, 2011; FAO, 2015b).

Por su parte, en el 2007 Europa aportó el 17.5% de la leche de cabra, lo cual equivale a 2,580,000 toneladas. Así mismo, los países que tienen las industrias de lácteos caprinos más desarrolladas son los que se ubican en la región del

Mediterráneo; Francia, Grecia, España e Italia son las naciones que destacan con una producción de leche de 23.1%, 19.5%, 18.3% y 4.5%, respectivamente (Amigo y Fontecha, 2011; Hernández, 2006).

Cuadro 2.2 Principales países productores de leche de cabra en el 2013

Posición	País	Millones de toneladas
1	India	4.33
2	Bangladesh	2.15
3	Sudán	1.49
4	Pakistán	0.71
5	Francia	0.59
6	Malí	0.55
7	España	0.48
8	Sudán del Sur	0.46
9	Grecia	0.45
10	Somalia	0.41

Fuente: Adaptado de FAOSTAT, 2015.

Respecto al continente africano, la leche de cabra conforma una parte importante de la producción lechera total en la región subsahariana con un 13% (FAO, 2015b).

En el caso de Norte América, sorprende el hecho de que Estados Unidos no figura entre los principales productores de leche, pero esto se debe a que se enfoca en la obtención de carne caprina, aunque en los últimos años la manufactura del queso de cabra ha incrementado (Hernández, 2006; Zeng, Soryal, Fekadu, Bah, y Popham, 2007).

Con relación a México, en el 2012 se ubicó en el sitio 21 en términos de producción y de acuerdo con datos del SIAP, en el 2014 se reportó una producción de 155,497 toneladas de leche caprina. Las zonas en las que se concentra dicha producción son el centro y el norte del país, siendo Coahuila el estado con mayor producción registrada y siguiendo en orden Guanajuato y Durango; cabe mencionar que el estado de Querétaro ocupa el 14° lugar, con un registro de 1,441 toneladas de leche (SAGARPA, CNSP Caprinos, y CNG, 2014; SIAP, 2015).

2.1.3 Producción de queso y suero lácteo de cabra

La leche de cabra ha ido ganando importancia económica en el Mediterráneo, así como en otras regiones del mundo, debido a su empleo en la

elaboración de quesos. A nivel mundial, Europa lidera en este rubro con 45% de la producción total de quesos; le siguen Asia, África y América, con 26.3%, 21.7% y 7%, respectivamente (Amigo y Fontecha, 2011; FAO, 2015a).

Entre los principales países productores de queso de cabra en el mundo se encuentran Sudán, Francia, Irán, Grecia y España, con una producción que va desde 108,818 toneladas, en el caso del primero, hasta 39,573 toneladas, en el caso del último.

En México, si bien no hay un registro exacto de la cantidad de quesos caprinos producidos, la FAO reportó que de los años 1993 a 2013, hubo un incremento paulatino en la producción de 13,360 a 16,290 toneladas, respectivamente (FAO, 2015a).

Se estima que por cada kilo de queso de cabra producido, se generan aproximadamente 11 litros de suero lácteo, por lo que si se considera que la producción de queso de cabra en México es de 15,698 toneladas, entonces la cantidad de suero lácteo resultante es de aproximadamente 179,190,000 litros. Esta gran proporción de suero generalmente se desecha o se usa una parte como fertilizante (Zeng *et al.*, 2007).

2.2 Suero lácteo de cabra

2.2.1 Suero dulce y ácido

Uno de los elementos que conforman la leche es el suero. Hernández *et al.* (2011) lo definen como la fracción soluble de la leche, rico en proteínas, minerales y lactosa, que son separados de la caseína durante la manufactura del queso o de la caseína. Se puede encontrar en dos presentaciones, de acuerdo con el método de obtención al que se someta. La coagulación dirigida por la renina libera el suero dulce o suero de queso; mientras que la coagulación de la caseína por acción de minerales o del ácido láctico, es denominado suero ácido.

2.2.2 Composición del suero lácteo de cabra

De manera general, el suero representa aproximadamente el 90% del volumen total de la leche. Respecto a la composición del suero lácteo caprino, hay

una menor cantidad de estudios en comparación con los del suero bovino, y los reportes existentes presentan algunas variaciones en los parámetros medidos. Se ha señalado que su composición depende de la fuente y el tipo de suero, así como del proceso tecnológico empleado para la producción del queso (Pintado, Da Silva, y Malcata, 1999). Esto se puede observar en el estudio de Gomes *et al.* (2013) y en el de Pintado *et al.* (2001), en el que se notan variaciones en la composición del suero dulce y ácido (Cuadro 2.3).

Cuadro 2.3. Composición del suero dulce y ácido de cabra en dos estudios

Compuesto	Gomes <i>et al.</i> (dulce)	Frévier y Bourdin (ácido)
Proteínas (g/L)	11.28	9.35
Grasa (g/L)	4.92	0.40
Lactosa (g/L)	51.89	39.18
Sólidos totales (g/L)	70.35	62.91
Cenizas (g/L)	3.08	8.36
pH	6.59	-

Fuente: Adaptado de Gomes *et al.* (2013) y Pintado *et al.* (2001).

Los valores del suero también varían por su origen artesanal o industrial; así lo demuestran los resultados obtenidos por Moreno-Indias *et al.* (2009), que estudiaron la composición general del suero dulce caprino. En el Cuadro 2.4 se pueden apreciar dichas diferencias.

Cuadro 2.4 Composición general del suero dulce caprino (basado en sólidos totales) obtenido de granjas e industrias queseras

Compuesto	Granja	Industria
Sólidos totales (g/L)	70.6	50.8
Proteínas (%)	14.6	18.9
Grasa (%)	10.5	1.2
Lactosa (%)	70.5	74.2

Fuente: Adaptado de Moreno-Indias *et al.*, 2009.

Por otra parte, es importante recalcar que hay poca información disponible acerca de los componentes del suero y la que existe se ha realizado en el suero dulce, pues las investigaciones se han enfocado más en los compuestos de la leche.

Con relación a dichos componentes, las proteínas y los péptidos con actividad biológica son los más estudiados. En los siguientes apartados se presenta una descripción de las proteínas del suero de la leche de cabra; sin embargo, la información relacionada con otros nutrimentos como los lípidos, carbohidratos,

minerales y vitaminas, corresponden a la composición de la leche y no a la del suero, a menos que se indique lo contrario.

2.2.2.1 Proteínas

La composición de las proteínas del suero de leche caprina es única y depende de varios factores entre los que se puede citar el tipo de suero (dulce o ácido), la temporada del año, el tipo de alimentación, el estado de lactación y la calidad del procesamiento (Hernández-Ledesma *et al.*, 2011)

En el Cuadro 2.5 se puede observar la comparación entre las proteínas del suero lácteo de cabra y de vaca.

Cuadro 2.5 Concentración de las principales proteínas en el suero de leche de cabra y de vaca

	Concentración (g/L)	
	Caprino	Bovino
Proteínas totales del suero	3.7–7.0	5.0–9.0
β-lactoglobulina	1.8–2.8	3.2–4.0
α-lactoalbúmina	0.6–1.1	1.2–1.5
Seroalbúmina	0.26–0.3	0.3–0.6
Lactoferrina	0.12	0.05–0.2

Fuente: Adaptado de Hernández-Ledesma *et al.*, 2011.

Las proteínas mayoritarias del suero son la β-lactoglobulina y la α-lactoalbúmina; otras que están presentes en menor proporción son la seroalbúmina, lactoferrina, inmonoglobulinas, peptonas-proteasas y caseinmacropéptido (las tres últimas no se encuentran en la tabla). Se podría predecir que las proteínas pueden aportar péptidos bioactivos como los encontrados en las proteínas del suero de vaca, dada la gran similitud que presentan en su estructura primaria (Hernández-Ledesma *et al.*, 2011)

2.2.2.2 Lípidos

La grasa de la leche de cabra se puede clasificar en tres tipos: lípidos simples, constituidos por triglicéridos, diacilglicéridos y monoacilglicéridos; lípidos compuestos, como los fosfolípidos; y los compuestos liposolubles, entre los que destacan los esteroides y los ésteres de colesterol.

Comúnmente, los lípidos están en forma de glóbulos y el diámetro de aquellos que se encuentran en la leche de cabra es menor en comparación con los de la leche de vaca (3.49 vs 4.55 μm , respectivamente). La membrana de estos glóbulos representa alrededor del 1% del total de lípidos y, tanto su estructura como su composición, son similares al de la especie bovina. Además, se ha reportado que la grasa de la leche caprina no contiene aglutinina, proteína responsable de la aglomeración de los glóbulos grasos. Por esta razón, se considera que la grasa láctea de esta especie es de más fácil digestión, pues las lipasas tienen una mayor área disponible para actuar. Con relación a las lipasas, el 46% se encuentra en el suero lácteo (Chacón, 2005; Park, Juárez, Ramos, y Haenlein, 2007).

En el estudio realizado por Moreno-Indias *et al.* (2009), el contenido de grasa en el suero varió de acuerdo a su origen, siendo de 10.5% en aquel proveniente de las granjas y de 1.2%, de aquel obtenido de la industria quesera (datos basados en el contenido de sólidos totales).

Con respecto al perfil de ácidos grasos en el suero, se ha reportado que los principales son los siguientes: C16:0 (40%), C18:1 (26%), C14:0 (15%) y C18:0 (11%) (Moreno-Indias *et al.*, 2009).

2.2.2.3 Carbohidratos

En la leche de cabra el contenido de lactosa es de 4.1 mg/100 mL, representando el carbohidrato más importante. Se calcula que el 95% de la lactosa total de la leche se encuentra en el suero. Con base en esta consideración, el contenido aproximado en el suero es de 3.89 mg/100 ml (Hernández-Ledesma *et al.*, 2011; Park *et al.*, 2007).

En el caso del suero ácido caprino, se ha reportado que el contenido de lactosa es de 62.3% (con base en peso seco), mientras que en el suero dulce, en el que se han realizado más estudios en comparación al primero, puede ir de 70.5% a 74.2% (Moreno-Indias *et al.*, 2009; Pintado *et al.*, 2001)

La leche de cabra tiene 0.2 – 0.5% menos contenido de lactosa que la leche de vaca; sin embargo, su proporción de monosacáridos y oligosacáridos es mayor en comparación con la bovina. También hay otros carbohidratos en la leche de

cabra, como los glucopéptidos, glucoproteínas y nucleótidos-azúcar, aunque existen muy pocos estudios respecto a ellos (Park, 2009; Park *et al.*, 2007).

Con referencia a los oligosacáridos, hay una gran diferencia entre la leche caprina y bovina (250 – 300 mg/L *versus* 20 – 30 mg/L, respectivamente) (Park *et al.*, 2007). Martínez-Ferez *et al.* (2006) señala que la leche de cabra es la fuente más rica de estos componentes entre las especies rumiantes. Por su parte, Oliveira *et al.* (2012) estudiaron los oligosacáridos del suero caprino, pero los resultados relacionados a su composición fueron reportados de acuerdo a las fracciones obtenidas en la cromatografía de exclusión por tamaño; de este modo, establecen que la mayor concentración de oligosacáridos (16 – 23.7 mg/L) se encontró en las fracciones 10 a la 16, de un total de 28.

Park *et al.* (2007) refieren que muchos de los oligosacáridos podrían estar implicados en el buen funcionamiento de las membranas, de los receptores de membranas de células nerviosas y, en general, a un buen desarrollo del cerebro, debido a que contienen ácido N-acetilneuramínico y ácido N-acetilglucosilneuramínico, comúnmente conocido como ácido siálico. Otros estudios destacan sus propiedades prebióticas, las cuales están relacionadas con factores de crecimiento y potenciales funciones antiinflamatorias (Martínez-Ferez *et al.*, 2006; Park, 2009).

En el caso de los nucleótidos-azúcar, su contenido en la leche de cabra, es más del doble que en la leche de vaca (154 $\mu\text{mol}/100\text{ mL}$ *versus* 68 $\mu\text{mol}/100\text{ mL}$, respectivamente). Su importancia radica en que son precursores en la síntesis de oligosacáridos, glucoproteínas y glucolípidos de la leche (Park *et al.*, 2007).

2.2.2.4 Vitaminas y sales minerales

Con respecto al contenido de vitaminas, es importante señalar la diferencia entre la distribución de las vitaminas liposolubles y las hidrosolubles, pues la mayor proporción de las primeras está en la cuajada, mientras que las segundas se encuentran principalmente en el suero (Hernández-Ledesma *et al.*, 2011).

La leche de las especies caprinas cuenta con un mayor contenido de vitamina A que su contraparte bovina (185 mg vs 126 mg, respectivamente), aunque probablemente se encuentra principalmente en la cuajada). En el caso de las vitaminas hidrosolubles, las cantidades de tiamina, riboflavina y niacina son

ligeramente superiores en la leche de cabra que en la de vaca (0.068, 0.21 y 0.27 mg vs 0.045, 0.16 y 0.08 mg, respectivamente) (Park *et al.*, 2007).

En cuanto a las sales minerales, en el estudio de Pintado *et al.* (2001) se reportó que el porcentaje de cenizas en el lactosuero ácido caprino es de aproximadamente 4.4%. Sin embargo, no se cuenta con información detallada acerca del contenido mineral del suero, producto de la manufactura del queso.

2.2.3 El suero lácteo como contaminante ambiental

El suero es uno de los principales productos resultantes en la manufactura del queso, representa aproximadamente 80-90% del volumen de la leche transformada (Kaur, Panesar, Bera, y Kumar, 2009). En promedio, a nivel mundial los volúmenes de suero están incrementando de modo similar a los volúmenes de leche (> 2% por año). Este aumento en la producción de leche se traduce en una mayor producción de queso y, en consecuencia, de suero lácteo (Smithers, 2008).

Históricamente, el suero ha sido considerado como un efluente de desecho y una molestia para los productores de quesos. Respecto al manejo del suero como un desecho, las prácticas pueden variar entre los países del primer mundo y los considerados en vías de desarrollo. Entre los métodos que se han utilizado para su disposición se encuentran los siguientes: a) como fertilizante, b) venta como alimento para animales, c) descarga del suero en ríos, lagos o el océano, aunque en años recientes esta práctica ha sido restringida por las legislaciones de varios países, y d) descarga en los sistemas municipales de aguas residuales (Smithers, 2008; Tunick, 2008). En relación con los dos últimos puntos, representa un gran problema debido a su demanda de oxígeno.

La demanda biológica de oxígeno (DBO) del suero es muy alta con un rango de 27 – 60 g/L y una de demanda química de oxígeno (DQO) de 50 – 102 g/L; cuando se compara con la carga orgánica del agua residual de uso doméstico, resulta que la carga de contaminación del suero lácteo es equivalente a cien veces el volumen de la primera (Carvalho, Prazeres, y Rivas, 2013). La alta demanda de oxígeno del suero se debe a su elevado contenido de sólidos orgánicos, como lactosa y compuestos nitrogenados. Así, desde este enfoque, este efluente es

considerado un contaminante, pues su eliminación en grandes cantidades representa una sobrecarga a la mayoría de los sistemas de tratamientos de desecho, lo que se traduce posteriormente en un malfuncionamiento de dichos sistemas (Janczukowicz *et al.*, 2008).

Por otro lado, también es importante mencionar que su eliminación como desecho implica un costo para las plantas procesadoras de quesos, pues éstas se encargan de manejarlo y transportarlo hacia los lugares donde se eliminará. Todo esto genera un costo extra a las industrias, mismo que se reflejará en el precio final del queso, por lo que en este sentido hay un gran interés por utilizar los métodos más económicos de disposición del suero (Smithers, 2008).

2.3 Tecnología de separación por membrana

Este proceso se define como la separación por presión de dos o más componentes de un líquido, basado generalmente en las diferencias de tamaños de partículas o de cargas superficiales. La membrana usada para este proceso actúa como una barrera selectiva, que separa el líquido en dos efluentes, el permeado y el retenido; el primero se refiere a la porción con los componentes que pasan a través de la membrana, mientras que el segundo representa la fracción que contiene los constituyentes rechazados por ésta (Sastre, Pabby, y Rizvi, 2009; Smith, 2013).

La separación por membrana comprende varios métodos: microfiltración (MF), ultrafiltración (UF), nanofiltración (NF) y ósmosis inversa (RO). La principal diferencia entre estos procesos es el grado de permeabilidad de membrana y, por lo tanto, las partículas que se retienen y que varían en tamaño o peso molecular (Gutman, 1987). En la Figura 2.1 se pueden apreciar los componentes que suelen ser retenidos en una membrana y los que pueden pasar a través de ella, para cada uno de los métodos mencionados previamente.

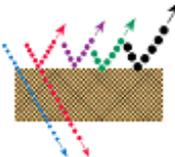
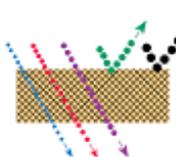
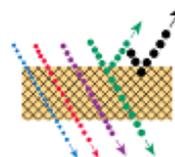
Procesos de Separación	Osmosis Inversa	Nanofiltración	Ultrafiltración	Microfiltración
Componentes retenidos por membrana	Proteínas Bacterias Minerales Azúcares (lactosa)	Proteínas Bacterias Azúcares (lactosa)	Proteínas Bacterias	Bacterias
Permitidos				
Componentes que pasan a través de la membrana (permeado)	iones de agua	iones de agua Minerales	iones de agua Minerales Péptidos pequeños Azúcares (lactosa)	iones de agua Proteínas Minerales Péptidos pequeños Azúcares (lactosa)
Tamaño de poro de la membrana μm	$10^{-4} - 10^{-2}$	$10^{-2} - 10^{-2}$	$10^{-2} - 10^{-1}$	$10^{-1} - 10^1$
Peso molecular kD	<1	<1	1 - 100	500
Presión del sistema Bar	30 - 60	20 - 40	1 - 10	<1

Figura 2.1 Diferentes procesos de separación por membrana

Fuente: Adaptado de Bylund, 2015.

Con respecto a las membranas, pueden clasificarse de diferentes maneras. Por ejemplo, con respecto al material con el que están hechas pueden ser de metal, cerámica, vidrio, líquido o polímeros. Por su estructura pueden ser películas homogéneas, con poros cilíndricos o con estructuras tipo esponja (Strathmann, 2001).

Otro criterio para su clasificación está en función de su capacidad para separar moléculas o partículas. El término que se emplea es el Peso Molecular Límite o Molecular Weight Cut-Off (MWCO) que indica el peso molecular de los compuestos que pueden ser retenidos por la membrana, aunque esta retención no es completa pues se estima que se logra alcanzar alrededor de un 80% (Smith, 2013).

Un parámetro útil en los procesos de membrana es el factor de concentración (FC), el cual se refiere al grado de concentración obtenido para un determinado fluido. El FC puede definirse de la siguiente manera:

$$FC = \frac{\text{Volumen inicial del fluido}}{\text{Volumen final del fluido}}$$

El FC no tiene dimensión, por lo que se expresa como 1x, 2x, etc. y se puede manejar en volumen o peso (Smith, 2013).

Los avances y mejoras en la tecnología de membrana han permitido que sus aplicaciones sean más variadas en diferentes sectores industriales tales como, petroquímica, química, metalurgia, alimentos, biotecnología, farmacéutica, electrónica, papel y tratamiento de aguas (Scott, 2012).

