



**Centro de Investigación en Alimentación y
Desarrollo, A.C.**

**EFFECTO DE UN OLEOGEL COMO SUSTITUTO DE GRASA
LÁCTEA EN LA CALIDAD Y ACEPTABILIDAD DE UN
PRODUCTO IMITACIÓN QUESO PANELA**

Por:

Francisco Javier Alday Palafox

TESIS APROBADA POR LA

COORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS DE ORIGEN ANIMAL

Como requisito parcial para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

APROBACIÓN

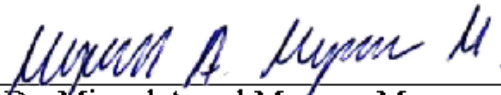
Los miembros del comité designado para la revisión de la tesis de Francisco Javier Alday Palafox la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias.



Dra. Etna Aida Peña Ramos
Directora de Tesis



Dr. Emilio Méndez Merino
Co-director de Tesis



Dr. Miguel Angel Mazorra Manzano
Integrante del comité de tesis



Dra. Yolanda Leticia López Franco
Integrante del comité de tesis

DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

La información generada en la tesis “Efecto de un Oleogel como Sustituto de Grasa Láctea en la Calidad y Aceptabilidad de un Producto Imitación Queso Panela” es propiedad intelectual del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD). Se permiten y agradecen las citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor Francisco Javier Alday Palafox, siempre y cuando se dé crédito correspondiente. Para la reproducción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita de quien ocupe la titularidad de la Dirección General del CIAD.

La publicación en comunicaciones científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos al CIAD, previa autorización escrita del manuscrito en cuestión del director(a) de tesis.



AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el acceso, oportunidad de desarrollo y el apoyo económico otorgado durante el programa de Maestría en Ciencias en el Centro de Investigación en Alimentos y Desarrollo (CIAD).

Así mismo, agradecer al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD), por permitir formar parte de su programa de posgrado de maestría en ciencias y así poder lograr este logro académico, de igual forma, por brindar la oportunidad de conocer y trabajar de la mano de su gran cuerpo laboral y docente, que brindó siempre apoyo y enseñanza.

Agradecer a Sigma Alimentos por el financiamiento de una parte importante del proyecto, así como permitir una estancia de investigación en sus instalaciones. También agradecer por conocer y poder trabajar con su personal y el excelente trato que recibí de todos, especialmente del Dr, Emilio Méndez, Dr. Alfonso Pérez, Ingrid, Juan, Nadia y Alejandra.

A mi comité de Tesis, Dra. Etna Aida Peña Ramos, Dr. Emilio Méndez Merino, Dr. Miguel Ángel Mazorra Manzano y la Dra Yolanda Leticia López Franco, por el apoyo y valiosas contribuciones para mejorar y enriquecer el trabajo de investigación. También agradecer al Dr. Alfonso Pérez Gallardo que, si bien no formó parte de este comité, tuvo gran contribución en el trabajo. Muchas Gracias.

Un agradecimiento especial a mi directora de tesis, la Dra. Etna Aida Peña Ramos, que desde mi tesis de licenciatura me aceptó y apoyó en mi formación académica, siempre extendiendo su mano no solo a mi sino a todos sus alumnos. No existen palabras para agradecerle.

Agradecer a todo el grupo que forma parte de LaCyTeC (Laboratorio de Ciencia y Tecnología de la Carne), primero por las amistades, las enseñanzas en clase y apoyo técnico. De forma especial de nuevo a la Dra. Aida Peña, la maestra Libertad Zamorano, German Cumplido, los Doctores Martín Valenzuela, Humberto González y Juan Pedro Camou (D.E.P.) por el apoyo brindado. Agradecer de forma muy especial a Julio González Noriega y Lisdeth Gutiérrez Pacheco por el compañerismo y amistad y a Thalia Islava Lagarda por su amistad y apoyo técnico desde mi tesis de licenciatura.

De igual forma agradecer a mis amigos y compañeros de clases, en especial a José, Mary y Karla. Así mismo, profesores dentro del posgrado.

Agradecer de forma muy especial, a mi familia, principalmente mi papá Francisco, que no alcanzó a acompañarme en esta última etapa de la maestría, mi mamá Blanca, mis hermanos Sebastian y Santiago, con los cuales espero compartir aún más logros. A la Familia de Ana Laura, que los considero como mi familia y de igual forma estuvieron muy pendientes de la formación de ambos. Por último, Agradecer Ana Laura Flores, que desde hace poco más de 7 años tuve el gusto de conocer, primero siendo mi compañera de clases y laboratorio en la licenciatura, después mi amiga, mi mejor amiga y terminó convirtiéndose en mi novia. Me acompañó casi hasta el final de este proyecto, pero desafortunadamente ya no está conmigo, ni con las demás personas que la queremos. Siempre estaré agradecido de haberla conocido. Le agradezco principalmente a ella, porque quizá de no haber formado parte de mi vida, no habría elaborado una tesis y considerar el estudio de un posgrado, y no hubiera tenido la oportunidad de conocer las personas que formaron en este tiempo parte de mi vida. Si el duelo es el precio que se paga por amar, aun así, no quisiera haberla amado ni un poco menos, pues el dolor del duelo no se compara con el dolor de nunca haber amado. Te extraño, muchas gracias bombón.