En el caso de los alimentos, la industria láctea es una de las más que se ha favorecido de esta tecnología.

2.3.1 Aplicaciones de la tecnología de separación por membrana en la industria láctea

La tecnología de membrana ha sido aplicada en la industria láctea desde inicios de los años 1970's. A lo largo de cuatro décadas, sus usos se han multiplicado y continúan incrementándose conforme el estudio de las membranas y sus procesos sigue avanzando (Pouliot, 2008).

Para facilitar su presentación, las aplicaciones se pueden dividir en tres áreas principales, las cuales se muestran en la Figura 2.2.

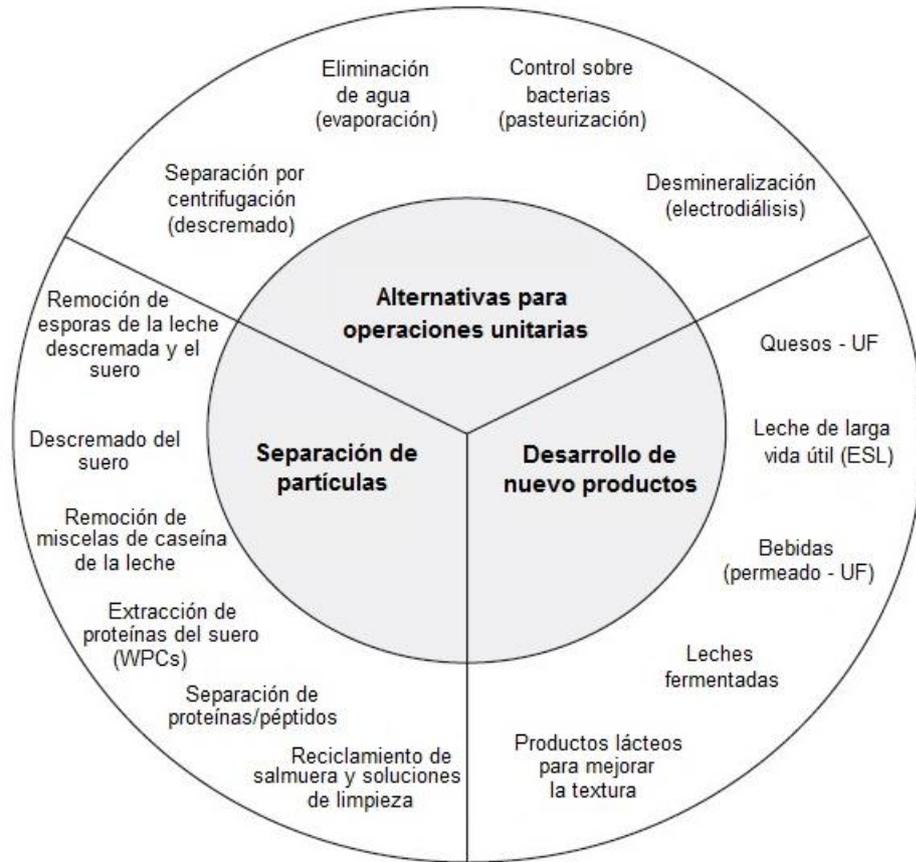


Figura 2.2 Aplicaciones de la tecnología de membrana en la industria láctea

Fuente: Adaptado de Pouliot, 2008.

Las aplicaciones mostradas anteriormente han permitido lograr cambios significativos en tres sectores principales:

- Producción de proteínas lácteas como ingredientes: las proteínas que se pueden lograr obtener a través de los procesos de membranas incluyen las proteínas totales de la leche, caseínas y las del suero. En el caso del suero, se estima que a nivel mundial aproximadamente el 75% del área total de las membranas empleadas para UF y RO son destinadas para su procesamiento (Timmer y Van der Horst, 1998). El concentrado de proteína de suero (WPC), aislado de proteína de suero (WPI), glicomacropéptido (GMP) y concentrados de β -lactoglobulina y α -lactoalbúmina son ejemplos de los ingredientes que se han logrado producir (Rosenberg, 1995).

- Concentración de la leche previa a la elaboración de quesos: la UF y la MC son los procesos que se han empleado para lograr la concentración de la leche. Entre las ventajas que este procedimiento trae en la manufactura de quesos se pueden citar menor generación de suero lácteo, así como mayor rendimiento debido a que parte de las proteínas del suero se retienen en la cuajada, menor costo en renina por kilogramo de queso y uniformidad de la cuajada (Heino, Uusi-Rauva, y Outinen, 2010; Outinen, Heino, y Uusi-Rauva, 2010; Papadatos, Neocleous, Berger, y Barbano, 2003).
- Alternativa para extender la vida de anaquel de la leche: básicamente se refiere a la remoción de esporas y bacterias de la leche. Por ejemplo, mediante la MF se estima que la leche puede tener una vida de anaquel de 30 días a 6°C (Rysstad y Kolstad, 2006).

2.4 Desarrollo de aderezos

2.4.1 Definición de aderezo

Los aderezos comprenden un amplio rango de emulsiones de aceite en agua, los cuales varían en su grado de viscosidad y contenido de grasa que puede ir desde un 20%, en aquellos denominados ‘reducidos en grasa’, hasta un 65% (Dickinson, 2003; FDA, 2013).

La FDA (Federal Drug Administration), define a un aderezo como un alimento semisólido emulsificado y preparado con aceite vegetal, uno o más ingredientes acidificantes, yema de huevo o huevo entero en diferentes presentaciones y pasta de almidón preparada de acuerdo a ciertas especificaciones. Este organismo también señala que puede contener otros ingredientes adicionales o menores, como sal, especias, edulcorantes, entre otros (FDA, 2015).

2.4.2 Ingredientes para la elaboración de aderezos

En el mercado se pueden encontrar muchos tipos de aderezos, producto de la gran variedad de ingredientes empleados en sus formulaciones. A pesar de esta diversidad, hay ingredientes catalogados como principales o básicos para la

elaboración de cualquier aderezo. A continuación se presentan dichos ingredientes y se incluye una breve descripción de cada uno.

- a) **Agua.** Representa la fase continua de la emulsión y aunque es el ingrediente mayoritario en las emulsiones aceite-agua, también puede ser sustituido por otros, como el suero lácteo, el cual adicionalmente puede proporcionar propiedades emulsificantes debido a la presencia de sus proteínas (De Cássia da Fonseca *et al.*, 2009; Monsoor, Farooq, y Haque, 2003).

- b) **Aceite.** Este componente es generalmente de origen vegetal, tal como el de maíz, soya o canola. La FDA establece que un aderezo debe contener al menos 30% de aceite en su composición final y la NMX-F-341-NORMEX-2006, señala que el porcentaje mínimo debe ser de 32.5% (FDA, 2105; NMX-F-341-NORMEX-2006). Sin embargo, debido a la tendencia creciente de consumir alimentos bajos o reducidos en grasa, en los últimos años han salido al mercado aderezos con menor contenido lipídico. En México, se considera que un alimento es reducido en grasa si presenta un 25% menos en relación al contenido graso del alimento original o de su similar (NOM-086-SSA1-1994).

- c) **Ingredientes acidificantes.** El jugo de limón y el vinagre constituyen los ingredientes acidificantes de los aderezos; en el caso del vinagre, puede ser de un tipo o una mezcla de varios. La proporción añadida puede variar, la cual puede ir desde un 10% hasta un 50%, como en los aderezos griegos (FDA, 2015; King, 2011; Paraskevopoulou, Boskou, y Paraskevopoulou, 2007).

- d) **Yema de huevo.** Este ingrediente constituye un emulsificante natural y puede ser incorporado en diferentes presentaciones, como por ejemplo, líquido, congelado o deshidratado; también se puede incluir al huevo entero en las mismas presentaciones. La proporción recomendada de yema líquida en un aderezo es de al menos el 4% o su equivalente en cualquiera de las formas antes citadas (FDA, 2015).

- e) **Almidón.** El almidón que se emplea puede ser de varios tipos como maíz, tapioca o trigo, así como el almidón modificado de éstos; también se pueden

usar sus harinas. Cuando se incorpora a la emulsión, puede ser solo o combinado con otros tipos de almidones o harinas, los cuales pueden actuar como agentes espesantes o estabilizantes (Silva *et al.*, 2010; NMX-F-341-NORMEX-2006).

Además de los ingredientes descritos previamente, también se pueden mencionar otros ingredientes considerados adicionales y que son responsables en gran parte de la diversidad de este tipo de producto:

- f) **Sazonadores.** Constituidos por sal yodatada y diversas especias, aunque la legislación de Estados Unidos y México recomiendan que no se incluyan el azafrán y la cúrcuma, debido a que imparten una coloración parecida al de la yema de huevo, lo cual puede ocasionar malentendidos o prácticas fraudulentas (FDA, 2015; NMX-F-341-NORMEX-2006).

- g) **Edulcorantes nutritivos.** La sacarosa, dextrosa, jarabe de maíz, jarabe de glucosa y miel de abeja conforman este grupo (NMX-F-341-NORMEX-2006).

- h) **Estabilizantes.** Entre éstos se encuentra la goma xantana, arábica, tragacanto, alginato de propilenglicol, carboximetilcelulosa y pectinas. Y como su nombre sugiere, proporcionan estabilidad a la emulsión, así como una textura viscosa la cual se mantiene por más tiempo en comparación con aquellos aderezos que no los tienen (King, 2011).

- i) **Otros aditivos.** Los colorantes, glutamato monosódico y secuestrantes como el EDTA también pueden ser añadidos a los aderezos en las cantidades recomendadas por la legislación vigente (FDA, 2015; NMX-F-341-NORMEX-2006).

2.4.3 Desarrollo de aderezos a base de suero lácteo

En la literatura existen pocos estudios en los que se emplea el lactosuero bovino en la elaboración de aderezos; no obstante, no se encontraron publicaciones sobre aderezos hechos a base de lactosuero caprino.

En la manufactura de aderezos en los que se utiliza el suero lácteo, se presentan algunas variaciones, ya que éste puede ser incluido como ingrediente principal o adicional. En aquellos donde se usa como ingrediente básico, representa el mayor porcentaje de la formulación y puede emplearse tanto el suero dulce como el ácido (De Cássia da Fonseca *et al.*, 2009; Monsoor *et al.*, 2003); en los aderezos en los que se incluye como ingrediente adicional, su presentación es en forma de concentrado y/o hidrolizado de proteínas de suero y la función que cumple es primordialmente como emulsificante y estabilizante de la emulsión (Christiansen, Vegarud, Langsrud, Ellekjaer, y Egelanddal, 2004; Turgeon, Sanchez, Gauthier, y Paquin, 1996).

2.4.4 Estudios de estabilidad en aderezos

El término “calidad del alimento” tiene varios significados para los profesionista de la industria de alimentos. Por ejemplo, para los nutriólogos es sinónimo del valor nutricional, para los microbiólogos se refiere a la seguridad del producto, mientras que para los químicos es equivalente a la estabilidad. A pesar de que estos conceptos son válidos, el juez final de la calidad de un alimento siempre será el consumidor.

Por lo tanto, desde este punto de vista, se puede definir de la siguiente manera “la combinación de atributos o características de un producto que son importantes para determinar el grado de aceptación de dicho producto por el consumidor”. Esta definición implica identificar los factores que contribuyen a la calidad del alimento, así como los métodos apropiados para medirla (Cardello, 1997).

De este modo, la evaluación del consumidor ha ido ganando importancia en la medición de la calidad de los alimentos. La demanda por productos de mayor calidad incrementa cada vez más, así como las expectativas de que ésta se mantenga al mismo nivel durante el periodo que transcurre entre la adquisición y el consumo.

Existen muchos factores que pueden afectar la calidad de los alimentos durante su almacenamiento, pero para facilitar su estudio se han agrupado en dos

categorías. Los factores intrínsecos son aquellos propios del alimento, es decir, a sus propiedades fisicoquímicas como la actividad de agua, pH, nutrientes, disponibilidad de oxígeno, microflora nativa o el uso de conservadores. Mientras que los factores extrínsecos son aquellos de naturaleza externa que afectan al producto durante su procesamiento y almacenamiento, tal como temperatura, exposición a la luz, humedad relativa, tipo de empaque y manejo del consumidor. Todos estos factores pueden interactuar de una manera dinámica e impredecible que deben ser investigados, pues pueden inhibir o estimular numerosos procesos que pueden afectar la calidad del alimento durante su almacenamiento (Kilcast y Subramaniam, 2000).

Con relación a los aderezos, éstos se caracterizan por presentar una vida útil prolongada que puede ir desde los 3 meses hasta un año, dependiendo de su composición y características físicas (Navas, 2007; Waite *et al.*, 2009). En la literatura existen varios reportes enfocados en la estabilidad de los aderezos a partir de indicadores fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales. Con respecto al primero, los principales modos de falla en estos productos son la oxidación lipídica o rancidez, presencia de olores y/o sabores desagradables, inestabilidad de la emulsión y decoloración. Entre éstos, se considera que la oxidación lipídica es la causa predominante de deterioro de calidad (Kargar, Spyropoulos, y Norton, 2011; McClements y Decker, 2000; Paraskevopoulou *et al.*, 2007). De modo contrario, raramente se les ha relacionado con enfermedades transmitidas por alimentos, pues los cambios químicos y físicos generalmente ocurren antes del crecimiento microbiano, debido a su naturaleza ácida (Martinez, Mucci, Cruz, Hough, y Sánchez, 1998; Waite *et al.*, 2009).

En cuanto a los indicadores sensoriales, se ha empleado su análisis principalmente para medir la aceptación de nuevas formulaciones de aderezos, pero hay pocos estudios en los que la evaluación sensorial se ha utilizado para determinar la estabilidad de los aderezos a lo largo del tiempo. En éstos, el enfoque es hacia el cambio que experimentan los atributos sensoriales o la relación entre parámetros de la oxidación lipídica y el grado de aceptación de los consumidores durante el almacenamiento (Paraskevopoulou *et al.*, 2007; Sørensen, Nielsen, y Jacobsen, 2010).

Por lo que se necesitan más estudios que involucren la evaluación de los consumidores en la medición de calidad de los aderezos, ya que la estabilidad fisicoquímica y microbiológica podría ser larga, pero fútil si las propiedades sensoriales son inaceptables para los consumidores, cuya decisión final tiene un gran impacto en la demanda de estos productos.

3. JUSTIFICACIÓN

La producción de leche de cabra y sus derivados ha ido aumentando en México y en diversas regiones del mundo. Entre los factores que han contribuido a esto, se encuentran: un incremento en su consumo doméstico, su uso como una alternativa para las personas que presentan alergia a la leche de vaca, sus efectos potenciales benéficos a la salud debido a su alto contenido de oligosacáridos y un creciente interés en sus derivados, especialmente el yogurt y el queso. Éste destaca como uno de los productos más importantes de la leche de cabra, pues en algunos países casi toda la leche se destina a su producción. Sin embargo, como resultado de la manufactura del queso, se genera una gran cantidad de suero lácteo.

Desde el punto de vista nutricional, el suero lácteo posee un alto valor debido a la calidad biológica de sus proteínas, su contenido de vitaminas hidrosolubles y minerales, así como a la presencia de oligosacáridos, a los cuales se les ha atribuido propiedades prebióticas y un papel importante en el buen funcionamiento del sistema nervioso. No obstante, desde un enfoque ambiental se considera un contaminante, pues su alta demanda de oxígeno y su eliminación en grandes cantidades representa una sobrecarga a la mayoría de los sistemas de tratamientos de desechos; lo anterior constituye un problema legal para la industria quesera que, al ser forzada por las autoridades a buscar opciones de disposición de desechos amigables con el medio ambiente, también se enfrenta a una carga económica adicional.

Por otra parte, ha habido una tendencia creciente hacia el consumo de alimentos reducidos en grasa, ya que la población es cada vez más consciente de los efectos perjudiciales a la salud que ocasiona su ingesta excesiva. Los aderezos, que se caracterizan por su elevado contenido graso (hasta un 50% o más), son productos susceptibles de modificaciones en su formulación tal como la disminución en la cantidad de compuestos lipídicos empleados, de modo que su composición final represente una opción más saludable y acorde a las necesidades de la población.

De esta manera y considerando lo expuesto anteriormente, en este trabajo se propuso desarrollar un aderezo reducido en grasa utilizando suero lácteo caprino concentrado, como una alternativa para la reutilización de este subproducto de la

industria quesera y una opción saludable que pueda ser incorporada a la dieta de una población cada vez más consciente por mejorar la calidad de su alimentación y, en general, su estado de salud.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

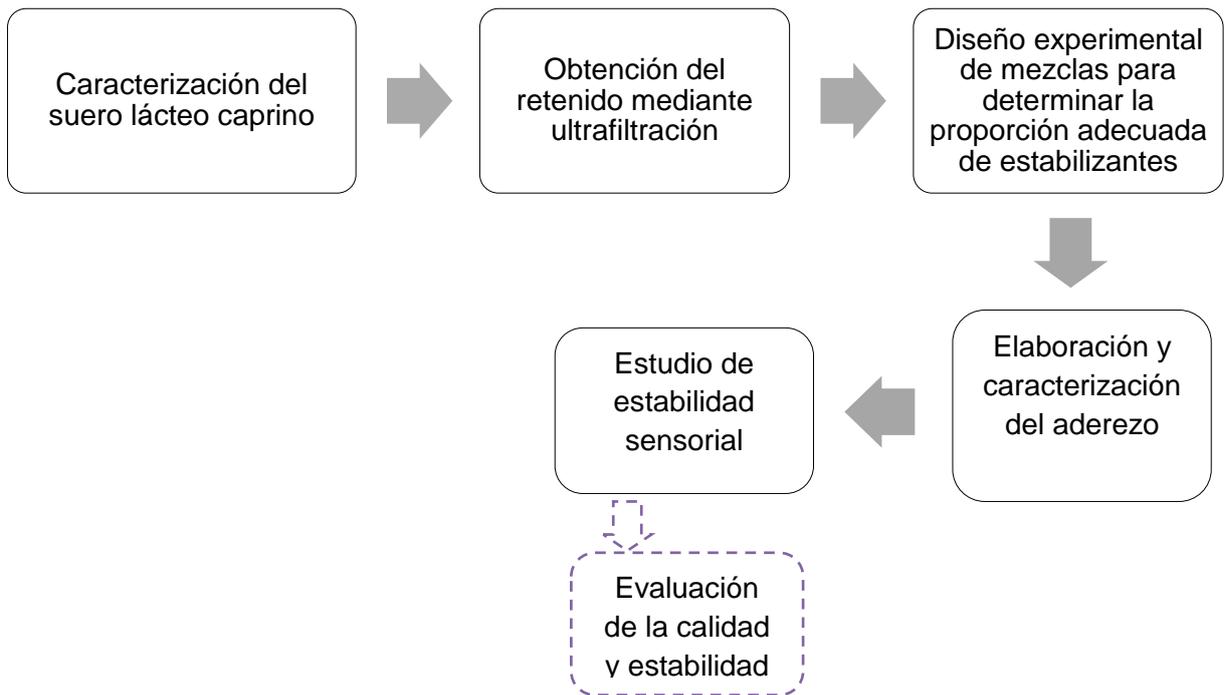
Desarrollar un aderezo reducido en grasa utilizando el retenido del suero lácteo caprino obtenido mediante ultrafiltración, así como determinar su composición química y estabilidad sensorial.