DEDICATORIA

Trabajo dedicado a mi mamá Blanca Lidia Palafox López, mis hermanos Sebastian Eduardo Alday Palafox y Santiago Alday Palafox. Dedicatoria especial para mi papá Francisco Javier Alday Villa, mi abuelo Adalberto Palafox Ibarra y mi novia Ana Laura Flores Saucedá (D.E.P.).

CONTENIDO

APROBACIÓN	2
DECLARACIÓN INSTITUCIONAL	3
AGRADECIMIENTOS	4
DEDICATORIA	6
CONTENIDO	7
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE CUADROS	10
LISTA DE ECUACIONES	11
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
1. INTRODUCCIÓN	14
2. ANTECEDENTES	16
2.1. Lípidos y la Salud	16
2.1.1. Ácidos Grasos Saturados	17
2.1.2. Ácidos Grasos Insaturados	18
2.1.3. Características Estructurales y Tecnológicas de Lípidos	20
2.2. Queso Panela	21
2.2.1. Generalidades	21
2.2.2. Sustitución de Grasa en Queso	23
2.2.2.1 Aceite de palma	24
2.3 Oleogeles	25
2.3.1. Mecanismos de Estructuración de Polímeros y Materiales Cristalinos	26
2.3.2. Etilcelulosa como Estructurante en Oleogeles	28
2.3.4 Ceras como Estructurantes en Oleogeles	29
2.3.5. Oleogeles Aplicados en Productos Lácteos	30
3. HIPÓTESIS	33
4. OBJETIVOS	34
4.1. Objetivo General	34
4.2. Objetivos Específicos	34
5. MATERIALES Y MÉTODOS	35
5.1. Elaboración de Oleogeles	35
5.2. Índice de Peróxidos	36
5.3. Análisis Reológico de Oleogeles	37
5.4. Evaluación del Comportamiento Térmico de los Oleogeles	38
5.5. Análisis Estadístico de la Etapa 1	38

CONTENIDO (continuación)

5.6. Elaboración de Queso Panela	39
5.7. Composición Química del Queso	42
5.7.1. Análisis Químico del Queso	42
5.7.2. pH	42
5.7.3. Perfil de Ácidos Grasos por Cromatografía de Gases GC-FAME	43
5.8. Medición de los Parámetros Físicos y Sensoriales de los Quesos	44
5.8.1. Color Instrumental	44
5.8.2. Textura Instrumental	44
5.8.3. Evaluación de la Microestructura del Queso Panela	45
5.8.4. Análisis Sensorial de los Quesos	45
5.8.5. Análisis Estadístico de la Etapa 2	46
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
6.1. Estabilidad Oxidativa del Aceite en la Elaboración de Oleogeles	47
6.2. Análisis Reológico y Térmico de Oleogeles	48
6.2.1. Análisis Reológico	48
6.2.1.1. Viscosidad inicial	49
6.2.1.2. Viscosidad máxima	51
6.2.2. Análisis Térmico.....	54
6.2.2.1. Onset de cristalización	55
6.2.2.2. Temperatura máxima de cristalización	57
6.2.2.3. Onset de fusión. Para el parámetro térmico onset de fusión	58
6.2.2.4. Temperatura máxima de fusión	60
6.2.3. Optimización de Oleogeles	62
6.3. Análisis de la Composición Química del Queso.....	63
6.3.1. Rendimiento	63
6.3.2. Análisis Proximal y pH	65
6.3.3. Perfil Lipídico	68
6.4. Parámetros Físicos de los Quesos	70
6.4.1. Análisis de Color Instrumental	70
6.4.2. Análisis de la Microestructura	72
6.4.3. Análisis de Parámetro de Textura	74
6.4.4. Estudio de Aceptabilidad Sensorial	77
7. CONCLUSIONES	81
8. RECOMENDACIONES	83
9. REFERENCIAS	84
10. ANEXOS	91
10.1. Gráfico de Viscosidad Inicial	91
10.2. Gráfico de Viscosidad Compleja	92
10.3. Gráfico de Calorimetría Diferencias de Barrido en Oleogeles	93
10.4. Formato de análisis sensorial	94

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Estructura de ácidos grasos	19
2. Arreglos polimórficos de TAG's	21
3. Esquematización de las estrategias de gelificación	27
4. Sección de la estructura de etilcelulosa	28
5. Diagrama de bloques del proceso de elaboración de oleogeles	36
6. Diagrama de bloques del proceso de elaboración del queso panela	41
7. Estabilidad oxidativa de aceite de canola durante la simulación del proceso térmico de elaboración de oleogeles con y sin antioxidantes	47
8. Efecto de la incorporación de cera de candelilla y etilcelulosa en los superficie de respuesta del inicio del complejo viscoso (η^* app)	51
9. Efecto de la incorporación de cera de candelilla y etilcelulosa en los superficie de respuesta del parámetro reológico viscosidad máxima (η^* Max)	53
10. Efecto de la incorporación de cera de candelilla y etilcelulosa en la superficie de respuesta del onset de cristalización ($^{\circ}$ C)	56
11. Efecto de la incorporación de cera de candelilla y etilcelulosa en los superficie de respuesta de la temperatura máxima de cristalización (C)	58
12. Efecto de la incorporación de cera de candelilla y etilcelulosa en los superficie de respuesta del onset de fusión	60
13. Efecto de la incorporación de cera de candelilla y etilcelulosa en los superficie de respuesta de la temperatura máxima de fusión	62
14. Imágenes de proceso de elaboración del tratamiento OR	65
15. Efecto de la incorporación de oleogeles en los parámetros de color instrumental de queso panela.	72
16. Análisis de la microestructura de los quesos panela	74
17. Efecto de la incorporación de oleogeles de aceite de canola en la aceptabilidad de los parámetros sensoriales de los productos imitación queso panela	79