4.2 Objetivos específicos

1. Determinar la proporción de goma xantana (GX) y carboximetilcelulosa (CMC) de la formulación del aderezo mediante un diseño experimental de mezclas.
2. Realizar la caracterización del aderezo seleccionado mediante el análisis químico de sólidos totales, proteína, grasa, carbohidratos y cenizas.
3. Determinar la estabilidad sensorial del producto por medio de un diseño de almacenamiento en reversa en condiciones aceleradas.
4. Evaluar la calidad del aderezo mediante el índice de peróxido, pH y acidez total, así como su estabilidad por medio de la determinación de viscosidad y el porcentaje de flotación, durante su almacenamiento en condiciones aceleradas.

5. METODOLOGÍA

5.1 Estrategia general



5.2 Materiales

Los ingredientes que se utilizaron en la formulación del aderezo fueron los siguientes: retenido del suero lácteo ácido obtenido de la elaboración de queso de cabra, mediante la coagulación de la leche por acción de cultivos lácticos; aceite de soya, vinagre blanco, goma xantana, carboximetilcelulosa, sal, sorbato de potasio, presentación en polvo de ajo, cebolla, mostaza y pimienta negra, así como perejil en hojuelas.

La obtención del retenido de suero se describe en la sección 5.3.2.

5.3 Métodos

5.3.1 Análisis proximal y fisicoquímico del suero lácteo de cabra

Se realizó el análisis proximal del suero lácteo caprino, midiendo los siguientes parámetros: proteína, grasa, carbohidratos, sólidos totales, cenizas, pH y acidez titulable.

De acuerdo con la metodología de la AOAC (1996) se realizó la determinación de proteína con el método Kjeldahl (No. 991.20) y acidez titulable (No. 947.05) con modificaciones, las cuales se mencionan en el apartado. 5.3.1.1. La medición de grasa, mediante el método Gerber (NMX-F-387-1982), los sólidos totales y cenizas, de acuerdo con las técnicas descritas en la NMX-F-426-1982 y NMX-F-066-S-1978, respectivamente. En cuanto a los carbohidratos, se cuantificaron por diferencia con respecto a los resultados obtenidos previamente. Por último, el pH se midió con un potenciómetro marca Hanna Instruments pH210.

5.3.1.1 Acidez titulable, método AOAC No. 947.05

Las modificaciones se refieren básicamente a las cantidades de la muestra y de la solución de fenoftaleína. En el caso de la primera, se emplearon 9 mL y para la segunda, aproximadamente 100 μ L.

5.3.2 Obtención del retenido por ultrafiltración

El retenido del suero lácteo caprino se obtuvo mediante ultrafiltración. Este proceso se llevó a cabo en una unidad de filtración por membrana SEPA CF, usando una membrana PT-YMPTSP1905 con un MWCO (Molecular Weight Cut-Off o Peso Molecular Límite) de 5000 Daltons, a una presión de 2 bars. Se obtuvo una fracción de permeado y otra de retenido del suero lácteo caprino a un factor de concentración de 2.

5.3.3 Elaboración del aderezo

La proporción de los ingredientes que se incluyeron en la formulación del aderezo se presenta en el cuadro 5.1.

Cuadro 5.1 Proporción de ingredientes empleados en la formulación del aderezo

Ingrediente	Porcentaje
Retenido de suero lácteo	69
Aceite de soya	22
Vinagre	5
Sal	1.6
Perejil en hojuelas	0.4
Ajo en polvo	0.4
Cebolla en polvo	0.4
Mostaza en polvo	0.3
Pimienta negra en polvo	0.1
Sorbato de potasio	0.1
Goma xantana	0.2 – 0.5
Carboximetilcelulosa	0.2 – 0.5

Con respecto a su elaboración, primero se añadieron las especias en polvo y el sorbato de potasio a una porción del retenido; en otra porción de éste, se hidrataron la GM y CMC y se homogenizaron por 5 minutos con el homogenizador WiseTis HG-15A a 10800 rpm. Posteriormente, se mezclaron las dos fracciones y se sometieron a un proceso de pasteurización a 63°C por 30 minutos. Una vez completado este paso, la mezcla se enfrió inmediatamente en un baño de hielo. Seguidamente, se homogenizó durante 5 minutos y después se incorporó la sal y el vinagre, por lo que se procedió a homogenizar durante otros 5 minutos. El siguiente ingrediente que se añadió fue el aceite, el cual se vertió lentamente al principio y

conforme se fue incorporando a la emulsión, se añadió más rápidamente, todo esto en un lapso de 30 minutos. Por último, el perejil en hojuelas se incorporó de manera manual a la emulsión. El aderezo fue envasado en recipientes de vidrio previamente sanitizados de acuerdo con recomendaciones de la FAO.

5.3.4 Análisis químico del aderezo

Se emplearon los métodos de la AOAC para la determinación de sólidos totales (No. 935.56), proteína (No. 935.58) y cenizas (No. 945. 46).

La grasa se cuantificó mediante el método Goldfish con modificaciones (Nielsen, 2010), las cuales se refieren principalmente a la preparación de la muestra. Dado que el método requiere que las muestras sean sólidas, se procedió a secar 8.5 g de aderezo a 60°C durante 48 horas, posteriormente la muestra seca se pesó junto con los cartuchos. Otra modificación que se realizó es en relación al tiempo de extracción, que fue de 3 horas.

5.3.5 Determinación de la mezcla de proporciones de hidrocoloides

Se aplicó un diseño experimental de mezclas, con el fin de determinar la proporción adecuada de los hidrocoloides a emplear en la formulación. Los factores que se evaluaron fueron los siguientes: goma xantana (0.2 – 0.5%) y carboximetilcelulosa (0.2 – 0.5%), por lo que obtuvo en total 4 formulaciones:

Cuadro 5.2 Diseño experimental de mezclas del aderezo

Formulación	% estabilizantes	
	GX	CMC
1	0.2	0.5
2	0.3	0.4
3	0.4	0.3
4	0.5	0.2

Las variables respuesta evaluadas en cada tratamiento fueron pH, porcentaje de acidez total, índice de peróxido y preferencia sensorial.

5.3.5.1 Determinación de indicadores analíticos

El pH se midió con un potenciómetro marca Hanna Instruments pH210, la acidez total y el índice de peróxido fueron determinados de acuerdo con los métodos establecidos por la AOAC (No. 935.57 y 965.33, respectivamente). Para la determinación del índice de peróxido, el aceite fue separado de la emulsión por dos ciclos de congelamiento (-22°C durante 24 horas) y descongelamiento a temperatura ambiente, seguidos de centrifugación (6000 rpm, 4°C, 30 min) (Jacobsen *et al.*, 1999).

5.3.5.2 Evaluación sensorial

Se contó con un panel de 19 jueces no entrenados, compuesto por estudiantes y personal de la Universidad Autónoma de Querétaro, a quienes se les sirvió cuatro muestras correspondientes a las formulaciones a evaluar. Las muestras de 10 g se sirvieron en recipientes de plástico a temperatura ambiente, usando zanahoria “baby” como alimento acarreador y agua como limpiador de paladar. El sabor, olor, consistencia y agrado general de cada muestra fueron evaluados usando una escala hedónica de 7 puntos (1= Me disgusta extremadamente, 4=Ni me gusta ni me disgusta, y 7=Me gusta extremadamente).

Las puntuaciones obtenidas se evaluaron mediante tablas de contingencia y análisis de correspondencia para estudiar gráficamente la relación entre las formulaciones y las calificaciones de los consumidores.

5.3.6 Estudio de vida de estabilidad sensorial

Para el estudio de estabilidad se aplicó un diseño de almacenamiento en reversa, con el fin de realizar la evaluación sensorial en un mismo día, y se incluyó la temperatura como factor acelerante.

5.3.6.1 Duración del estudio y factor acelerante

La duración del estudio fue de 28 días y se realizó en condiciones aceleradas, ya que se ha reportado que los aderezos presentan una vida útil larga, la cual puede ir desde 3 meses hasta un año. La elección de dicho tiempo se basó en estudios de aderezos almacenados en condiciones aceleradas, en los que se

reportaron cambios fisicoquímicos y sensoriales (Martinez *et al.*, 1998; Navas, 2007; Waite *et al.*, 2009).

Considerando el comportamiento de indicadores de calidad y estabilidad de los aderezos en los estudios citados previamente, se eligió a la temperatura como el factor acelerante. Las temperaturas que se utilizaron en el presente trabajo fueron: 29.5, 35 y 45°C, la primera como referencia de almacenamiento a temperatura ambiente. Cabe resaltar que el valor de 29.5°C, fue el promedio de la temperatura registrada durante el periodo de estudio.

5.3.6.2 Determinación de parámetros de calidad y estabilidad

En los días 0, 7, 14, 21 y 28 se evaluaron muestras de aderezo almacenadas a 29.5, 35 y 45°C. Los parámetros de calidad a evaluar fueron: pH, acidez total e índice de peróxido; los de estabilidad, viscosidad e índice de flotación o “creaming”.

- **pH y acidez total:** el pH se midió con un potenciómetro marca Hanna Instruments pH210 y la acidez total de acuerdo con la metodología de la AOAC (No. 935.57).
- **Índice de peróxido:** para su determinación, el aceite fue separado de la emulsión siguiendo la metodología propuesta por Jacobsen *et al.* (1999) con modificaciones, esto es, se realizaron dos ciclos de congelamiento (-22°C durante 24 horas) y descongelamiento a temperatura ambiente, seguido de centrifugación (6000 rpm, 4°C, 30 minutos). Posteriormente, la cuantificación se hizo conforme al método establecido por la AOAC (No. 965.33). Cabe mencionar que el índice de peróxido también se midió a muestras de aceite de soya almacenadas en las mismas condiciones que el aderezo, con el fin de comparar el comportamiento de este parámetro en dicho producto.
- **Viscosidad:** para su determinación, todas las muestras se mantuvieron a temperatura ambiente (27°C) y se utilizó el viscosímetro Brookfield DV-II+, con una aguja número 4. Las mediciones se llevaron a cabo a diferentes velocidades de corte. Posteriormente, los datos obtenidos se ajustaron al modelo de ley de potencia:

$$\tau = Ky^n$$

donde τ es el esfuerzo de corte (Pa), K es el índice o coeficiente de consistencia ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$), $\dot{\gamma}$ es la velocidad de deformación (s^{-1}) y n es el índice de fluidez.

- **Índice de flotación o “creaming”:** para evaluar la estabilidad del aderezo con respecto al fenómeno de flotación o “creaming” se colocaron 20 mL de cada muestra en probetas graduadas de 25 mL, las cuales se almacenaron en las temperaturas de estudio. En los tiempos de medición establecidos, se observó si había ocurrido alguna separación de fase. Cuando ésta se presentó, se determinó el volumen de la fase que formó crema en la parte superior del tubo y el volumen de la fase acuosa en el fondo, con el fin de estimar el porcentaje de flotación:

$$\% \text{ flotación} = (V_c/V_t)*100$$

donde V_c es el volumen de la fase que haya formado crema y V_t es el volumen total (Anton, Beaumal, y Gandemer, 2000).

5.3.6.3 Diseño de almacenamiento en reversa

En el diseño de almacenamiento en reversa, normalmente se elabora un lote del producto a evaluar y se almacena en condiciones en las que se sabe que experimentará poco o ningún cambio (bajas temperaturas o ambiente de oscuridad, por ejemplo). Posteriormente, y en conformidad con tiempos definidos, las muestras se sacan y exponen en los ambientes a evaluar, por lo que al final del estudio se tienen muestras almacenadas en diferentes periodos, pero todas ellas provenientes de un solo lote.

Para el caso del presente trabajo, se elaboraron en total siete muestras de aderezo de la siguiente manera: tres muestras al inicio del estudio, las cuales se almacenaron en las temperaturas ya señaladas previamente, éstas representaron las muestras del día 28; tres muestras a mitad del estudio, que correspondieron a las del día 14; y por último, una muestra al final del estudio que correspondía a la del día 0. Se procedió de este modo, debido a limitaciones con el equipo y espacio.

La evaluación sensorial se llevó a cabo cuando finalizó el periodo del estudio de estabilidad (sección 5.3.6.5). En cuanto a los análisis microbiológicos, se efectuaron en las muestras de aderezo recién elaboradas para asegurar la inocuidad del aderezo (sección 5.3.6.4). En la Figura 5.1 se puede observar el diseño de almacenamiento en reversa.

Elaboración del aderezo	Tiempo de almacenamiento	29.5°C	35°C	45°C
	Día 0 →			
	Día 14 →			
	Día 28 → Evaluación sensorial			

Figura 5.1 Diseño de almacenamiento en reversa del aderezo

5.3.6.4 Análisis microbiológico

Como se mencionó anteriormente, éste se llevó a cabo en las muestras elaboradas el día 0 para asegurar su inocuidad al final del estudio. Se tomó como referencia lo establecido en la NMX-F-341-NORMEX-2006, por lo que los análisis microbiológicos que se realizaron al aderezo fueron los siguientes: cuenta de coliformes totales, cuenta de hongos y levaduras, detección de *E. coli*, *Staphylococcus aureus* y *Salmonella spp.*

La presencia y carga de cada microorganismo se comparó con las especificaciones de la norma.

5.3.6.5 Evaluación sensorial del aderezo

Para la evaluación sensorial, se aplicó una prueba de aceptabilidad a 67 consumidores habituales de aderezos. Dicha prueba se llevó a cabo cuando finalizó el periodo de almacenamiento del producto.

En cuanto a la preparación de las muestras, éstas fueron llevadas a temperatura ambiente antes de realizar la evaluación. Luego se sirvieron de manera aleatoria siete muestras a cada participante, las cuales corresponden a las temperaturas de almacenamiento de los días 0, 14 y 28. Cada muestra constó de 10 g del aderezo y se presentaron en recipientes de plásticos transparentes, los cuales fueron codificados con números de tres dígitos aleatorios; así mismo, considerando la naturaleza del producto, se acompañó con zanahorias “baby” como alimento acarreador. Como limpiador de paladar, se proveyó agua entre cada muestra.

Se les pidió a los consumidores responder “sí” o “no” a la pregunta “¿consumiría normalmente este producto?”, considerando que ellos ya lo han comprado.

Para estimar la probabilidad de rechazo en los tiempos de falla, se empleó la metodología de análisis de sobrevivencia, usando los resultados que se obtuvieron del cuestionamiento anterior.

En esta metodología la función de rechazo $F(t)$ puede ser definida como la probabilidad de que un consumidor rechace un producto hasta antes del tiempo t , esto es $F(t) = P(T \leq t)$, donde T es el tiempo de almacenamiento al cual se rechaza el producto.

Debido a la naturaleza de la variable tiempo, T nunca será observada exactamente, de modo que la naturaleza de los datos será censurada. Así, existen 3 tipos de censura: **Por la derecha**, cuando se rebasa el tiempo límite del estudio y el consumidor acepta todas las muestras; **por la izquierda**, si el consumidor rechaza la muestra al primer tiempo de almacenamiento; y **por intervalo**, si no se sabe cuándo ya no es aceptable el producto, sino que sólo se sabe que fue entre t_1 y t_2 (Hough, 2010).

De acuerdo con Salvador *et al.* (2005), diferentes distribuciones de probabilidad pueden ser aplicadas a T. En este trabajo se evaluó el modelo que mostró un mejor ajuste a los datos, para esto se usó el programa JMP versión 8.0.

5.4 Diseño experimental y análisis estadístico

Los resultados de los análisis proximales del suero lácteo caprino, así como de su retenido, fueron expresados como la media \pm la desviación estándar.

En cuanto a la formulación del aderezo, se aplicó un diseño experimental de mezclas para determinar la proporción a utilizar de GM y CMC. Las variables respuesta que se evaluaron fueron el pH, acidez total, índice de peróxido y preferencia sensorial. Las tres primeras con un análisis de varianza (ANOVA) a un nivel de confianza de 95%, y la última, mediante tablas de contingencia y análisis de correspondencia para estudiar gráficamente la relación entre las formulaciones y las calificaciones de los panelistas en la evaluación sensorial.

Con respecto al estudio de estabilidad sensorial, se llevó a cabo un diseño de almacenamiento en reversa en condiciones aceleradas, tal y como está descrito en la sección 5.3.6. Para estimar la probabilidad de rechazo en los tiempos de falla, se empleó la metodología de análisis de sobrevivencia, usando los resultados que se obtuvieron al preguntar a los consumidores si ellos consumirían normalmente el producto. Así mismo, estos datos fueron estudiados en sus tendencias de degradación en el tiempo y en su correlación con las mediciones de los parámetros de calidad y estabilidad (pH, acidez total, índice de peróxido, viscosidad y porcentaje de flotación).

Todos los análisis fueron realizados con el software JMP versión 8.0.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Composición fisicoquímica del suero lácteo caprino y su retenido

Se realizó la evaluación fisicoquímica del suero lácteo de cabra y de su retenido, el cual se obtuvo con un factor de concentración de 2 (Cuadro 6.1).

Cuadro 6.1 Composición fisicoquímica del suero lácteo caprino y su retenido

Parámetro	Suero lácteo	Retenido
pH	4.31 ± 0.02	4.23 ± 0.00
Acidez titulable ^b (g/100g)	0.56 ± 0.01	0.63 ± 0.01
Sólidos totales (g/100g)	5.92 ± 0.02	6.99 ± 0.02
Lactosa ^a (g/100g)	4.13	4.51
Proteína (g/100g)	0.85 ± 0.10	1.44 ± 0.2
Grasa (g/100g)	0.1 ± 0.0	0.2 ± 0.0
Cenizas (g/100g)	0.84 ± 0.02	0.84 ± 0.02

^a Lactosa por diferencia, ^b g de ácido láctico

Se puede observar que el pH corresponde a un suero ácido (la caseína fue coagulada por acción de minerales o por acción del ácido láctico), aunque fue menor a lo reportado por Casper *et al.* (1998). Esta diferencia puede deberse a que en el estudio antes citado, se empleó el suero proveniente de la elaboración de un queso específico, esto es, queso Chevre, mientras que en el presente trabajo se empleó una mezcla de sueros, subproductos de la manufactura de diferentes quesos. El valor de acidez es claramente superior al compararlo con el de los sueros caprinos dulces (Gomes *et al.*, 2013; Silveira *et al.*, 2015), pero no se encontró algún valor de este parámetro en suero ácido caprino; no obstante, el valor es similar al obtenido por Nguyen *et al.* (2003) en el suero del queso cottage, de origen bovino.

Con respecto a la composición del suero lácteo, el contenido de sólidos totales fue menor en comparación con lo reportado por Casper *et al.* (1998) y Pintado *et al.* (2001), aunque este parámetro varía en función de la proporción de lactosa, proteína, grasa y cenizas presentes en el suero, los cuales a su vez pueden variar dependiendo de varios factores como la dieta, raza, temporada del año, entre otros (Hernández-Ledesma *et al.*, 2011; Saborío Montero, 2011).

En referencia a la concentración de lactosa, ésta fue mayor que lo obtenido por Pintado *et al.* (2001), pero menor que lo observado en otros estudios (Sanmartín, Díaz, Rodríguez-Turienzo, y Cobos, 2012; Silveira *et al.*, 2015).