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Recomendaciones de porcentajes de energía proveniente de lípidos	17
2. Perfil lipídico de diferentes tipos de aceite de palma	24
3. Materiales estructurantes utilizados para la oleogelación	26
4. Aplicación de oleogeles en productos láctea	32
5. Diseño compuesto central rotatorio (DCC)	35
6. Contenido de grasa y proteína en leche formulada para elaboración del queso panela (Formulación base 100)	42
7. Matriz del diseño compuesto central rotatorio del análisis reológico en oleogeles	49
8. ANOVA para el modelo cuadrático reducido de viscosidad inicial (η^* app)	50
9. ANOVA para el modelo cuadrático reducido de viscosidad máxima (η^*_{Max})	52
10. Matriz del diseño compuesto central rotatorio del análisis de temperatura máxima.....,	54
11. ANOVA para el modelo cuadrático reducido del onset de cristalización.	55
12. ANOVA para el modelo cuadrático reducido de temperatura máxima de cristalización.....	57
13. ANOVA para el modelo cuadrático de onset de fusión (Ton F).....	59
14. ANOVA para el modelo de interacción de dos factores (2FI) de temperatura máxima de fusión	61
15. Concentraciones óptimas y deseabilidad de oleogeles	63
16. Rendimiento de la elaboración de los tratamientos de quesos panela	64
17. Composición del suero	65
18. Efecto en la composición química en la sustitución de grasa butírica en queso panela	66
19. Efecto del reemplazo de grasa butírica con un oleogel de aceite de canola estructurado con etilcelulosa y cera de candelilla en el perfil lipídico de queso panela	69
20. Efecto en los parámetros de textura en la sustitución de grasa en queso tipo panela	75

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación	Página
1. Ecuación del arreglo factorial	39
2. Ecuación del modelo cuadrático reducido de viscosidad inicial	50
3. Ecuación del modelo cuadrático reducido de viscosidad maxima	53
4. Ecuación del modelo cuadrático reducido de onset de cristalización	56
5. Ecuación del modelo cuadrático reducido de temperatura máxima de cristalización	58
6. Ecuación del modelo cuadráticode onset de fusión	60
7. Ecuación del modelo de interaccion de dos factores de temperatura máxima de fusin	62

RESUMEN

El queso panela es un producto ampliamente consumido que posee un alto contenido de grasa saturada. Dado que el consumo de grasa se asocia con efectos negativos a la salud, es necesario implementar estrategias para sustituir la grasa en este tipo de productos con lípidos más saludables. Sin embargo, la grasa juega un papel fundamental en las propiedades tecnológicas del queso. Una estrategia novedosa es sustituir la grasa con oleogeles (OG) formados mediante la estructuración de aceites poliinsaturados, con la finalidad de otorgarles propiedades tecnológicas de la grasa. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de incorporar oleogeles de aceite de canola estructurados con etilcelulosa (EC) y/o cera de candelilla (CC), como sustituto de grasa láctea (GL), sobre la calidad y aceptabilidad de un producto imitación queso panela. Se optimizó la formulación del OG mediante la combinación de EC y CC en rangos de 0 a 8% y 0 a 10%, respectivamente. Se optimizaron 3 formulaciones de OG que buscaron emular los parámetros reológicos y térmicos de GL: OR: Oleogel-reológico (10% CC/0.92% EC); OT: Oleogel-térmico (0.34% CC/5.87% EC); OC: Oleogel-reológico/térmico combinado (0.98% CC/4.36% EC). El efecto de sustituir 50% la GL con estos OGs se comparó con un control 100% GL (GB) y un control con grasa de palma (GP). La incorporación de los OGs disminuyó ($p < 0.05$) la concentración de grasa en los quesos, y logró reducir 45% el contenido de ácidos grasos saturados, e incrementar 3 veces el contenido de ácidos grasos poliinsaturados, con respecto a GB ($p < 0.05$). La sustitución con OG ocasionó una reducción en la tonalidad amarilla de los quesos ($p < 0.05$). Por otro lado, el producto con OR presentó una microestructura con glóbulos de grasa más grandes, mientras que los tratamientos con OT y OC mostraron una microestructura similar a los controles. Estos cambios en la microestructura contribuyeron en cambios en el perfil de textura, resaltando mayor dureza y gomosidad para el tratamiento con OR ($p < 0.05$). Sin embargo, los productos con OT y OC tuvieron una aceptabilidad similar al control GB en los parámetros sensoriales de textura, olor, sensación grasa y sabor ($p > 0.05$), y obtuvieron mayor aceptabilidad en color y apariencia general en comparación a ambos controles ($p < 0.05$). Por lo tanto, sustituir la grasa láctea en queso panela con un oleogel formulado OT u OC, muestra potencial para obtener productos con un perfil lipídico más saludable sin afectar sus propiedades de aceptabilidad. El consumo excesivo de grasas saturadas se asocia con efectos negativos a la salud.

Palabras clave: Queso Panela, Grasa Saturada, Etilcelulosa, Cera de candelilla, Grasa, Oleogel.

ABSTRACT

Panela cheese is a highly consumed cheese which has a relative high content of saturated fat. An excessive consumption of saturated fats has been associated with negative health effects. Therefore, it is necessary to implement strategies to replace fat in this type of cheese, with healthier lipids. However, fat plays a fundamental role in the technological properties of this dairy product. A novel strategy is to replace fat with oleogels (OG) formed by structuring unsaturated oils, to provide them with the technological properties of a fat. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of incorporating a canola oil oleogels structured with ethyl cellulose (EC) and/or candelilla wax (CC), as a substitute for milk fat (MF), on the quality and acceptability of an imitation panela cheese. Oleogel formulation was optimized by combining EC and CC in a range between 0 to 8% and 0 to 10%, respectively. As a result of optimization, 3 OG formulations were selected that sought to emulate the rheological and thermal parameters of MF: OR: Oleogel-rheologic (10% CC/0.92% EC); OT: Oleogel-thermal (0.34% CC/5.87% EC); OC: Oleogel-rheologic/thermal combined (0.98% CC/4.36% EC). The effect of replacing 50% MF in panela cheese with these OGs was compared with a 100% MF control (GB) and a 50% palm fat control (GP). Products with OG had a lower content of fat ($p < 0.05$), as well as a 45% decrease in the content of saturated fatty acids and 3-fold increase on the content of polyunsaturated fatty acids, in comparison to GB ($p < 0.05$). Replacement of MF with OGs reduced ($p < 0.05$) the yellowness of the products. On the other hand, samples with OR presented a microstructure with bigger fat globules, while treatments with OT and OC oleogels showed a similar microstructure to both control samples. Differences in microstructure contributed to modifications on the texture profile, highlighting a greater hardness and gumminess in OR treated sample ($p < 0.05$). Nevertheless, products with OT and OC had similar acceptability scores than GB for the sensory parameters of texture, fat sensation, and flavor ($p > 0.05$); and were scored with a higher acceptability for color and general appearance than both control samples ($p < 0.05$). Therefore, milk fat substitution on a Panela cheese with either an OT or OC oleogel has a great potential to obtain products with a healthy lipid profile without affecting its sensory acceptability.

Keywords: Panela cheese, Saturated Fat, Ethyl cellulose, Candelilla wax, Fat, Oleogel.

1. INTRODUCCIÓN

Un importante componente de los alimentos junto a proteínas, carbohidratos y minerales son los lípidos. Los lípidos confieren a los alimentos características físicas, químicas, sensoriales y nutricionales muy particulares (Ferreira-Chaves *et al.*, 2018). Sin embargo, una alta ingesta de lípidos en la dieta en particular de grasas saturadas se asocia al riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares, así como entre otras enfermedades crónicas asociadas. Por esto, diferentes agencias de salud han recomendado limitar el consumo de grasas saturadas y reemplazarlas con grasas mono y poliinsaturadas (OMS, 2022).

Una de las principales fuentes de grasas saturadas en la dieta son los productos lácteos. Es importante mencionar, que disminuir o eliminar la grasa en productos lácteos, representa un reto tecnológico, ya que la grasa butírica juega un papel importante en parámetros de calidad como, sensación en la boca, sabor y particularmente provee una textura y propiedades reológicas características (Barbut *et al.*, 2016; Khanal *et al.*, 2018; Masotti *et al.*, 2018; Okuro *et al.*, 2020). Por su naturaleza (alto contenido de ácidos grasos insaturados), una estrategia para la mejora del perfil lipídico de productos lácteos es la incorporación de aceites vegetales. Si bien esto mejora el perfil nutricional, la aceptabilidad y estabilidad de los productos obtenidos se ven afectados negativamente. Esto es debido principalmente, a que, por su consistencia líquida, estos aceites no proporcionan el aporte tecnológico de la grasa butírica en la textura. De tal forma, para conservar las propiedades nutricionalmente benéficas de los aceites, y que a su vez se logre la funcionalidad de una grasa, es necesaria la implementación de técnicas de estructuración de aceites (Jiménez-Colmenero, 2007; Laurance *et al.*, 2010; Ferrão, 2016).

La organogelación o oleogelación de lípidos es una alternativa innovadora que logra que, los aceites mediante la adición de agentes gelificantes se estructuren, para crear una grasa plástica que posea propiedades de tipo sólido (Co y Marangoni, 2012; Zetzl *et al.*, 2012; Patel *et al.*, 2014). Una gran variedad de sustancias o moléculas poseen la cualidad de actuar como agentes gelificantes para elaborar oleogeles alimentarios, tales como ceras, sustancias surfactantes como mono estearato y palmitato de sorbitan, macromoléculas poliméricas como el caso de algunos polisacáridos y sistemas proteicos, entre otros (Davidovich-Pinhas *et al.*, 2015). Cabe mencionar que algunos estructurantes, por ejemplo, la etilcelulosa requiere el uso de altas temperaturas para llevar a cabo

su efecto estructurante. Esto conlleva a incrementar la inestabilidad oxidativa de los aceites poliinsaturados utilizados en la elaboración de oleogeles, por lo que puede ser necesaria la adición de antioxidantes durante su proceso de elaboración (Gravelle, *et al.*, 2012).