En cuanto al contenido de proteína, éste fue mayor que lo encontrado por Casper *et al.* (1998) y Sanmartín *et al.* (2012), los cuales corresponden a valores en suero ácido y dulce, respectivamente; por otra parte, el valor reportado por Silveira *et al.* (2015) es similar, mientras que en otros trabajos se observan cantidades mayores (Gomes *et al.*, 2013; Palatnik, Ostermann Porcel, González, Zaritzky, y Campderrós, 2015). Lo anterior demuestra que este parámetro es muy variable, dependiendo de diversos factores entre los que se pueden citar raza, estado de lactación, tipo de alimentación, temporada del año, tipo de queso, entre otros (Hernández-Ledesma *et al.*, 2011).

Con relación al contenido de grasa, Moreno-Indias *et al.* (2009) notaron que hay diferencias en el valor de este parámetro de acuerdo con su origen artesanal o industrial, pues la tecnología empleada en las industrias permite una mayor recuperación de compuestos lipídicos en la cuajada. Esto se puede observar al comparar el valor de grasa obtenido en este trabajo, el cual fue menor al encontrado por Sanmartín *et al.* (2012), en un suero caprino elaborado de manera artesanal. Sin embargo, Casper *et al.* (1998) obtuvieron valores diferentes de grasa en sueros caprinos de origen industrial, la diferencia radicó en el tipo de queso del que provenían, lo que sugiere que es otro factor que influye en este parámetro.

En alusión al contenido de cenizas, se ha reportado en varios trabajos que el valor es mayor en el suero ácido en comparación del dulce, sin importar si su origen es caprino o bovino. Esto se debe a la solubilización del fosfato de calcio coloidal de las micelas de caseína, que ocurre durante la acidificación (Pintado, Macedo, y Malcata, 2001). Así lo demuestra el valor obtenido en este trabajo, el cual es mayor al encontrado por Gomes *et al.* (2013), correspondiente a un suero caprino dulce.

Respecto a las diferencias de composición entre el suero y el retenido, el contenido principalmente de proteína y grasa, así como de sólidos totales, incrementó en el retenido, el cual representa la porción que contiene los constituyentes rechazados y concentrados por la membrana (Smith, 2013). Estos resultados fueron similares a lo obtenido por Palatnik *et al.* (2015), ya que los mismos componentes incrementaron en la fracción del retenido. Sin embargo, sus valores en dicha fracción fueron mayores a los encontrados en este estudio debido a que el suero con el que trabajaron era de tipo dulce (pH = 5.95), los compuestos

mencionados también se encontraban en mayor cantidad en el suero y el factor de concentración alcanzado fue de 2.79.

6.2 Diseño experimental de mezclas

Se llevó a cabo un diseño experimental de mezclas para determinar las proporciones de goma xantana y carboximetilcelulosa que se emplearían en las formulaciones. Éste dio lugar a cuatro formulaciones, las cuales se presentan en el Cuadro 6.2, así como los valores correspondientes de pH, acidez total e índice de peróxido.

Cuadro 6.2 Diseño experimental de mezclas y valores de pH, acidez total e índice de peróxido de las formulaciones de aderezo

Formulación	% estabilizantes		pH	Acidez total (% ácido acético)	Índice de peróxido (meq/kg)
	GX	CMC			
1	0.2	0.5	4.17 ± 0.01	0.53 ± 0.01	0.53 ± 0.15
2	0.3	0.4	4.19 ± 0.06	0.51 ± 0.03	0.63 ± 0.06
3	0.4	0.3	4.14 ± 0.04	0.51 ± 0.03	0.47 ± 0.12
4	0.5	0.2	4.11 ± 0.06	0.52 ± 0.01	0.50 ± 0.17
Comercial	-	-	3.34 ± 0.0	1.14 ± 0.01	2.29 ± 0.13

Datos expresados como media ± DE. Experimentos con tres réplicas cada uno.

El análisis de varianza indicó que no hubo diferencia significativa entre los tratamientos para los valores de pH ($p=0.206$), acidez total ($p=0.578$) e índice de peróxido ($p=0.487$), es decir, las mezclas de estabilizantes no influyeron en estos parámetros. Desde el punto de vista sensorial, esto se consideró deseable, ya que la elección de la formulación no se basó en alguno de estos parámetros, sino en la preferencia del consumidor (sección 6.2.1).

Por otra parte, con el fin de observar si presentaban similitudes las formulaciones desarrolladas con las de un aderezo comercial de características similares, se comparó el pH, acidez total e índice de peróxido (Cuadro 6.2). Se puede señalar que los valores de acidez total e índice de peróxido fueron mayores en el aderezo comercial, con excepción del pH. Considerando estas diferencias, se compararon los valores de estos parámetros con los recomendados por la NMX-F-341-NORMEX-2006 y el Codex Stan 19-1981 (Rev. 2-1999), para verificar que se encontraran dentro de los rangos establecidos por estas normas (Cuadro 6.3). De acuerdo con estas referencias, los datos de acidez total e índice de peróxido

estuvieron dentro de los valores recomendados, mientras que el pH de las formulaciones fue ligeramente mayor. No obstante, sensorialmente esto podría ser deseable, ya que se ha reportado que en aderezos a base de lácteos, los consumidores tienden a preferir un sabor menos ácido (Antaki y Layne, 1990). Así lo demuestra el estudio de Waite *et al.* (2009), donde midieron el pH de muestras comerciales de aderezo ranch, las cuales oscilaron entre 3.35 y 3.45, sin embargo, el grupo de trabajo decidió desarrollar un aderezo ranch con un pH menos ácido (4.34) para lograr una mayor aceptación por parte de los consumidores.

Cuadro 6.3 Valores de pH, acidez e índice de peróxido recomendados por la NMX-F-341-NORMEX-2006 y el Codex Alimentarius

Parámetro	Valor recomendado	Organismo
pH	≤ 4.1	NMX-F-341-NORMEX-2006
Acidez total como ácido acético (%)	≥ 0.25	NMX-F-341-NORMEX-2006
Índice de peróxido (meq/kg)	≤ 10.0	Codex Stan 19-1981 (Rev. 2-1999)

6.2.1 Evaluación sensorial

Las formulaciones de aderezo fueron evaluadas por un panel no entrenado con el fin de elegir una de ellas.

Las calificaciones de los cuatro tratamientos considerando los atributos de sabor, olor, consistencia y agrado general, se analizaron mediante tablas de contingencia y el estadístico X^2 de Pearson. Los valores de X^2 y p se muestran en el Cuadro 6.4.

Cuadro 6.4 Valores de X^2 y p de los atributos evaluados en las formulaciones de aderezo

Atributo	X^2	P
Sabor	17.194	0.307
Olor	6.632	0.881
Consistencia	18.39	0.104
Agrado general	17.598	0.129

La existencia o no de algún tipo de relación entre las formulaciones y las calificaciones otorgadas a los atributos, se analizó mediante un contraste de hipótesis. En el Cuadro 6.4 se observa que los valores de p para los atributos evaluados fueron más grandes de lo esperado por lo que esto da sustento para no rechazar la hipótesis nula de independencia (H_0). Esto significa que no hay dependencia entre las variables, es decir, las formulaciones de aderezo son iguales en su distribución de frecuencias en los valores de la escala hedónica utilizada.

Así mismo, se realizó un análisis de correspondencias para analizar gráficamente la relación de las formulaciones y las calificaciones otorgadas a los atributos, el cual se presenta a continuación:

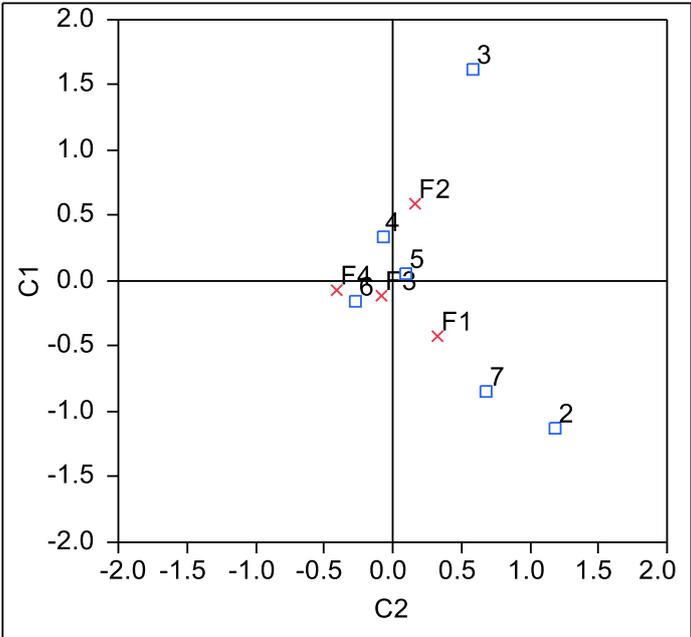


Figura 6.1 Análisis de correspondencia de las formulaciones considerando el atributo de sabor

Formulaciones (F): x. Escala hedónica: □, 1=Me disgusta extremadamente, 2=Me disgusta mucho, 3=Me disgusta moderadamente, 4=Ni me gusta ni me disgusta, 5=Me gusta moderadamente, 6=Me gusta mucho, 7=Me gusta extremadamente.

En la gráfica se aprecia que las cuatro formulaciones compartieron las mismas calificaciones para el atributo sabor, esto es, 4 (“Ni me gusta ni me disgusta”), 5 (“Me gusta moderadamente”) y 6 (“Me gusta mucho”). Aunque la F2

también calificó hacia 3 (“Me disgusta moderadamente”) y la F1, hacia 2 (“Me disgusta mucho”) y 7 (“Me gusta extremadamente”), respectivamente.

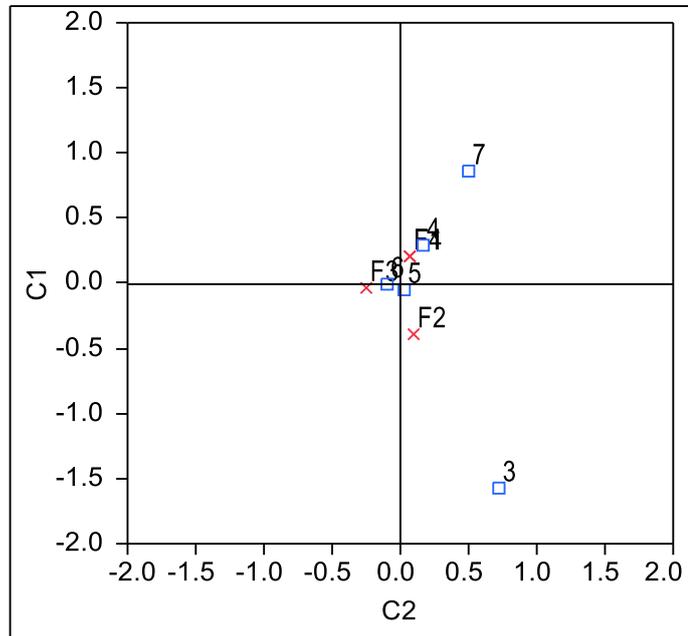


Figura 6.2 Análisis de correspondencia de las formulaciones considerando el atributo de olor

Formulaciones (F): x. Escala hedónica: □, 1=Me disgusta extremadamente, 2=Me disgusta mucho, 3=Me disgusta moderadamente, 4=Ni me gusta ni me disgusta, 5=Me gusta moderadamente, 6=Me gusta mucho, 7=Me gusta extremadamente.

Con relación al atributo olor, se observó una tendencia similar que en el atributo sabor, pues las cuatro formulaciones fueron calificadas entre 4 y 6. Sólo la F2 presentó calificación hacia 3 y la F4, hacia 7.

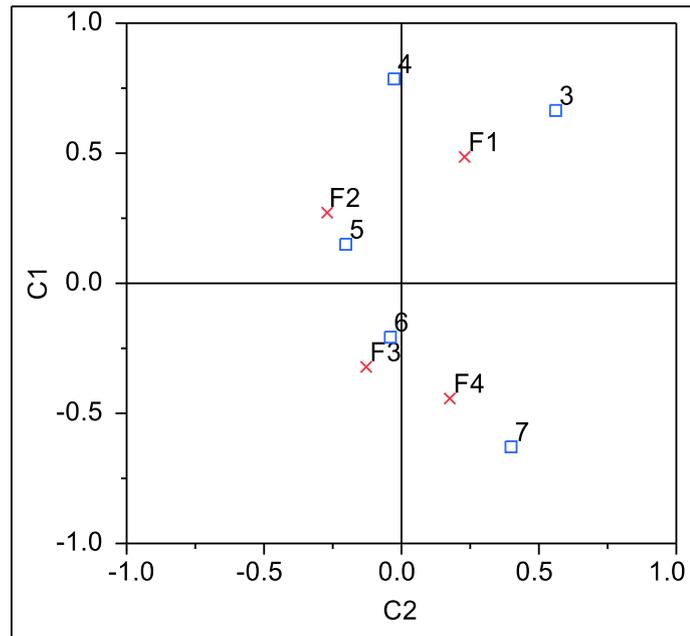


Figura 6.3 Análisis de correspondencia de las formulaciones considerando el atributo de consistencia

Formulaciones (F): x. Escala hedónica: □, 1=Me disgusta extremadamente, 2=Me disgusta mucho, 3=Me disgusta moderadamente, 4=Ni me gusta ni me disgusta, 5=Me gusta moderadamente, 6=Me gusta mucho, 7=Me gusta extremadamente.

A diferencia de los atributos de sabor y olor, en la gráfica correspondiente a consistencia se observa una tendencia más definida, ya que las formulaciones F3 y F4 fueron calificadas principalmente entre 6 y 7, respectivamente, lo que sugiere mayor preferencia de los consumidores hacia éstas. Por su parte, la F1 obtuvo puntuaciones hacia 3 y 4, mientras que la F2, hacia 5.

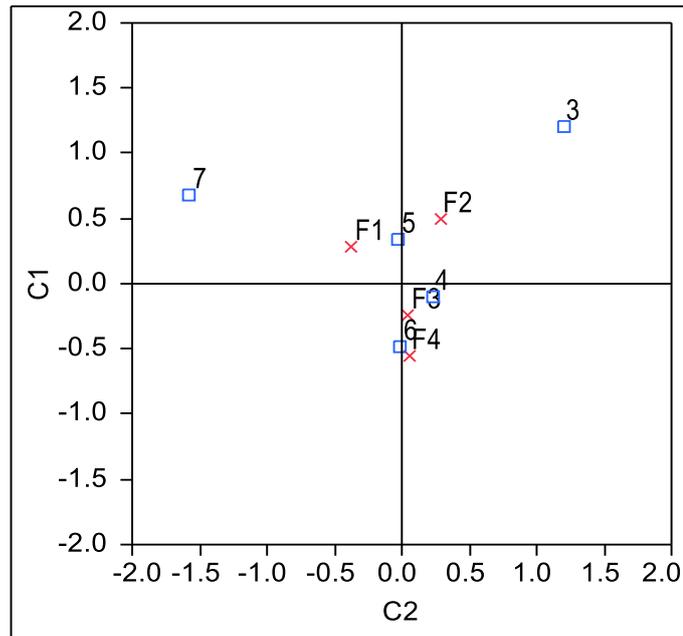


Figura 6.4 Análisis de correspondencia de las formulaciones considerando el atributo de agrado general

Formulaciones (F): x. Escala hedónica: □, 1=Me disgusta extremadamente, 2=Me disgusta mucho, 3=Me disgusta moderadamente, 4=Ni me gusta ni me disgusta, 5=Me gusta moderadamente, 6=Me gusta mucho, 7=Me gusta extremadamente.

En cuanto al agrado general, el análisis muestra que F3 y F4 fueron valoradas mayormente con 4 y 6. Sin embargo, se puede notar que la F4 presenta una tendencia más hacia la puntuación 6, en comparación con la 4, lo cual sugiere una mayor preferencia de esta formulación. Respecto a la F1 y F2, fueron calificadas principalmente con 5, pero también obtuvieron calificaciones hacia 7 y 3, respectivamente. No obstante, la distancia hacia dichas puntuaciones en la gráfica sugiere que una minoría de los consumidores asignó dichas calificaciones.

De este modo, considerando los resultados de las tablas de contingencia y el análisis de correspondencia, se puede concluir que con relación a los atributos de sabor y olor, las formulaciones no fueron evaluadas de manera diferencial desde el punto de vista estadístico. Y con referencia a la escala hedónica, obtuvieron calificaciones principalmente entre 4 y 6, es decir, “Ni me gusta ni me disgusta” y “Me gusta mucho”. Palatnik *et al.* (2015) reportaron resultados similares en la

evaluación sensorial de un aderezo elaborado con un concentrado de proteínas de suero caprino, pues las puntuaciones otorgadas por el panel a los atributos de sabor y olor se encontraron entre “Ni me gusta ni me disgusta” y “Me gusta mucho”, con base en una escala hedónica de 9 puntos.

Respecto a consistencia y agrado general, aunque estadísticamente no fue fuerte la evidencia para afirmar que las formulaciones resultaron diferentes, sí se presentó una tendencia de que F3 y F4 fueron mejor evaluadas, si bien F4 mostró una preferencia ligeramente mayor por parte de los consumidores, con puntuaciones más hacia “Me gusta mucho” y “Me gusta extremadamente” en agrado general y consistencia, respectivamente. Lo anterior indica que los consumidores prefieren un aderezo con mayor consistencia, pues la F4 corresponde al tratamiento con la mayor proporción de GX (0.5%). Sin embargo, en el estudio de Paraskevopoulou *et al.* (2005), el panel eligió un aderezo griego de “viscosidad media” (GX=0.3%), en comparación con el de “viscosidad alta” (GX=0.45%), aunque la formulación elegida podría tener una viscosidad similar o incluso mayor en comparación con la F4, ya que además de la GX, contenía 1% de alginato de propilenglicol y 50% de aceite de oliva, los cuales también contribuyen a incrementar la viscosidad de las emulsiones (Raymundo, Franco, Empis, y Sousa, 2002).

De esta manera y considerando los resultados anteriores, se eligió la F4 para llevar a cabo el estudio de estabilidad sensorial.

6.3 Caracterización química del aderezo

La composición química del aderezo se presenta en el Cuadro 6.5. Los resultados se compararon con los de un aderezo comercial de características similares.

Cuadro 6.5 Composición química del aderezo a base de suero lácteo caprino y de un aderezo comercial

Parámetro (g/100g)	Aderezo con suero caprino	Aderezo comercial
Humedad	68.86 ± 0.09	60.97 ± 0.17
Proteína	1.11 ± 0.14	0.8 ± 0.0
Grasa	22.23 ± 0.02	20 ± 0.0
Carbohidratos^a	5.40	15.80
Cenizas	2.40 ± 0.0	2.43 ± 0.11

^aCarbohidratos por diferencia

El contenido de proteína y grasa es mayor en el aderezo a base de suero lácteo caprino en comparación con el aderezo comercial. Con relación al primer parámetro, la cantidad de proteína en el producto desarrollado es resultado del uso de la tecnología de separación de membrana y aunque ésta se empleó principalmente con fines tecnológicos, también se podría considerar como un beneficio nutricional, ya que incrementó la proporción de este nutrimento respecto a la muestra comercial. Si se compara con el valor mínimo recomendado por la NOM-F-341-NORMEX-2006, es 2.4 veces mayor. Palatnik *et al.* (2015) desarrollaron un aderezo empleando un concentrado de proteínas de suero lácteo de cabra y el valor en dicho parámetro es similar al obtenido en este trabajo (0.98 g/100g), aunque ellos utilizaron una combinación de microfiltración-ultrafiltración, seguido de liofilización, lo cual incrementaría el costo de producción.

En cuanto al valor de grasa, si bien es mayor al del aderezo comercial, aún puede ser catalogado como “reducido en grasa” de acuerdo con lo establecido por la NOM-086-SSA1-1994. Lo anterior representaría un aspecto importante para su comercialización, pues podría ser dirigido a aquellos sectores de la población interesados en cuidar su salud y alimentación.

Otro aspecto que podría considerarse positivo desde el punto de vista nutricional, es el contenido de carbohidratos el cual es menor al de la muestra comercial. Mientras que la fuente de este nutrimento en el producto desarrollado proviene principalmente de los azúcares naturales del suero lácteo caprino y, en menor medida, de los estabilizantes, en el aderezo comercial proceden en gran parte de la sacarosa y en segundo lugar, del suero lácteo bovino y la GX, ingredientes citados en la etiqueta. No obstante, dado que ambos productos

contienen lactosuero, podría no ser adecuado para aquellas personas que padecen intolerancia a la lactosa.

Por último, se puede apreciar que el contenido de cenizas de ambos aderezos es similar.

6.4 Estudio de estabilidad sensorial del aderezo

Con el fin de evaluar la estabilidad de la formulación seleccionada (F4) se realizó una evaluación sensorial en la que participaron 67 consumidores de aderezos, quienes probaron siete muestras almacenadas a diferentes tiempos y temperaturas: tres muestras con un tiempo de almacenamiento de 28 días, cada una correspondiente a 29.5, 35 y 45°C; tres muestras, de 14 días, también almacenadas a dichas temperaturas; y una muestra fresca o del día 0.

Para llevar a cabo el análisis de los datos se descartaron los resultados de 13 panelistas para la temperatura de 29.5°C; 14, para la de 35°C; y 17, para la de 45°C, debido a que rechazaron el aderezo fresco o mostraron incongruencias en sus respuestas. Los resultados de aceptación y rechazo pertenecientes a las tres temperaturas se muestran en las Figuras 6.4, 6.5 y 6.6. En éstas, la línea continua indica que el consumidor aceptó el aderezo con ese tiempo de almacenamiento, mientras que la línea punteada señala que el consumidor pudo o no aceptar la muestra durante un intervalo de días.

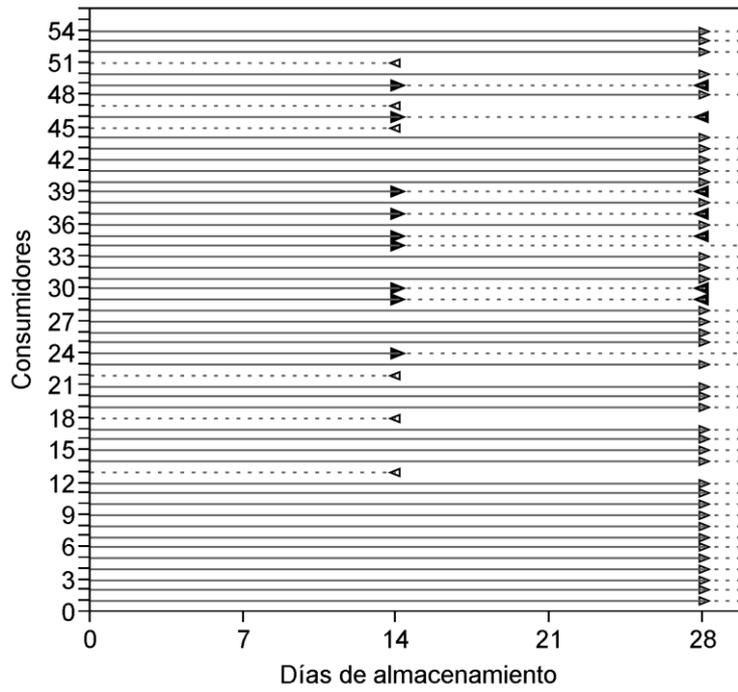


Figura 6.5 Aceptación/rechazo de las muestras de aderezo almacenadas a 29.5°C

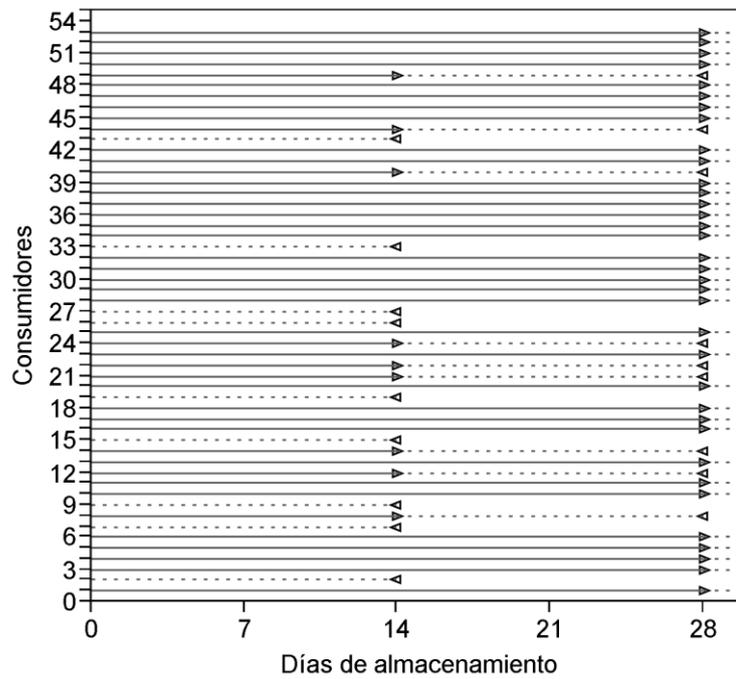


Figura 6.6 Aceptación/rechazo de las muestras de aderezo almacenadas a 35°C

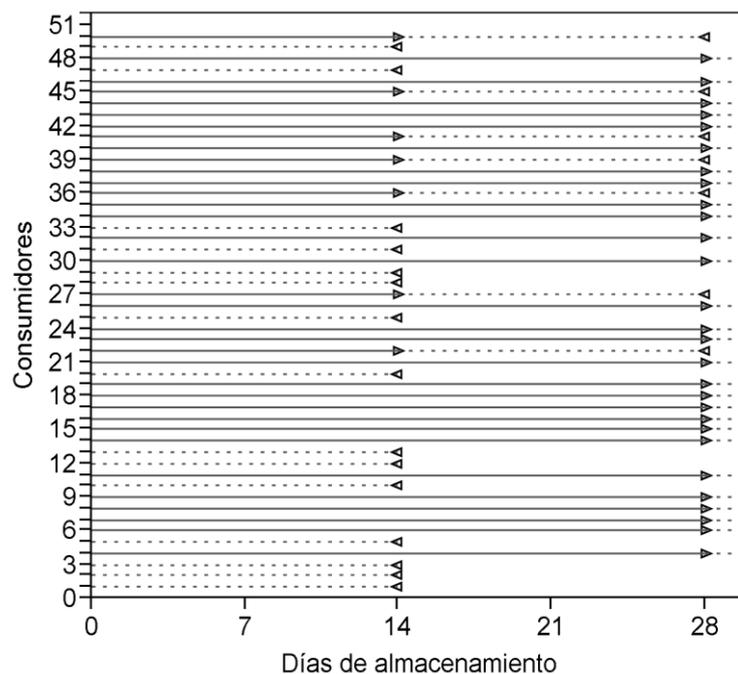


Figura 6.7 Aceptación/rechazo de las muestras de aderezo almacenadas a 45°C

Debido a que las muestras almacenadas y evaluadas solo correspondieron a los días 14 y 28, los tiempos de falla se ubicaron en este periodo. Así mismo, con estos datos se estimó la probabilidad de rechazo de los consumidores para las muestras de aderezo almacenadas a diferentes temperaturas, a partir de un modelo exponencial, que fue el que presentó el mejor ajuste (Cuadro 6.6).

Cuadro 6.6 Probabilidad de rechazo para diferentes temperaturas durante el periodo de 14-28 días

	Probabilidad de rechazo		
	29.5°C	35°C	45°C
Día 14	0.14	0.20	0.27
Intervalos de Confianza	0.07 – 0.21	0.12 – 0.28	0.18 – 0.37
Día 28	0.26	0.30	0.45
Intervalos de Confianza	0.15 – 0.38	0.22 – 0.48	0.32 – 0.59

Con respecto a los valores de probabilidad de rechazo sensorial, estadísticamente no se detectó un cambio en las tres temperaturas en el periodo de

14 a 28 días; sin embargo, desde el punto de vista descriptivo sí se apreciaron cambios: en la temperatura de 29.5°C, a los 14 días se estimó un rechazo del 14%, mientras que a 28 días, éste fue de 26%; en la de 35°C, el rechazo fue de 20% y 30%, en los días 14 y 28, respectivamente; y en la de 45°C, éste fue de 27% y 45%, para los días 14 y 28, respectivamente.

De esta manera, desde el punto de vista sensorial, el aderezo formulado se puede considerar un producto estable, ya que incluso en condiciones de estrés la mayor parte de los consumidores lo seguían aceptando; por ejemplo, la muestra del día 14 almacenada a 45°C, fue aceptada por aproximadamente el 70% de los panelistas.

6.4.1 Parámetros fisicoquímicos evaluados durante el estudio de estabilidad

Por otra parte, durante el periodo en el que se llevó a cabo el estudio de estabilidad, se midieron ciertos parámetros fisicoquímicos con el fin de determinar su influencia en la calidad del aderezo. En las Figuras 6.8 – 6.12 se presenta el comportamiento de los parámetros medidos.

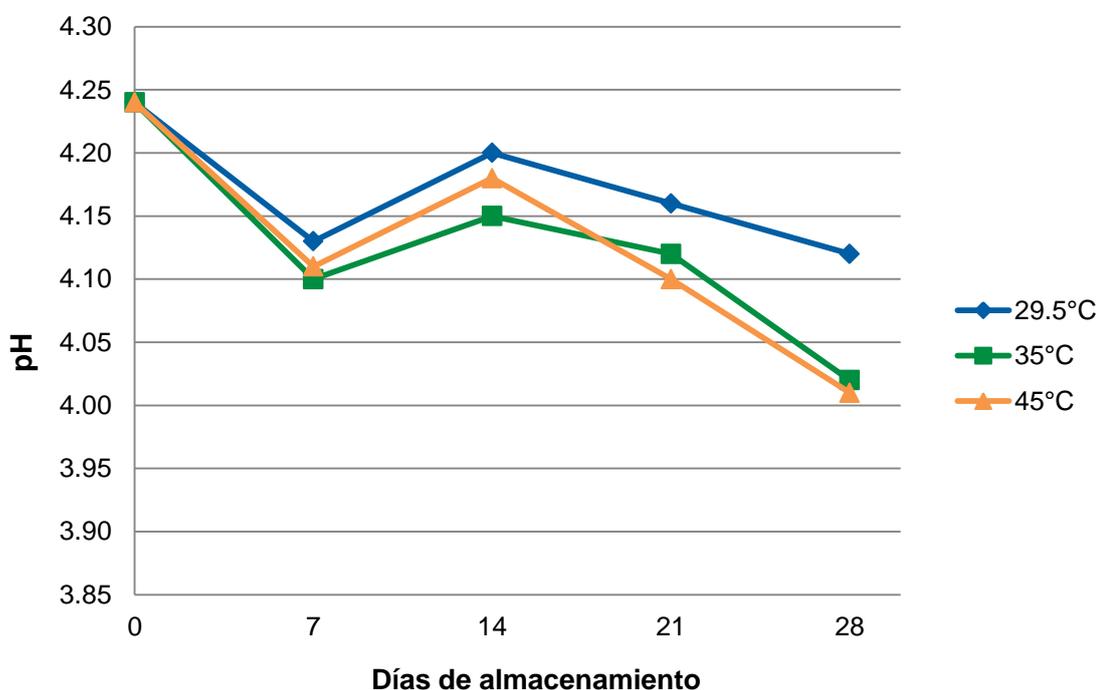


Figura 6.8 Cambios en el pH del aderezo durante el período de almacenamiento a 29.5, 35 y 45°C

Se observó una disminución en el pH a través del tiempo, en las tres temperaturas; aunque este cambio no fue considerable, ya que varió entre 4.24 y 4.01, que corresponde a la muestra fresca y a la del día 28 a 45°C, respectivamente. De modo contrario, Waite *et al.* (2009) reportaron que el pH de las muestras de un aderezo ranch se mantuvieron estables en un período de almacenamiento de cuatro semanas a 4, 26 y 37°C.

Por su parte, De Melo *et al.* (2015) desarrollaron tres formulaciones de un aderezo francés; uno de éstos no mostró cambios en el pH durante 28 días a 4°C, lo que se atribuyó a la acción de la manoproteína, adicionada como emulsificante; en el caso de las otras dos muestras que tuvieron menor concentración o ausencia de dicha proteína, se observó disminución de este parámetro en las mismas condiciones de almacenamiento.

En el caso de los aderezos donde se presenta un patrón de descenso del pH, se ha asociado con la hidrólisis de triglicéridos y la consecuente producción de ácidos grasos libres, así como con la formación de hidroperóxidos y la oxidación lipídica (Masmoudi, Dréau, Piccerelle, y Kister, 2005). Para el caso del aderezo desarrollado en este trabajo, ambas podrían ser la causa de los cambios en el pH, pues también se apreciaron incrementos en el índice de peróxido, como se describe más adelante.

Por otro lado, si se comparan los valores de pH con lo recomendado por la NMX-F-341-NORMEX-2006, éstos debería ser ≤ 4.1 . Antaki y Layne (1990) señalaron que el hecho de que el pH sea mayor, podría ser deseable sensorialmente, pues los consumidores tienden a preferir sabores menos ácidos en el caso de los aderezos elaborados a base de lácteos. Esto concuerda con lo encontrado en este estudio, pues si bien con el paso del tiempo se observó un descenso del pH a valores aceptables por la norma, sensorialmente se pudo notar un mayor rechazo por parte de los panelistas.

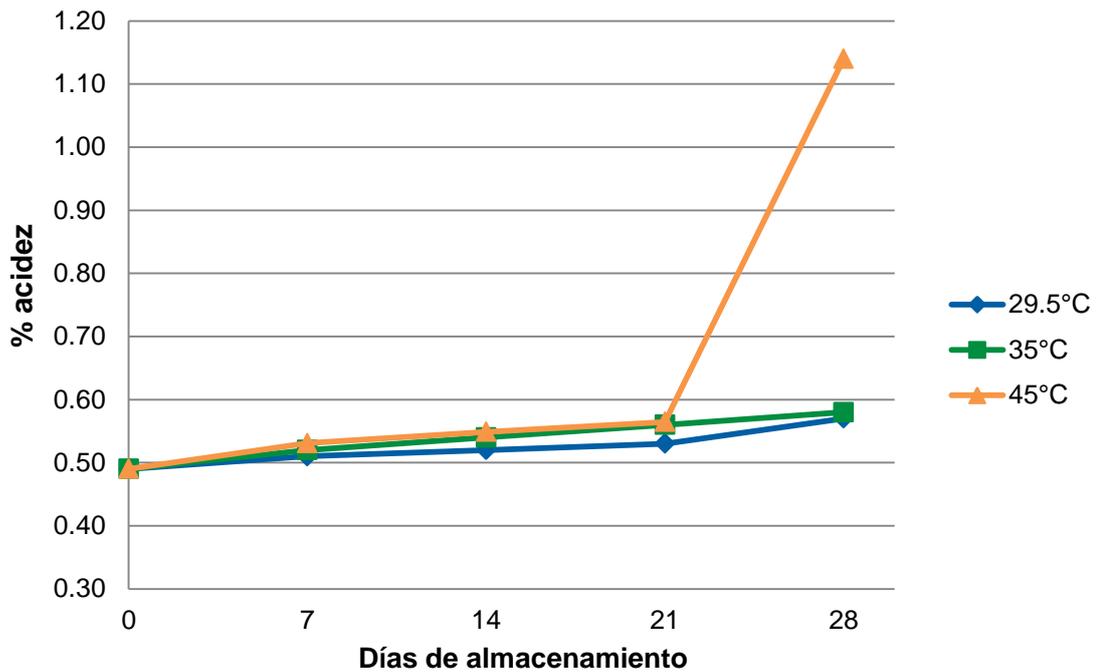


Figura 6.9 Cambios en el % de acidez del aderezo durante el período de almacenamiento a 29.5, 35 y 45°C

Con relación al porcentaje de acidez, se observa un patrón opuesto al de los cambios de pH, pues se puede apreciar una tendencia en aumento para las tres temperaturas, aunque ésta no es considerable ya que varía entre 0.49% y 0.58%, con excepción del día 28 a 45°C, donde se exhibe un incremento notorio de la acidez (1.14%).

Ramírez (2008) obtuvo resultados similares en aderezos elaborados a base de aceite de aguacate y almacenados durante cuatro semanas a 27°C; en este período, el pH de las muestras disminuyó, mientras que el porcentaje de acidez incrementó. Estos cambios fueron atribuidos a la formación de los ácidos grasos libres del aceite utilizado y a su posterior oxidación, lo cual afectó la calidad del producto.

Los cambios en pH y acidez encontrados en el aderezo a base de suero lácteo caprino también pueden deberse a la presencia de ácidos grasos libres y a los productos de la oxidación lipídica, como se mencionó anteriormente, pues se sabe que el aceite de soya contiene cerca de 50% de ácidos grasos poliinsaturados y, por lo tanto, es más susceptible a estos fenómenos (Mishra y Manchanda, 2012).

Aunque otra causa podría ser la degradación de la lactosa del suero por acción de bacterias lácticas (Negri, 2005).

Por otro lado, los valores de porcentaje de acidez se encuentran dentro de lo recomendado por la NMX-F-341-NORMEX-2006, el cual debe ser $\geq 0.25\%$.