Recientemente, el uso de oleogeles se ha evaluado para sustituir grasa saturada en productos lácteos para así mejorarlos nutricionalmente, sin afectar significativamente las propiedades de calidad y estabilidad que confiere la grasa láctea a estos productos (Davidovich-Pinhas *et al.*, 2015). Una de las estrategias de oleogelacion es el relleno de partículas, que fue utilizado en quesos procesados con la adición de 5 % de fibra de avena y sustituyendo el 50 % de la grasa en el producto con aceite de canola, logrando obtener cualidades de textura similares (dureza, estabilidad del aceite y capacidad de fusión) al producto 100 % grasa de leche (Ramel y Marangoni, 2018). Bemer *et al.* (2016) reemplazaron la grasa en queso crema con un oleogel de aceite de soya elaborado con dos distintos agentes estructurantes (cera de salvado de arroz y etilcelulosa), y observaron que estructurar con un 8 % de cera de salvado de arroz, permitió obtener queso crema con características similares en textura a un producto comercial con grasa de leche, con la excepción de la viscosidad. Adicionalmente, es importante mencionar que los tratamientos con oleogel estructurado con cera de salvado de arroz mostró propiedades reológicas similares al control comercial y se logró reducir la porción de grasa saturada.

Por lo antes mencionado, la sustitución de grasa láctea por un oleogel es una alternativa factible para disminuir el contenido de grasa saturada en un producto lácteo y resulta importante, evaluar nuevas alternativas de estructurantes y tipos de aceites para la reducción de grasa en otros tipos de queso de alto consumo como lo es el queso fresco panela. Dado que los aceites vegetales poliinsaturados, como el aceite de canola, son una fuente de ácidos grasos con beneficios a la salud, en este estudio se planteó evaluar el efecto de un oleogel de aceite de canola estructurado con etilcelulosa (EC) y/o cera de candelilla (CC), como sustituto de grasa láctea en la calidad y estabilidad de un producto imitación queso panela.

2. ANTECEDENTES

2.1. Lípidos y la Salud

Los lípidos en alimentos se encuentran compuestos por triglicéridos (TGA), estos a su vez por tres moléculas de ácidos grasos esterificadas a una molécula de glicerol (Ferreira-Chaves *et al.*, 2018). Los ácidos grasos son los responsables de las propiedades físicas de los lípidos, dado que son los componentes principales de estos. Los lípidos alimenticios de acuerdo con su estado físico en condiciones ambientales se clasifican como grasas siendo estas sólidas o aceites, los cuales generalmente son líquidos. Al ser un componente importante dentro de los alimentos, los lípidos juegan un rol desde el punto de vista biológico, estructural, sensorial y nutricional (O'Brien, 2008; García, 2015; Liu *et al.*, 2017).

Cabe mencionar que biológicamente, los lípidos juegan un rol fundamental en el transporte de algunas vitaminas liposolubles, además de cumplir importantes funciones del sistema endocrino. Así mismo, algunos ácidos grasos son esenciales, es decir deben ser adquiridos mediante la dieta donde ayudan a cumplir diversas funciones biológicas. Los lípidos en la dieta son un concepto confuso para el público, algunos avances científicos han generado incertidumbre acerca de los beneficios o perjuicios acerca de ellos. No obstante, de manera general, a las grasas o aceites con un alto contenido de ácidos grasos saturados se les consideradas perjudiciales, y de manera contraria, lípidos beneficiosos a los que poseen un alto contenido tanto de ácidos grasos mono y poliinsaturados (Ferreira-Chaves *et al.*, 2018; Liu *et al.*, 2017; Chlebowski *et al.*, 2020). En el Cuadro 1 se muestran algunas recomendaciones de instituciones de salud acerca del consumo de diversos tipos de lípidos.

Por lo anterior, en la industria de alimentos se busca el reemplazo de las grasas malas (saturadas) con aceites poliinsaturados de origen vegetal que además de ser económicos, ofrezcan una mejor opción desde el punto de vista de la salud (Ramel y Marangoni, 2018).

Cuadro 1. Recomendaciones de porcentajes de energía proveniente de lípidos.

Organización	Porcentaje recomendado de energía				
	Total	Saturados	Trans	n-6 AGIs	n-3 AGIs
Organización Mundial de la Salud	20- 35 %	<10 %	<1 %	2.5-9 %	0.5-2 %
Instituto de Medicina Consejo de Alimentos y Nutrición	20- 35 %	Consumo limitado	Consumo limitado	5-10 %	0.6-1.2 %
Departamento de agricultura de los estados unidos (USDA)	-	<10 %	Consumo limitado	-	-
Asociación Americana de Diabetes	Seguir la recomendación para la población general.				

Ácidos graso insaturado omega-6 (n-6 AGIs); Ácidos grasos insaturado omega-3 (n-3 AGIs); departamento de agricultura de estados unidos (USDA por sus siglas en ingles). Adaptado de Liu *et al.* (2017).