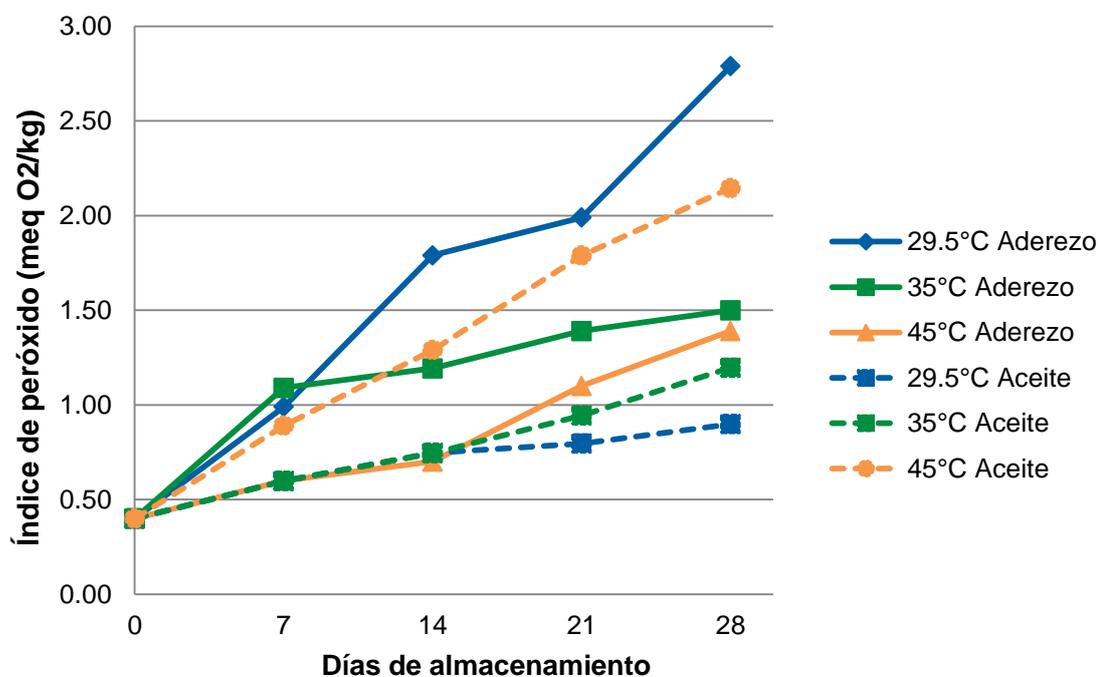


Figura 6.10 Cambios en el índice de peróxido del aderezo y aceite de soya durante el período de almacenamiento a 29.5, 35 y 45°C

La determinación del índice de peróxido se realizó al aderezo y también a muestras de aceite de soya almacenadas en las mismas condiciones que el primero, con el propósito de comparar el comportamiento de este parámetro en ambas matrices. De manera general, se observó un incremento en el índice de peróxido durante el periodo de almacenamiento, con una variación de 0.40 – 2.79 meq O₂/kg y de 0.40 – 2.15 meq O₂/kg en el aderezo y aceite, respectivamente. Sin embargo, el patrón que se presentó fue contrario al esperado. En primer lugar, los valores de este parámetro fueron mayores en el aderezo en comparación con las del aceite, con excepción de las muestras a 45°C, que en el aceite mostró un incremento notorio. En segundo lugar, los valores en orden de magnitud fueron los siguientes: en el aderezo 29.5°C > 35°C > 45°C, mientras que el aceite 45°C > 35°C > 29.5°C.

Estos resultados difieren de lo reportado por Paraskevopoulou *et al.* (2007), quienes determinaron el índice de peróxido en aceite de oliva extra virgen y en aderezos tipo griego con mezclas de 1% de alginato de propilenglicol o goma arábica y 0.5% de goma xantana. Durante un período de 100 días a 23°C, los valores de este parámetro incrementaron en todas las muestras, aunque fue más evidente en el aceite de oliva cuyo valor fue siete veces mayor en comparación con el aderezo con goma arábica y xantana. Lo anterior se adjudicó al papel de las gomas que incrementaron la viscosidad de la fase acuosa; adicionalmente, se señaló que aquellas con acción emulsificante como la goma arábica y el alginato de propilenglicol, pueden ser adsorbidas en la superficie de las gotas de aceite y actuar como una barrera física que separe los sustratos lipídicos de los compuestos prooxidantes.

Se sabe que los mecanismos de oxidación en las emulsiones son diferentes a los que ocurren en los aceites (McClements y Decker, 2000). Aunque varios estudios han mostrado que los polisacáridos como las gomas, pueden retardar la oxidación lipídica en las primeras (Kishk y Al-Sayed, 2007; Matsumura *et al.*, 2003; Shimada, Okada, Matsuo, y Yoshioka, 1996). Uno de los mecanismos mediante el cual los polisacáridos pueden tener tal efecto es la quelación de iones metálicos. La goma xantana ha mostrado ser efectiva al inhibir la oxidación lipídica en emulsiones debido a su habilidad para quelar iones como el Fe^{2+} en sus residuos de piruvato cargados negativamente (Shimada, Fujikawa, Yahara, y Nakamura, 1992). Otro mecanismo propuesto es el incremento de viscosidad producido por los estabilizantes, lo que inhibe la difusión de oxígeno, reduce el movimiento de las gotas de aceite y, en consecuencia, disminuye la probabilidad de que los sustratos de la oxidación entren en contacto (Shimada *et al.*, 1996).

A pesar de la evidencia mostrada por dichos estudios, los resultados obtenidos en este trabajo sugieren que los polisacáridos no siempre actúan de esa manera en las emulsiones o que existen otras variables que tienen un impacto mayor en la estabilidad oxidativa. Desde esta perspectiva, concuerda con lo señalado por McClements y Decker (2000) de que la oxidación lipídica es muy compleja en dichos sistemas, ya que la susceptibilidad a ésta se ve influenciada por diversos factores como la estructura química de los lípidos, concentración de oxígeno, presencia de antioxidantes y prooxidantes, características de las gotas de

aceite, interacciones con componentes de la fase acuosa y calidad de los ingredientes empleados.

En el caso del aderezo a base de suero lácteo caprino, una de las causas por las que experimentó un mayor grado de oxidación lipídica en comparación con el aceite podría ser la presencia de lactosa en el suero, pues se ha visto que los azúcares reductores muestran un efecto prooxidante al reducir los iones de los metales de transición en su estado más activo (ejemplo $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$); éstos, a su vez, catalizan la formación de radicales que reaccionan con los ácidos grasos insaturados del aceite, promoviendo de este modo la oxidación (Yamauchi, Goto, Kato, y Ueno, 1984). Otra posible causa podría ser que los ingredientes incorporados a la emulsión tuvieran pequeñas concentraciones de metales de transición que acelerarían las reacciones de oxidación (Mancuso, McClements, y Decker, 1999). Por último, es probable que el aderezo tuviera una mayor concentración de oxígeno debido a que el procedimiento para separar el aceite de la emulsión involucró dos ciclos de centrifugación, posteriores a ciclos de congelamiento-descongelamiento; si bien la congelación no tendría efecto en el índice de peróxido, se ha reportado que la agitación mecánica incrementa la concentración de oxígeno, de manera que esto pudo aumentar la tasa de oxidación en el aderezo ya que el aceite no fue expuesto a tales condiciones (McClements y Decker, 2000).

Por otro lado, aunque los valores de índice de peróxido en el aderezo estuvieron por debajo de lo recomendado (≤ 10.0 meq O_2/kg), el comportamiento que mostró a diferentes temperaturas no queda claro, pues los estudios reportan que a mayor temperatura, el valor de este parámetro incrementa (Frankel, 1993; García y Molina, 2008; Warner, Frankel, Snyder, y Porter, 1986). Así mismo, si se toman en cuenta las probabilidades de rechazo en las diferentes muestras, se puede notar que fue mayor en el aderezo a 45°C (Cuadro 6.6), además de que algunos consumidores expresaron percibir un sabor a rancio. Por lo que otra posible explicación sería que la tasa de degradación de los hidroperóxidos a 35 y 45°C fue mayor que a 29.5°C , es decir, los compuestos continuaron formándose probablemente más rápido conforme la temperatura incrementó, pero no se acumularon debido a que se degradaron dando lugar a los productos secundarios de la oxidación (Aidos *et al.*, 2002; Choe y Min, 2006). Kim y Min (2008) señalaron que entre los productos que se

forman por la descomposición de los hidroperóxidos se encuentran los aldehídos, cetonas, alcoholes, furanos, compuestos ácidos e hidrocarburos, los cuales son responsables de los sabores y olores característicos de los lípidos oxidados. Dado que el índice de peróxido sólo es capaz de detectar los productos primarios o hidroperóxidos, entonces el comportamiento de este parámetro en las muestras de aderezo a diferentes temperaturas tendría sentido.

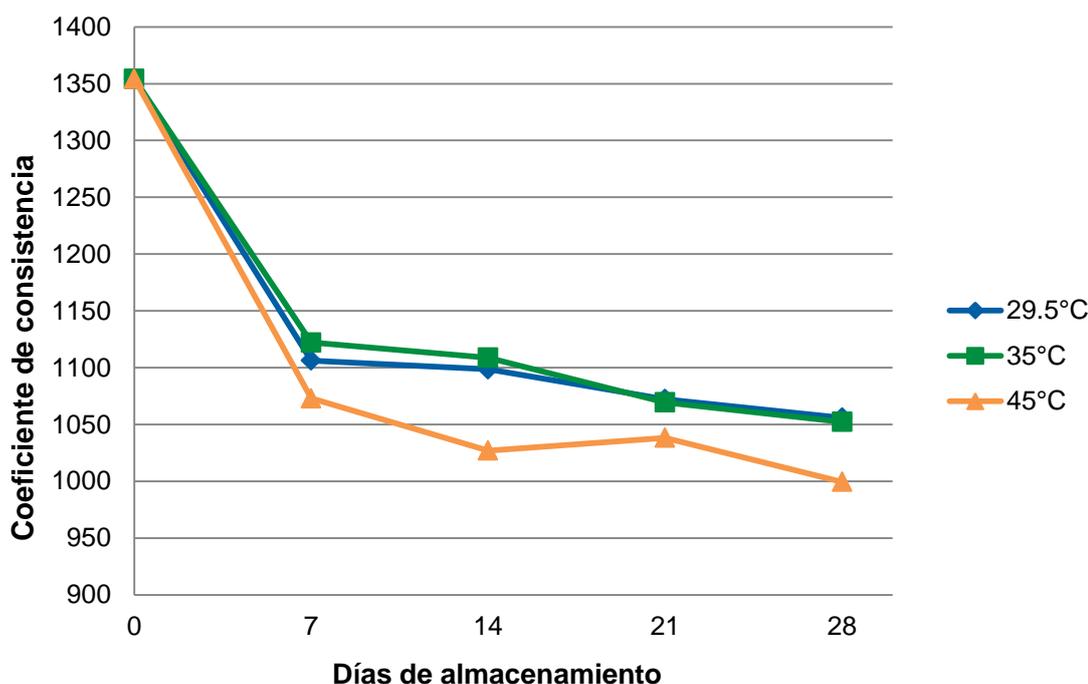


Figura 6.11 Cambios en el coeficiente de consistencia del aderezo durante el período de almacenamiento a 29.5, 35 y 45°C

Con respecto a la viscosidad aparente, se graficaron los valores del esfuerzo de corte y la velocidad de corte observándose una relación no lineal (datos no mostrados), por lo que los datos se ajustaron al modelo de ley de potencia. Los valores de R^2 fueron ≥ 0.97 , mostrando un buen ajuste a este modelo.

De esta manera, mediante el modelo de la ley de potencia se obtuvieron los valores de n (índice de fluidez) y K (coeficiente de consistencia). Con referencia al primero, se considera sin dimensión y refleja la aproximación al flujo Newtoniano, es decir, $n = 1$ representaría a un fluido Newtoniano, cuando $n < 1$ se dice que el fluido es pseudoplástico ya que disminuye su viscosidad al aumentar la velocidad de

deformación aplicada, y si $n > 1$, entonces se trata de un fluido dilatante pues la viscosidad incrementa conforme lo hace la velocidad de deformación (Rao, 2014). Para el caso del aderezo a base de suero lácteo caprino, los valores de n estuvieron entre 0.219 y 0.251, por lo que se consideró un fluido pseudoplástico.

En relación a K , está directamente relacionado con la viscosidad aparente, esto es, mientras mayor es el valor de K , mayor es la viscosidad aparente del fluido (Joyner & Damiano, 2015). La Figura 6.11 muestra el comportamiento de este parámetro a través del tiempo. El coeficiente de consistencia de las muestras disminuyó durante el período de almacenamiento en las tres temperaturas evaluadas, siendo más notable en la de 45°C. Lo anterior fue un comportamiento esperado, pues se ha reportado que las emulsiones tienden a manifestar pérdida de viscosidad a lo largo del tiempo (Waite *et al.*, 2009). Paraskevopoulou *et al.* (2005) obtuvieron resultados similares ya que los valores de K disminuyeron durante un período de 100 días en un aderezo griego, aunque el grupo de trabajo realizó las determinaciones únicamente a 25°C. Los investigadores relacionaron el comportamiento de este parámetro con la coalescencia de las gotas de aceite.

Por su parte, Waite *et al.* (2009) midieron los cambios de viscosidad de un aderezo ranch durante 6 meses a 4, 26 y 37°C. De manera general, se concluyó que el aderezo mostró pérdida de viscosidad durante el tiempo de almacenamiento; sin embargo, a las 4 semanas, período similar al evaluado en el presente trabajo, el aderezo exhibió un incremento en los valores de K , sin importar la diferencia de temperatura. Este comportamiento llama la atención aunque no fue considerado de gran importancia por los autores, pues después se mostró una tendencia hacia la disminución en dicho parámetro hasta que finalizó el estudio.

Se sabe que la estabilidad de las emulsiones complejas, como los aderezos, se ve influenciada por diferentes factores como el tamaño y la distribución de las gotas de aceite, la viscosidad de la fase acuosa, la naturaleza de los ingredientes incorporados y la interacción entre ellos, así como la temperatura (Dickinson, 1994; Paredes, Rao, y Bourne, 1989). En el caso de la última, se ha reportado que a valores mayores de temperatura, disminuye la formación de los puentes de hidrógeno entre las gomas y las moléculas de agua, pues incrementa la movilidad de éstas lo que dificulta la formación de dichos enlaces (Paredes *et al.*, 1989). Es

posible que este mecanismo se presentara en el aderezo a base de suero caprino, porque al haber un menor número de puentes de hidrógeno entre las gomas y las moléculas de agua, disminuiría la viscosidad de la fase acuosa ocasionando un descenso en los valores de K , siendo más notorio en la temperatura de 45°C.

A pesar de los resultados obtenidos en el coeficiente de consistencia, sensorialmente no se observó un cambio considerable en la viscosidad aparente de las muestras, con excepción de aquellas almacenadas a 45° en las que se pudo percibir visualmente un mayor grado de fluidez.

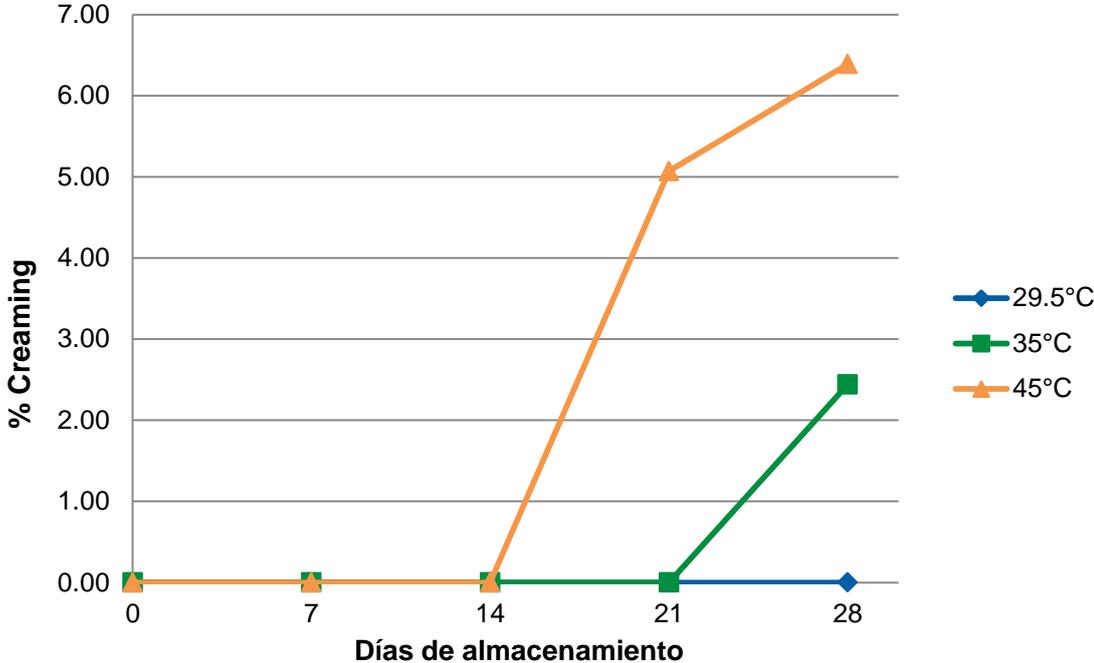


Figura 6.12 Cambios en el % de creaming del aderezo durante el período de almacenamiento a 29.5, 35 y 45°C

Otro parámetro que se determinó por su importancia en la estabilidad de las emulsiones de aceite en agua, es el porcentaje de creaming que, como su nombre sugiere, refleja el grado en el que este fenómeno se está manifestando en el sistema.

El creaming es el proceso por el cual las gotas de menor densidad de la emulsión tienden a ascender en la parte superior de la muestra; es el mismo

mecanismo que se da en la sedimentación, pero en dirección opuesta (Robins, 2000).

En la Figura 6.12 se observa el porcentaje de creaming o índice de flotación en el aderezo almacenado a diferentes temperaturas. Se pudo notar una ligera separación de fase hasta el día 21 en la temperatura de 45°C (5.07%), la cual incrementó en el día 28 (6.39%). En las muestras almacenadas a 35°C, solo se presentó hasta el final del estudio (2.44%), aunque fue menor en comparación con las muestras de 45°C. No se presentó creaming en el aderezo a 29.5°C. Si bien es cierto que se notó cierta separación de fases, ésta no fue del todo completa, pues no se observó una separación total de las fases de grasa y suero, posiblemente porque el fenómeno estaba iniciando cuando el período de estudio terminó. Dickinson (1994) lo define como la etapa temprana del creaming y señala que cuando el proceso avanza, podría formarse una línea distintiva entre la capa de crema ubicada en la parte superior y la fase de suero en la parte inferior, incluso podría aparecer una tercera región intermedia con apariencia similar al de la emulsión original.

En la formulación y desarrollo de emulsiones, lo ideal sería evitar por completo que se produzca este fenómeno; sin embargo, esto es prácticamente imposible. Eventualmente el creaming se manifestará, aunque el tiempo y las condiciones para que esto suceda puede variar (Robins, 2000; Robins, Watson, y Wilde, 2002). Existen ciertos factores que se consideran claves por su influencia en el fenómeno del creaming: el tamaño y distribución de las gotas, la reología de la fase continua y el estado de floculación de las gotas. Éstos, a su vez, se ven afectados por la presencia de emulsificantes y estabilizantes, como las proteínas, polisacáridos y surfactantes de bajo peso molecular (Dickinson, 1994).

Con respecto a las proteínas y polisacáridos, estos polímeros pueden tener un efecto positivo o negativo en la estabilidad de la emulsión frente al creaming, lo cual dependerá de su concentración y las interacciones que se den entre ellos. En el caso de las proteínas, debido a sus propiedades anfifílicas, pueden adsorberse en la interface de aceite-agua y formar una barrera alrededor de las gotas de aceite, previniendo la floculación o coalescencia de las mismas por fuerzas estéricas o electrostáticas (Dickinson, 1994). Por su parte, se ha señalado que los polisacáridos que presentan carácter anfifílico, como la CMC y la goma arábica, podrían contribuir

a la estabilización del sistema del mismo modo que las proteínas, aunque también se ha considerado que posiblemente se asocien con la capa de proteína después que la emulsión ha sido formada. Si la concentración del polisacárido es alta, la interacción daría lugar al establecimiento de una segunda capa alrededor de las gotas cubiertas de proteína, la cual proveería mayor estabilidad a la emulsión (Dickinson, 2003; Paraskevopoulou, Boskou, y Kiosseoglou, 2005).

De Cássia da Fonseca *et al.* (2009) elaboraron un aderezo a base de suero dulce y reportaron que esta asociación pudo haberse dado entre las proteínas del suero lácteo (0.78 g/100 g) y los estabilizantes empleados, CMC y alginato de propilenglicol, pues no observaron creaming en los 4 meses que duró el estudio; aunque cabe señalar que la evaluación sólo se realizó a 25°C. De manera similar, dicha interacción es probable que haya ocurrido en el aderezo desarrollado en este trabajo, entre las proteínas del suero caprino (1.1 g/100 g) y la CMC.

En referencia a los polisacáridos no adsorbibles, como la goma xantana, se ha reportado que inducen floculación por depleción, así como la formación de una red de gel tridimensional débil que atrapa las gotas de la emulsión y, de esta manera, retarda el fenómeno de creaming. El tiempo en el que el sistema permanece sin separación se conoce como “periodo de retraso” el cual finaliza cuando se forman canales en la red, lo que permite que la fase continua fluya y se dé la separación de fases (Manoj *et al.*, 1998; Parker *et al.*, 1995; Robins *et al.*, 2002). En el aderezo a base de suero caprino, este periodo se extendió en las muestras a 29.5°C ya que no hubo evidencia de creaming al final del estudio, mientras que al parecer terminó en el día 21 y 28 en las muestras a 45°C y 35°C, respectivamente.

Por consiguiente, se puede apreciar que el efecto de la temperatura es importante en la aparición del creaming, aunque solo se manifestó en etapas tempranas. Esto podría relacionarse con la pérdida de viscosidad aparente del sistema, debido a que como se mencionó anteriormente, el incremento de temperatura puede disminuir la formación de puentes de hidrógeno entre las gomas y el agua, lo que podría acelerar la formación de los canales en la red de gel y la separación de fases.

6.4.2 Análisis de correlación entre los parámetros fisicoquímicos y la probabilidad de rechazo

Se llevó a cabo un análisis de correlación entre los parámetros fisicoquímicos y la probabilidad de rechazo con el fin de determinar aquel que tiene un mayor impacto en la calidad del producto y que puede ocasionar el rechazo por parte de los consumidores. Dado que solo se contó con dos puntos en el tiempo, para estimar la correlación se calculó la razón entre los valores correspondientes al día 28 y 14 (Cuadro 6.7).

Cuadro 6.7 Análisis de correlación entre la probabilidad de rechazo y los parámetros fisicoquímicos

Temperatura	29.5°C			35°C			45°C		
	Día	14	28	Razón ^a	14	28	Razón ^a	14	28
Probabilidad de rechazo	0.14	0.26	1.86	0.2	0.3	1.5	0.27	0.45	1.67
pH	4.2	4.12	0.98	4.15	4.07	0.98	4.18	4.01	0.96
% acidez	0.52	0.57	1.10	0.54	0.58	1.07	0.55	1.14	2.07
IP	1.79	2.79	1.56	1.19	1.5	1.26	0.7	1.39	1.99
Coficiente de consistencia	1098	1056	0.96	1109	1052	0.95	1027	999	0.97
% Creaming	0	0	0	0	2.44	0	0	6.39	0

^aObtenida al dividir los valores del día 28 entre los del día 14.

Así mismo, se presentan las gráficas que muestran la relación entre la probabilidad de rechazo y los parámetros estudiados.

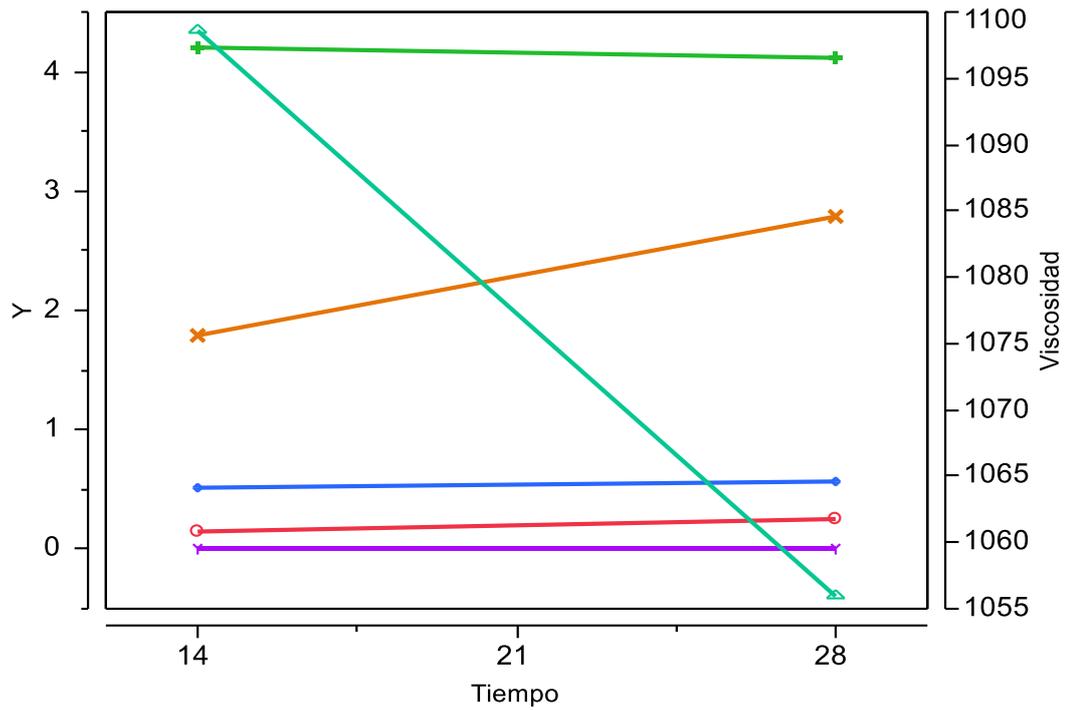


Figura 6.13 Correlación entre la probabilidad de rechazo y los parámetros fisicoquímicos a 29.5°C

Escala izquierda: ○ — Prob de Rechazo + — pH
 ◇ — % Acidez × — IP
 ∩ — % Creaming
 Escala derecha: △ — Viscosidad

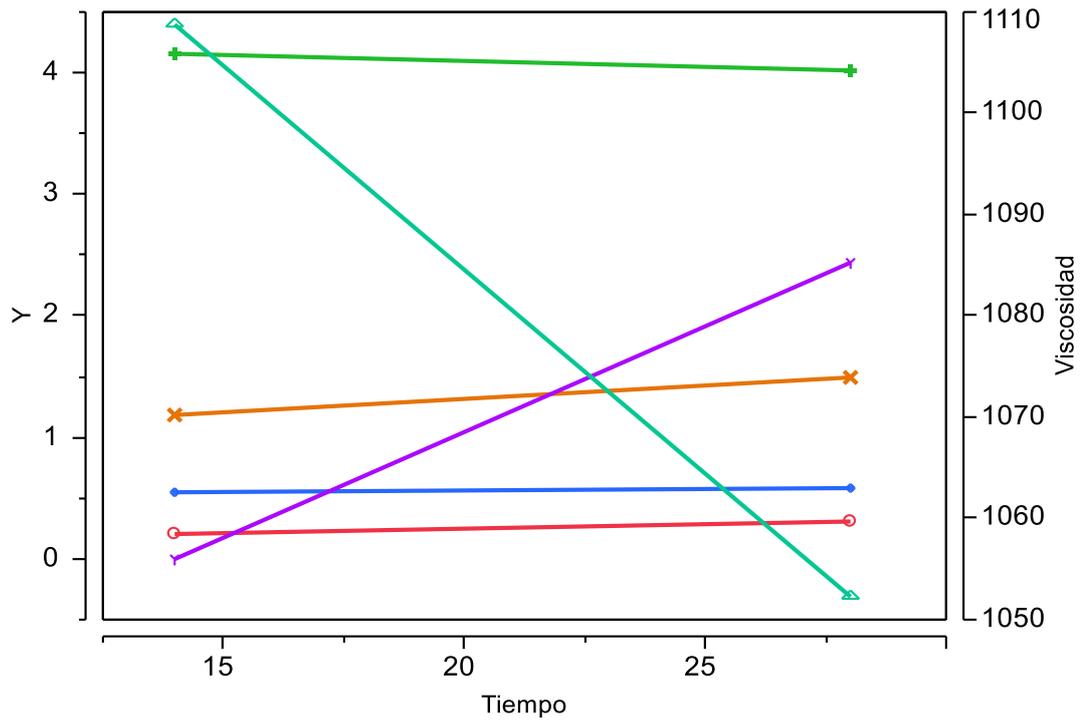


Figura 6.14 Correlación entre la probabilidad de rechazo y los parámetros fisicoquímicos a 35°C

Escala izquierda: ○ — Prob de Rechazo + — pH
 ◇ — % Acidez × — IP
 Y — % Creaming
 Escala derecha: △ — Viscosidad

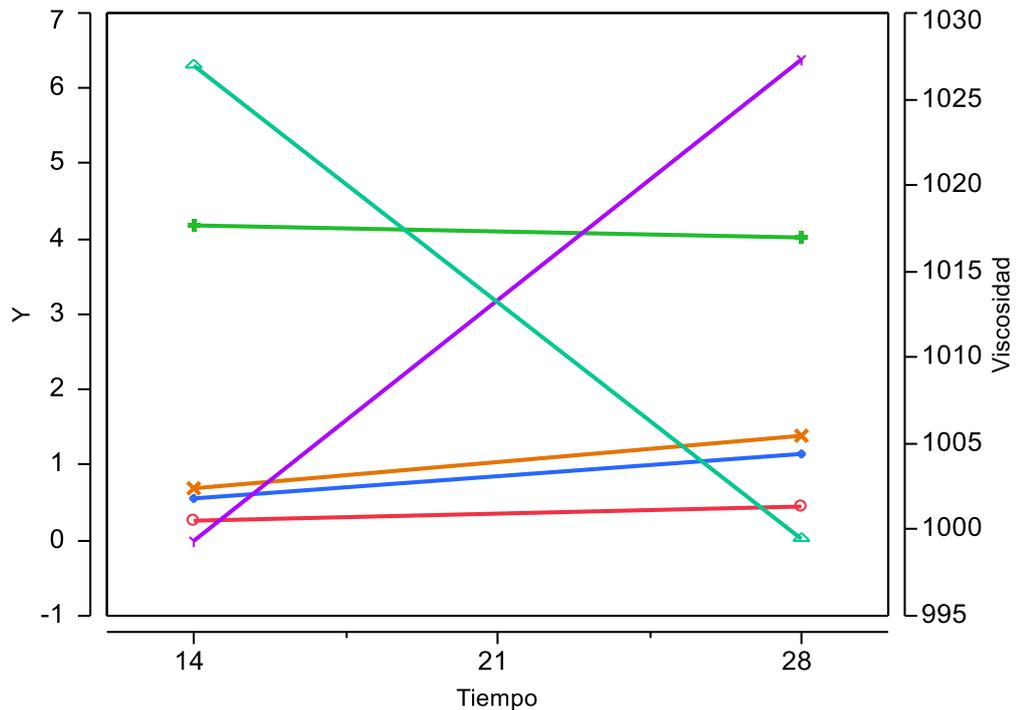


Figura 6.15 Correlación entre la probabilidad de rechazo y los parámetros fisicoquímicos a 45°C

Escala izquierda: ○ — Prob de Rechazo + — pH
 ◇ — % Acidez × — IP
 ∩ — % Creaming
 Escala derecha: △ — Viscosidad

En el Cuadro 6.7 se puede observar que el índice de peróxido es el que mejor correlaciona con la probabilidad de rechazo, ya que la proporción de cambio de 14 a 28 días es muy similar entre éstos. Del mismo modo, en las Figuras 6.13 – 6.15 se aprecia que la línea de tendencia que presenta dicho parámetro es semejante al de la probabilidad de rechazo; no obstante, también se puede notar que el porcentaje de creaming correlaciona bien con éste aunque sólo en las temperaturas de 35 y 45°C. Por su parte, las líneas de los otros parámetros son más bien rectas o, en el caso de la viscosidad, en diagonal pero en sentido opuesto al de la probabilidad de rechazo.

Se ha reportado que la oxidación lipídica es una de las principales causas del deterioro de calidad en aceites, grasas y alimentos que contienen lípidos, durante el almacenamiento. Esto se debe a que ocasiona cambios en los atributos de calidad de los alimentos, tales como textura, apariencia, formación de

compuestos que imparten sabores desagradables, perfil nutricional y en la vida de anaquel, lo cual pudo llevar a una menor aceptación o rechazo del producto por parte de los consumidores (McClements y Decker, 2000; Min y Boff, 2002; Paraskevopoulou *et al.*, 2007).

De manera similar, el fenómeno de inestabilidad del creaming es considerado de mucha importancia desde el punto de vista comercial, pues la percepción de calidad de los consumidores está influenciada por la apariencia (Robins, 2000). Sin embargo, en el presente trabajo, este indicador sólo se relacionó con el rechazo de los consumidores cuando fue sometido a un mayor estrés, es decir, a 35 y 45°C. Lo anterior sugiere que el “periodo de retraso” podría prolongarse y mantener estable el aderezo a temperatura ambiente por más tiempo, por lo que la oxidación lipídica sería el principal mecanismo que afecta la calidad del aderezo, ya que ésta ocurre antes de la separación de fases y parece influir en otros parámetros como el pH y el porcentaje de acidez.

7. CONCLUSIONES

- Se logró incrementar el contenido de proteína en el retenido del suero lácteo de cabra (1.4 g/ 100 g) mediante la UF, empleando un factor de concentración de 2.
- Las mezclas de estabilizantes no influyeron en el pH, porcentaje de acidez e índice de peróxido de las formulaciones desarrolladas.
- La formulación con la mezcla de 0.5% - GX y 0.2% - CMC fue la elegida en la evaluación sensorial, lo que sugiere que los consumidores prefieren un aderezo con mayor viscosidad.
- El aderezo desarrollado se considera como un producto reducido en grasa, de acuerdo a la NOM-086-SSA1-1994, mientras que su contenido de proteína es 2.4 veces mayor a lo recomendado por la NMX-F-341-NORMEX-2006, por lo que representa un alternativa más saludable para el sector interesado en cuidar su salud y alimentación.
- Los valores de porcentaje de acidez, índice de peróxido y porcentaje de creaming incrementaron, mientras que el pH y el coeficiente de consistencia disminuyeron durante el tiempo de almacenamiento en las tres temperaturas evaluadas, siendo más notorios estos cambios a 45°C.
- El aderezo se considera un producto estable desde el punto de vista sensorial, pues a los 14 días presentó un rechazo del 7 - 21%, 12 - 28% y 18 - 37% para las muestras almacenadas a 29.5, 35 y 45°C, respectivamente.
- La oxidación lipídica es el principal mecanismo que afecta la calidad del aderezo, pues influye negativamente en otros parámetros fisicoquímicos y origina sabores desagradables, lo que ocasiona una menor aceptación del producto, incluso cuando los valores de índice de peróxido están por debajo del límite recomendado.

De este modo, se logró desarrollar un aderezo reducido en grasa y con mayor contenido de proteína, lo que representaría una opción más saludable para aquellas personas que consumen este tipo de producto. Así mismo, su contenido de proteínas y la presencia de las gomas le aportan mayor estabilidad, pues en condiciones de estrés los valores de acidez e índice de peróxido estuvieron dentro de los rangos recomendados por las normas, con excepción del pH que fue ligeramente mayor; igualmente, aunque hubo cambios en la viscosidad aparente y el porcentaje de creaming, éstos no fueron tan notorios. No obstante, se recomienda tomar en cuenta otras medidas que prevengan la oxidación lipídica, como la incorporación de un tercer polisacárido o la adición de antioxidantes para incrementar la estabilidad de la emulsión, pues los consumidores manifestaron cierto grado de rechazo aun cuando los valores de índice de peróxido no eran tan altos.

Por otro lado, también se recomienda realizar un estudio de vida de anaquel considerando un mayor periodo de tiempo, así como evaluar el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos y sensoriales a temperatura de refrigeración, pues es de esperar que la estabilidad del aderezo se incremente en estas condiciones.

Finalmente, el desarrollo de este producto representa una alternativa para el aprovechamiento del suero lácteo caprino ácido, subproducto de la industria quesera que generalmente es desechado y considerado una fuente de contaminación ambiental.

8. REFERENCIAS

- Aidos, I., Lourenco, S., Padt, A., Luten, J. B., & Boom, R. M. (2002). Stability of Crude Herring Oil Produced from Fresh Byproducts: Influence of Temperature during Storage. *Journal of Food Science*, 67(9), 3314–3320.
- Amigo, L., & Fontecha. (2011). Goat milk. In *Encyclopedia of Dairy Sciences* (2° ed., p. 484). Elsevier.
- Antaki, J., & Layne, D. (1990, May 22). Reduced tartness salad dressing.
- Anton, M., Beaumal, V., & Gandemer, G. (2000). Adsorption at the oil–water interface and emulsifying properties of native granules from egg yolk: effect of aggregated state. *Food Hydrocolloids*, 14(4), 327–335.
- AOAC. (1996). *Official Methods of Analysis* (16th ed.). Maryland, USA: AOAC International.
- Bylund, G. (2015). Building blocks of dairy processing. In *Dairy Processing Handbook*. USA: Tetra Pak International.
- Cardello, A. V. (1997). Perception of food quality. In *Food Storage Stability* (1° ed., pp. 1–38). USA: CRC Press.
- Carvalho, F., Prazeres, A. R., & Rivas, J. (2013). Cheese whey wastewater: Characterization and treatment. *Science of The Total Environment*, 445-446, 385–396.
- Casper, J. L., Wendorff, W. L., & Thomas, D. L. (1998). Seasonal Changes in Protein Composition of Whey from Commercial Manufacture of Caprine and Ovine Specialty Cheeses. *Journal of Dairy Science*, 81(12), 3117–3122.
- Chacón, A. V. (2005). Aspectos nutricionales de la leche de cabra (*Capra hircus*) y sus variaciones en el proceso agroindustrial. *Agronomía Mesoamericana*, 16(2), 239–252.