Es importante mencionar que con el propósito de advertir a los consumidores sobre el contenido de ácidos grasos saturados y *trans* en los alimentos que se comercializan en el país, la normativa mexicana de etiquetado en su nueva edición NOM- 051-SCFI/SSA1, menciona que el producto alimentario deberá incluir en la etiqueta un octágono con la leyenda de “exceso grasas saturadas” y “exceso grasas *trans*” si el producto excede en su porcentaje de aporte de energía, en el caso de que sea mayor o igual a 10 % para el caso de la grasa saturada, y mayor o igual a 1 % en cuanto a *trans*.

2.1.1. Ácidos Grasos Saturados

En años recientes las enfermedades coronarias han ido en aumento, siendo una de las principales la aterosclerosis. La hipótesis lipídica original de la aterosclerosis (acumulación de placa en arterias) relaciona a los ácidos grasos saturados AGS con la formación de ateromas que provocan enfermedades del corazón, procesos trombóticos, inflamación, formación de especies reactivas de oxígeno, etcétera. Las lipoproteínas de baja densidad (LDL por sus siglas en inglés) son una de las proteínas encargadas del transporte de colesterol en el torrente sanguíneo, es conocido como colesterol malo ya que se relacionan con el aumento de colesterol en sangre que promueve diversas

enfermedades. El aumento de LDL en el torrente sanguíneo ocasiona que pueda ser captado por macrófagos dentro de la pared celular de las arterias, provocando así la acumulación de LDL. El cúmulo de LDL en las arterias promueve un proceso proinflamatorio que lleva a la formación de la placa arteriosclerótica (Liu *et al.*, 2017; Chlebowski *et al.*, 2020). Este incremento de LDL es provocado por la inhibición llevada por los AGS de los receptores de LDL en el hígado (LDLr) a nivel de ARNm (Pedersen y Kirkhus, 2011; Gu y Yin, 2020; Bemer *et al.*, 2016).

No todos los AGS están relacionados en el aumento de la probabilidad de padecer enfermedades cardiovasculares. De forma específica se ha observado que los AGS de cadena media y larga son los que muestran el potencial para el aumento del colesterol sanguíneo, siendo el ácido mirístico (C 14:0), láurico (C 12:0) y palmítico (C 16:0) los principales AG asociados a estas enfermedades. Como principales fuentes de este tipo de lípidos tenemos productos cárnicos, el aceite de palma y productos lácteos (Pedersen y Kirkhus, 2011; Bhardwaj *et al.*, 2011; Gu y Yin, 2020).

2.1.2. Ácidos Grasos Insaturados

Los ácidos grasos insaturados (AGI), promueven la disminución de enfermedades cardiovasculares, sumado a esto, ayudan a disminuir citocinas inflamatorias. De manera contraria a los AGS y *trans*, los lípidos insaturados elevan las lipoproteínas de alta densidad (HDL) y disminuyen las de baja densidad (LDL) (Dyerberg *et al.*, 2004; Ospina *et al.*, 2012; Kris- Etherton, 1999; Boskou *et al.*, 1996). Cabe hacer notar que, dentro de este grupo se encuentra los ácidos grasos esenciales como son omega-3 y omega-6, es importante mencionar que una deficiencia de estos en la dieta, provocan padecimiento de dermatitis, pérdida de agua a través de la piel, alteraciones neurológicas y visuales, bajo crecimiento mayormente relacionado con el déficit de omega-3. Sumado a lo anterior, un alto consumo de omega-3 se ha relacionado con la disminución tanto de triglicéridos como de lipoproteínas de baja densidad, así como reducción en la agregación plaquetaria (Akoh y Min 2002; Lázaro *et al.*, 2020). En la Figura 1 se observa la estructura de ácidos grasos poliinsaturados (AGP) (a), monoinsaturados (AGM) (b) y Saturados (c).

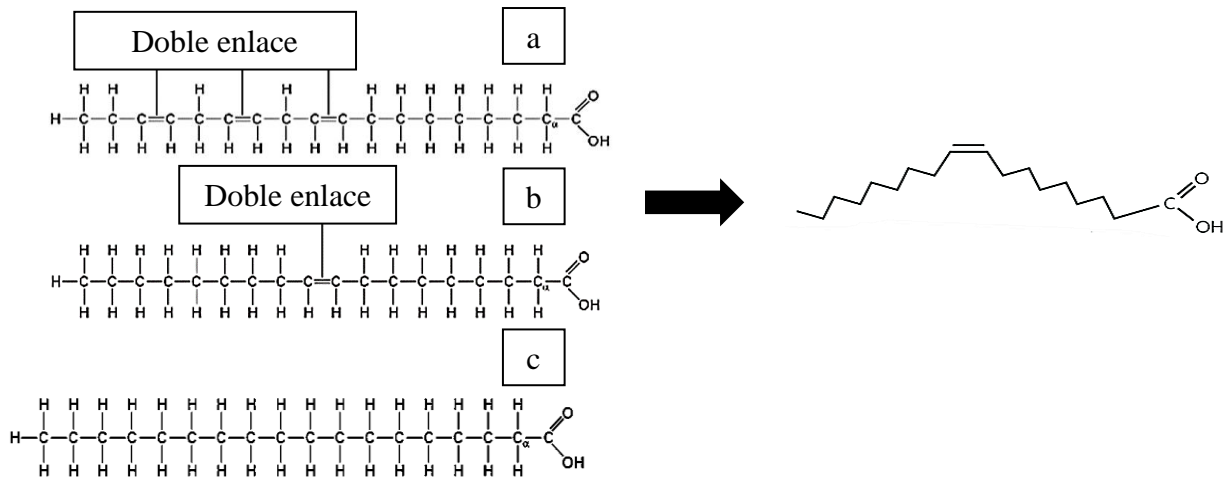


Figura 1. Estructura de ácidos grasos.