- Choe, E., & Min, D. B. (2006). Mechanisms and Factors for Edible Oil Oxidation. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 5(4), 169–186.
- Christiansen, K. F., Vegarud, G., Langsrud, T., Ellekjaer, M. R., & Egelanddal, B. (2004). Hydrolyzed whey proteins as emulsifiers and stabilizers in high-pressure processed dressings. *Food Hydrocolloids*, 18(5), 757–767.
- Codex Alimentarius. Norma del Codex para grasas y aceites comestibles no regulados por normas individuales. Codex Stan 19-1981 (Rev. 2-1999) (1981).
- De Cássia da Fonseca, V., Haminiuk, C. W. I., Izydor, D. R., Waszczynskij, N., de Paula Scheer, A., & Sierakowski, M.-R. (2009). Stability and rheological behaviour of salad dressing obtained with whey and different combinations of stabilizers. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(4), 777–783.
- De Melo, A. N. F., De Souza, E. L., Da Silva Araujo, V. B., & Magnani, M. (2015). Stability, nutritional and sensory characteristics of French salad dressing made with mannoprotein from spent brewer's yeast. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1), 771–774.
- Dickinson. (1994). Emulsion Stability. In K. Nishinari & E. Doi (Eds.), *Food Hydrocolloids* (pp. 387–398). Boston, MA: Springer US. Recuperado el 21 de septiembre de 2016 de: http://link.springer.com/10.1007/978-1-4615-2486-1_61
- Dickinson, E. (2003). Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems. *Food Hydrocolloids*, 17(1), 25–39.
- FAO. (2015a). Livestock processed [FAOSTAT]. Recuperado el 27 de junio de 2015 de: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QP/E#>

- FAO. (2015b). Pequeños rumiantes. Recuperado el 26 de junio de 2015 de:
http://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/produccion-lechera/animales-lecheros/pequenos-rumiantes/es/#.VV_o7tJ_Oko
- FDA. Guidance for Industry: A food labeling guide, § Appendix A: Definitions of nutrient content claims (2013). Recuperado el 9 de agosto de 2015 de:
<http://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/GuidanceDocumentsRegulatoryInformation/LabelingNutrition/ucm064911.htm>
- FDA. Salad Dressing, 2 Título 21 § Part 169 (2015). Recuperado el 9 de agosto de 2015 de:
<http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcr/CFRSearch.cfm?fr=169.150>
- Fox, P. F., & McSweeney, P. L. H. (1998). Production and utilization of milk. In *Dairy chemistry and biochemistry*. London, UK: Blackie Academic & Professional.
- Frankel, E. N. (1993). In search of better methods to evaluate natural antioxidants and oxidative stability in food lipids. *Trends in Food Science & Technology*, 4(7), 220–225.
- García, C., & Molina, M. (2008). Estimación de la vida útil de una mayonesa mediante pruebas aceleradas. *Ingeniería*, 18(1,2), 57–64.
- Gomes, J. J. L., Duarte, A. M., Batista, A. S. M., de Figueiredo, R. M. F., de Sousa, E. P., de Souza, E. L., & Queiroga, R. de C. R. do E. (2013). Physicochemical and sensory properties of fermented dairy beverages made with goat's milk, cow's milk and a mixture of the two milks. *LWT - Food Science and Technology*, 54(1), 18–24.
- Gutman, R. G. (1987). *Membrane filtration: The technology of pressure-driven crossflow processes*. Michigan, USA: A. Hilger.

- Haenlein, G. F. W. (2004). Goat milk in human nutrition. *Small Ruminant Research*, 51(2), 155–163.
- Heino, A., Uusi-Rauva, J., & Outinen, M. (2010). Pre-treatment methods of Edam cheese milk. Effect on cheese yield and quality. *LWT - Food Science and Technology*, 43(4), 640–646.
- Hernández, B. H. (2006). *Producción de leche de cabra y su industrialización, una opción para el Estado de Hidalgo* (Monografía). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo, México. Recuperado el 25 de Abril de 2015
- Hernández-Ledesma, B., Ramos, M., & Gómez-Ruiz, J. Á. (2011). Bioactive components of ovine and caprine cheese whey. *Small Ruminant Research*, 101(1-3), 196–204.
- Hough, G. (2010). *Sensory shelf life estimation of food products*. Boca Raton, FL: CRC Press / Taylor & Francis.
- Jacobsen, C., Hartvigsen, K., Lund, P., Meyer, A. S., Adler-Nissen, J., Holstborg, J., & Hølmer, G. (1999). Oxidation in fish-oil-enriched mayonnaise. *European Food Research and Technology*, 210(1), 13–30.
- Janczukowicz, W., Zieliński, M., & Dębowski, M. (2008). Biodegradability evaluation of dairy effluents originated in selected sections of dairy production. *Bioresource Technology*, 99(10), 4199–4205.
- Jeličić, I., Božanić, R., & Tratnik, L. (2008). Whey-based beverages a new generation of dairy products. *Mljekarstvo*, 58(3), 257–274.
- Joyner, H. S., & Damiano, H. (2015). Influence of various hydrocolloids on cottage cheese cream dressing stability. *International Dairy Journal*, 51, 24–33.
- Kargar, M., Spyropoulos, F., & Norton, I. T. (2011). Microstructural design to reduce lipid oxidation in oil-in-water emulsions. *Procedia Food Science*, 1, 104–108.

- Kaur, G., Panesar, P. S., Bera, M. B., & Kumar, H. (2009). Hydrolysis of whey lactose using CTAB-permeabilized yeast cells. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 32(1), 63–67.
- Kilcast, D., & Subramaniam, P. (2000). Introduction. In *The stability and shelf-life of food* (1^o ed., pp. 1–22). Cambridge, UK: Woodhead Publishing/CRC Press.
- Kim, H., & Min, D. (2008). Chemistry of lipid oxidation. In *Food Lipids. Chemistry, Nutrition and Biotechnology* (3rd ed., pp. 299–320). New York, USA: CRC Press / Taylor & Francis.
- King, A. H. (2011). Chapter 2. Hydrocolloids in salad dressings. In *Hydrocolloids in food processing*. Iowa, USA: Blackwell Publishing Ltd. and Institute of Food Technologists.
- Kishk, Y. F. M., & Al-Sayed, H. M. A. (2007). Free-radical scavenging and antioxidative activities of some polysaccharides in emulsions. *LWT - Food Science and Technology*, 40(2), 270–277.
- Mancuso, J. R., McClements, D. J., & Decker, E. A. (1999). Ability of Iron To Promote Surfactant Peroxide Decomposition and Oxidize α -Tocopherol. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(10), 4146–4149.
- Manoj, P., Fillery-Travis, A. J., Watson, A. D., Hibberd, D. J., & Robins, M. M. (1998). Characterization of a depletion-flocculated polydisperse emulsion I. Creaming Behavior. *Journal of Colloid and Interface Science*, 207(2), 283–293.
- Martinez, C., Mucci, A., Cruz, M. J. S., Hough, G., & Sanchez, R. (1998). Influence of temperature, fat content and package material on the sensory shelf-life of a commercial mayonnaise. *Journal of Sensory Studies*, 13(3), 331–346.
- Martinez-Ferez, A., Rudloff, S., Guadix, A., Henkel, C. A., Pohlentz, G., & Boza, J. J. (2006). Goats' milk as a natural source of lactose-derived oligosaccharides:

- Isolation by membrane technology. *International Dairy Journal*, 16(2), 173–181.
- Masmoudi, H., Dréau, Y. L., Piccerelle, P., & Kister, J. (2005). The evaluation of cosmetic and pharmaceutical emulsions aging process using classical techniques and a new method: FTIR. *International Journal of Pharmaceutics*, 289(1-2), 117–131.
- Matsumura, Y., Egami, M., Satake, C., Maeda, Y., Takahashi, T., Nakamura, A., & Mori, T. (2003). Inhibitory effects of peptide-bound polysaccharides on lipid oxidation in emulsions. *Food Chemistry*, 83(1), 107–119.
- Mcclements, D. J., & Decker, E. A. (2000). Lipid Oxidation in Oil-in-Water Emulsions: Impact of Molecular Environment on Chemical Reactions in Heterogeneous Food Systems. *Journal of Food Science*, 65(8), 1270–1282.
- Micha, R., Khatibzadeh, S., Shi, P., Fahimi, S., & Lim, S. (2014). Global, regional, and national consumption levels of dietary fats and oils in 1990 and 2010: a systematic analysis including 266 country-specific nutrition surveys. *BMJ*, 348(18), g2272–g2272.
- Min, D., & Boff, J. (2002). Lipid Oxidation of Edible Oil. In C. Akoh & D. Min (Eds.), *Food Lipids* (Vol. 117). CRC Press. Recuperado el 13 de septiembre de 2016 de: <http://www.crcnetbase.com/doi/abs/10.1201/9780203908815.pt3>
- Mishra, S., & Manchanda, S. (2012). Cooking oils for heart health. *Journal of Preventive Cardiology*, 1(3), 123–131.
- Monsoor, M. A., Farooq, K., & Haque, Z. U. (2003). Cottage cheese whey as an ingredient of cottage cheese dressing mixes. *Society of Dairy Technology*, 56(1), 17–21.

- Moreno-Indias, I., Castro, N., Morales-delaNuez, A., Sánchez-Macías, D., Assunção, P., Capote, J., & Argüello, A. (2009). Farm and factory production of goat cheese whey results in distinct chemical composition. *Journal of Dairy Science*, 92(10), 4792–4796.
- Navas, M. L. (2007). *Estimación de la vida útil sensorial y fisicoquímica de la mayonesa baja en grasa* (Tesis). Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería de Alimentos, Bogotá, Colombia.
- Negri, L. (2005). El pH y la acidez de la leche. In *Manual de referencias técnicas para el logro de leche de calidad* (2° ed., pp. 155–161). Argentina: INTA. Recuperado el 14 de septiembre de 2016 de: <http://www.aprocal.com.ar/wp-content/uploads/pH-y-acidez-en-leche2.pdf>
- Nguyen, M., Reynolds, N., & Vigneswaran, S. (2003). By-product recovery from cottage cheese production by nanofiltration. *Journal of Cleaner Production*, 11(7), 803–807.
- Nielsen, S. S. (Ed.). (2010). *Food Analysis Laboratory Manual*. Boston, MA: Springer US. Recuperado el 10 de julio de 2016 de: <http://link.springer.com/10.1007/978-1-4419-1463-7>
- NMX-F-066-S-1978. Determinación de cenizas en alimentos. (1978).
- NMX-F-341-NORMEX-2006. Alimentos. Aderezo de mayonesa. Especificaciones y Métodos de prueba. (2006).
- NMX-F-387-1982. Alimentos. Leche fluida determinación de grasa butírica por el método Gerber. (1982).
- NMX-F-426-1982. Productos alimenticios para uso humano. Determinación de sólidos totales en leche fluida. (1982).

- NOM-086-SSA1-1994. Bienes y servicios. Alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición. Especificaciones nutrimentales. (1994).
- Oliveira, D. L., Wilbey, R. A., Grandison, A. S., Duarte, L. C., & Roseiro, L. B. (2012). Separation of oligosaccharides from caprine milk whey, prior to prebiotic evaluation. *International Dairy Journal*, 24(2), 102–106.
- Outinen, M., Heino, A., & Uusi-Rauva, J. (2010). Pre-treatment methods of Edam cheese milk. Effect on the whey composition. *LWT - Food Science and Technology*, 43(4), 647–654.
- Palatnik, D. R., Ostermann Porcel, M. V., González, U., Zaritzky, N., & Campderrós, M. E. (2015). Recovery of caprine whey protein and its application in a food protein formulation. *LWT - Food Science and Technology*, 63(1), 331–338.
- Papadatos, A., Neocleous, M., Berger, A. M., & Barbano, D. M. (2003). Economic Feasibility Evaluation of Microfiltration of Milk Prior to Cheesemaking. *Journal of Dairy Science*, 86(5), 1564–1577.
- Paraskevopoulou, Boskou, D., & Kiosseoglou, V. (2005). Stabilization of olive oil - lemon juice emulsion with polysaccharides. *Food Chemistry*, 90(4), 627–634.
- Paraskevopoulou, D., Boskou, D., & Paraskevopoulou, A. (2007). Oxidative stability of olive oil–lemon juice salad dressings stabilized with polysaccharides. *Food Chemistry*, 101(3), 1197–1204.
- Paredes, M. D. C., Rao, M. A., & Bourne, M. C. (1989). Rheological characterization of salad dressings 2: Effect of storage. *Journal of Texture Studies*, 20(2), 235–250.
- Parker, A., Gunning, P. A., Ng, K., & Robins, M. M. (1995). How does xanthan stabilise salad dressing? *Food Hydrocolloids*, 9(4), 333–342.

- Park, Y. W. (2006). Goat milk – chemistry and nutrition. In *Handbook of milk of non-bovine mammals* (p. 34). Oxford, UK: Blackwell Publishing Professional.
- Park, Y. W. (2009). Bioactive components in goat milk. In *Bioactive components in milk and dairy products* (p. 43). Iowa, USA: Wiley-Blackwell.
- Park, Y. W., Juárez, M., Ramos, M., & Haenlein, G. F. W. (2007). Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*, 68(1-2), 88–113.
- Pintado, Macedo, A. C., & Malcata, F. X. (2001). Review: Technology, chemistry and microbiology of whey cheeses. *Food Science and Technology International*, 7(2), 105–116.
- Pintado, M. E., Da Silva, J., & Malcata, F. X. (1999). Comparative Characterization of Whey Protein Concentrates from Ovine, Caprine and Bovine Breeds. *LWT - Food Science and Technology*, 32(4), 231–237.
- Pintado, M. E., Macedo, A. C., & Malcata, F. X. (2001). Review: Technology, Chemistry and Microbiology of Whey Cheeses. *Food Science and Technology International*, 7(2), 105–116.
- Pouliot, Y. (2008). Membrane processes in dairy technology—From a simple idea to worldwide panacea. *International Dairy Journal*, 18(7), 735–740.
- Ramírez, M. A. (2008, Mayo). *Desarrollo de un aderezo elaborado con base en aceite de aguacate y estudio de sus propiedades fisicoquímicas y reológicas*. Universidad de las Américas Puebla, Puebla, México. Recuperado el 14 de septiembre de 2016 de: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lia/ramirez_c_ma/portada.html

- Rao, M. A. (2014). Flow and Functional Models for Rheological Properties of Fluid Foods. In M. A. Rao, *Rheology of Fluid, Semisolid, and Solid Foods* (pp. 27–61). Boston, MA: Springer US. Recuperado el 19 de septiembre de 2016 de://link.springer.com/10.1007/978-1-4614-9230-6_2
- Raymundo, A., Franco, J. M., Empis, J., & Sousa, I. (2002). Optimization of the composition of low-fat oil-in-water emulsions stabilized by white lupin protein. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 79(8), 783–790.
- Robins, M. M. (2000). Emulsions — creaming phenomena. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 5(5-6), 265–272.
- Robins, M. M., Watson, A. D., & Wilde, P. J. (2002). Emulsions—creaming and rheology. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 7(5-6), 419–425.
- Rosenberg, M. (1995). Current and future applications for membrane processes in the dairy industry. *Trends in Food Science & Technology*, 6(1), 12–19.
- Rysstad, G., & Kolstad, J. (2006). Extended shelf life milk—advances in technology. *International Journal of Dairy Technology*, 59(2), 85–96.
- Saborío Montero, A. (2011). Factores que influyen el porcentaje de sólidos totales de la leche. *ECAG Informa*, (56), 70–73.
- SAGARPA, CNSP Caprinos, & CNG. (2014). *Anuario 2013. Plan anual de fortalecimiento del Comité Nacional Sistema Producto Caprinos* (pp. 1–63). México.
- Salvador, A., Fiszman, S. M., Curia, A., & Hough, G. (2005). Survival analysis applied to sensory shelf life of yogurts—II: Spanish formulations. *Journal of Food Science*, 70(7), s446–s449.

- Sanmartín, B., Díaz, O., Rodríguez-Turienzo, L., & Cobos, A. (2012). Composition of caprine whey protein concentrates produced by membrane technology after clarification of cheese whey. *Small Ruminant Research*, 105(1-3), 186–192.
- Sastre, A. M., Pabby, A. K., & Rizvi, S. H. (2009). Membrane applications in chemical and pharmaceutical industries and in conservation of natural resources: Introduction. In *Handbook of membrane separations: Chemical, pharmaceutical, food, and biotechnological applications* (pp. 3–5). New York, USA: Taylor and Francis Group.
- Scott, K. (2012). Overview of the application of synthetic membrane processes. In *Industrial Membrane Separation Technology* (pp. 8–31). Springer Science & Business Media.
- Shimada, K., Fujikawa, K., Yahara, K., & Nakamura, T. (1992). Antioxidative properties of xanthan on the autoxidation of soybean oil in cyclodextrin emulsion. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40(6), 945–948.
- Shimada, K., Okada, H., Matsuo, K., & Yoshioka, S. (1996). Involvement of Chelating Action and Viscosity in the Antioxidative Effect of Xanthan in an Oil/Water Emulsion. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 60(1), 125–127.
- SIAP. (2015). Resumen nacional. Producción, precio, valor, animales sacrificados y peso. Recuperado el 26 de junio de 2015 de <http://www.siap.gob.mx/resumen-nacional-pecuario/>
- Silva, K. A., Rocha-Leão, M. H., & Coelho, M. A. Z. (2010). Evaluation of aging mechanisms of olive oil–lemon juice emulsion through digital image analysis. *Journal of Food Engineering*, 97(3), 335–340.
- Silveira, E. O. da, Lopes Neto, J. H., Silva, L. A. da, Raposo, A. E. S., Magnani, M., & Cardarelli, H. R. (2015). The effects of inulin combined with oligofructose and

- goat cheese whey on the physicochemical properties and sensory acceptance of a probiotic chocolate goat dairy beverage. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1), 445–451.
- Smithers, G. W. (2008). Whey and whey proteins—From “gutter-to-gold.” *International Dairy Journal*, 18(7), 695–704.
- Smith, K. (2013). Development of membrane processes. In *Membrane processing: Dairy and beverage applications* (pp. 1–16). Oxford, UK: Wiley-Blackwell.
- Sørensen, A.-D. M., Nielsen, N. S., & Jacobsen, C. (2010). Oxidative stability of fish oil-enriched mayonnaise-based salads. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 112(4), 476–487.
- Strathmann, H. (2001). Membrane separation processes: Current relevance and future opportunities. *AIChE Journal*, 47(5), 1077–1087.
- Timmer, J. M. K., & Van der Horst, H. C. (1998). Whey processing and separation technology: state-of-the-art and new developments. Presented at the International Whey Conference, Chicago, USA.
- Tranjan, B. C., Cruz, A. G., Walter, E. H. M., Faria, J. A. F., Bolini, H. M. A., Moura, M. R. L., & Carvalho, L. M. J. (2009). Development of goat cheese whey-flavoured beverages. *International Journal of Dairy Technology*, 62(3), 438–443.
- Tunick, M. H. (2008). Whey protein production and utilization: A brief history. In *Whey processing, functionality and health benefits* (pp. 1–13). Iowa, USA: Wiley-Blackwell and the Institute of Food Technologists.
- Turgeon, S. L., Sanchez, C., Gauthier, S. F., & Paquin, P. (1996). Stability and rheological properties of salad dressing containing peptidic fractions of whey proteins. *International Dairy Journal*, 6(6), 645–658.

- Waite, J. G., Jones, J. M., Turek, E. J., Dunne, C. P., Wright, A. O., & Yang, T. C. S. (2009). Production of Shelf-Stable Ranch Dressing Using High-Pressure Processing. *Journal of Food Science*, 74(2), 83–93.
- Walstra, P., Wouters, J. T. M., & Geurts, T. J. (2006). *Dairy science and technology* (2° ed.). New York: Taylor and Francis Group.
- Warner, K., Frankel, E. N., Snyder, J. M., & Porter, W. L. (1986). Storage Stability of Soybean Oil-Based Salad Dressings: Effects of Antioxidants and Hydrogenation. *Journal of Food Science*, 51(3), 703–708.
- Yamauchi, R., Goto, Y., Kato, K., & Ueno, Y. (1984). Prooxidant Effect of Dihydroxyacetone and Reducing Sugars on the Autoxidation of Methyl Linoleate in Emulsions. *Agricultural and Biological Chemistry*, 48(4), 843–848.
- Zeng, S. S., Soryal, K., Fekadu, B., Bah, B., & Popham, T. (2007). Predictive formulae for goat cheese yield based on milk composition. *Small Ruminant Research*, 69(1-3), 180–186.