Ácido graso poliinsaturado(a); ácido graso monoinsaturado(b); ácidos grasos saturados (c). (Feiner, 2006; Sanderson y Nichols, 2002).

Si bien este tipo de lípidos otorgan beneficios a la salud, sus propiedades tecnológicas se ven afectadas por la inestabilidad generada por su estructura, en donde la presencia de la doble ligadura en la estructura genera un ángulo en la molécula que resulta en un bajo empaquetamiento molecular y así como un punto de fusión bajo, lo cual promueve características polimórficas cristalinas con mayor inestabilidad comparado con la que presentan las grasas saturadas. Esta doble ligadura, genera que estos lípidos sean propensos a oxidación, lo cual les otorga una desventaja tecnológica frente a los lípidos con una mayor porción de AGS. Algunos aceites vegetales con un perfil lipídico alto en AGM y AGP, son los aceites de canola y girasol. El porcentaje de AGI en estos aceites ronda entre un 80-90 %. (Weiss *et al.*, 2008; O'Brien, 2008; Bemer *et al.*, 2016; Co y Marangoni, 2011).

El aceite de canola es el aceite con mayor producción mundial. El aceite de canola posee un bajo contenido de ácidos grasos saturados (alrededor del 5 %), y un alto contenido tanto de AGM (63 %) y AGP (30 %). El AGM que se presenta en una mayor porción en el aceite de canola es el ácido oleico (C18:1). Mientras que, los AGP que se encuentran en una mayor proporción son los ácidos linoleicos (C18:2) y α -linoléico (C18:3). El aceite de canola presenta un sabor y color neutro en comparación con el aceite de oliva, por lo que, es utilizado en la industria alimentaria en la sustitución de grasas saturadas en diferentes alimentos (O'Brien, 2008; Eskin *et al.*, 2020).

2.1.3. Características Estructurales y Tecnológicas de Lípidos.

Los AGS poseen un mayor aporte tecnológico, debido a su estructura lineal y el empaquetamiento, derivado de su linealidad molecular, esto les proporciona una estructura sólida, contrario a los lípidos compuestos con AGM y AGP. Los AGS contienen enlaces simples entre átomos de carbono y su temperatura o punto de fusión aumenta en función de su peso molecular. En la Figura 1c se muestra la molécula de AGS y en la cual se señala su estructura y composición. (Sanderson y Nichols, 2002). La ausencia de dobles enlaces en la estructura de los AGS permite la linealidad. Esto a su vez favorece la estabilidad oxidativa y su empaquetamiento (Sanderson y Nichols, 2002; Co y Marangoni, 2018).

Polimorfismo es el término que se utiliza para describir las diferentes formas de empaquetamiento que se pueden presentar en los lípidos a un nivel molecular, cuando se encuentran en estado cristalino. Los factores que determinan o afectan la forma polimórfica o arreglo cristalino en los lípidos son la temperatura, velocidad de enfriamiento, tipo de solvente y cantidad de núcleos cristalinos. Estas estructuras cristalinas tienen un efecto en sus propiedades físicas como punto de fusión, solubilidad y volumen específico, que a su vez se ven implicadas en la funcionalidad de los lípidos en alimentos. Los triglicéridos presentan tres tipos de polimorfismo α , β y β' , los cuales podemos observar en la Figura 2. En el caso del polimorfismo α , es el arreglo menos estable, presenta un arreglo hexagonal (Figura 2a) que no ayuda a la interacción de cadena-cadena. El polimorfismo α presenta un menor punto de fusión y mayor inestabilidad, sin embargo, una característica importante de este tipo de arreglos en lípidos es que en procesos de calentamiento-enfriamiento tienden a transformarse en las formas β y β' . El arreglo α es común encontrarlo en lípidos insaturados (Ospina *et al.*, 2012; Akoh y Min 2002).

El arreglo polimórfico β presenta una mayor estabilidad en comparación con los diferentes polimorfos. Presenta una mayor densidad y un empaquetamiento triclinico (Figura 2c). El polimorfo β es característico en grasas saturadas, debido a la linealidad de los AGS (Ospina *et al.*, 2012; Akoh y Min 2002; Ramel *et al.*, 2016; Ramel y Marangoni, 2018; Truong *et al.*, 2020).

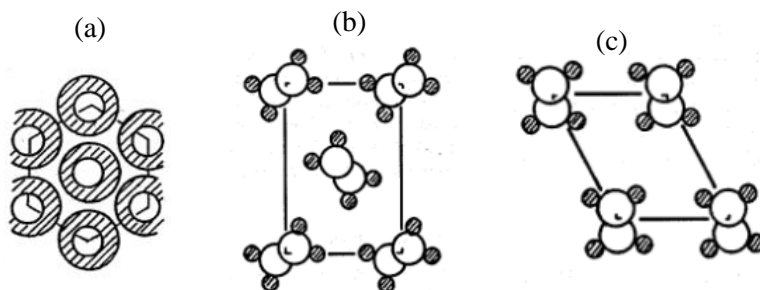


Figura 2. Arreglos polimórficos de TAG's.

(a) Hexagonal; (b) Ortorrómbico; (c) Triclínico.

Por último, el polimorfismo β' se encuentra en un estado intermedio, en cuanto a estabilidad con una estructura ortorrómbica (Figura 2b) que presenta puntos de fusión intermedios densidad intermedia y que además en procesos de calentamiento-enfriamiento tiende a formar arreglos β este arreglo es característico de lípidos alimenticios de composición muy heterogénea entre AGS y AGI (Ospina *et al.*, 2012; Akoh y Min 2002).

Estas características de estructura molecular de ácidos grasos, arreglo de triglicéridos, polimorfismo y nanoestructuras que determinan la estructura cristalina y el tamaño de ésta, tienen un impacto significativo en las propiedades de textura, puntos de fusión y otras propiedades funcionales de las grasas, que a su vez impactan en su aporte tecnológico en alimentos (Ospina *et al.*, 2012; Akoh y Min 2002; Truong *et al.*, 2020).

2.2. Queso Panela

2.2.1. Generalidades

Es importante mencionar que el queso panela hasta el año 2018, abarcaba el 16 % de la producción de quesos en México. Este queso es un queso fresco artesanal popular mexicano de pasta blanca, formado mediante auto prensado, elaborado a partir de leche de vaca pasteurizada, desgrasada o parcialmente desgrasada (NOM-243-SSA1-2010, 2010), con poca o sin acidificación del cultivo

iniciador y con rendimientos promedio habituales de 13-14 kg de queso por 100 L de leche. Generalmente, se encuentra en los mercados locales como un queso blanco de 0,5 a 2 kg y se caracteriza por su alto contenido de humedad y susceptibilidad al deterioro, por lo tanto, es mejor si se consume dentro de los primeros días después de su fabricación (Guerra-Martínez et al., 2012; PROFECO, 2017).

La elaboración del queso panela consiste en el uso de leche como materia prima. Al recibir la leche, se debe de pasar por un proceso de estandarización de sólidos (grasa principalmente) y pasteurización, seguido de la adición de CaCl_2 y agentes antimicrobianos. Posteriormente, se ajusta la leche a una temperatura de 32 °C aproximadamente (temperatura idónea para la formación del cuajo). Un paso clave en la elaboración de cualquier queso es la coagulación de la leche mediante un proceso enzimático o mediante acidificación. La coagulación del queso panela se lleva a cabo mediante coagulación por un procedimiento enzimático. Una vez formado el cuajo se lleva a cabo el cortado en cubos, y después se realiza el trabajo de grano aplicando agitación. Seguido del trabajo de grano, se retira parcialmente el suero y a la cuajada se le adiciona sal. La cuajada es moldeada y prensada para eliminar el suero restante. Finalmente, los quesos son enfriados y empacados (Kapoor y Matzger, 2008; Villegas de Gante *et al.*, 2016; Truong *et al.*, 2020).

El proceso de coagulación de la leche se efectúa al deshacer la estructura de las micelas caseícas, mediante la utilización del cuajo (renina). La renina actúa sobre la estructura de las micelas de caseína (formada por las caseínas α , β y κ). En la coagulación, la renina o quimosina hidrolizan la κ - caseína. Las caseínas α y β no se ven afectadas por la hidrólisis del cuajo. De tal manera que forman complejos con el calcio y fosfatos, que se agregan entre ellas mediante enlaces con Ca^2 . Estos agregados micelares forman una red donde quedan atrapados los glóbulos de grasa, suero y otros componentes. La composición del queso panela al final de su elaboración ronda en un 59 % de humedad, un 17 % de proteína y un 20 % de grasa. Dada su alta producción y a que su contenido de grasa puede ser considerado relativamente alto, uno de los retos importantes que se deben vencer en el queso panela, es la sustitución de la porción de grasa láctea, por su alto contenido de AGS (Bachmann, 2001; Kapoor y Matzger, 2008; Ramel y Marangoni, 2018).

2.2.2. Sustitución de Grasa en Queso

Se estima que los productos lácteos contribuyen con el 24 % de la ingesta de grasa saturada en la dieta de la población de los Estados Unidos de América y del 25-30 % en países europeos (Gómez-Cortez *et al.*, 2018). La grasa láctea (GL) se encuentra compuesta de alrededor de un 65 % de ácidos grasos saturados. En los quesos, la GL es uno de los componentes funcionales principales por su aporte tecnológico y sensorial (Ramel y Marangoni, 2018). Es importante mencionar que muchas de las propiedades tecnológicas de los quesos como capacidad de fundición, textura y estabilidad entre otras, están explicadas por las proteínas y las propiedades físicas y microestructura en la que se presenta la grasa en los productos (Kapoor y Matzger, 2008; Ramel y Marangoni, 2018). La GL es muy heterogénea (puntos de fusión desde -40 a 40°C) dado su perfil lipídico y conformación de aproximadamente 56 diferentes triacilglicéridos. Estos triacilglicéridos que componen el 98 % aproximadamente de la GL, están compuestos por un 68 % de AGS, sobresaliendo el contenido de ácido palmítico con un 30 % (Truong *et al.*, 2020).

Con el fin de llevar a cabo la sustitución de la grasa butírica en el queso es importante conocer el comportamiento de la grasa láctea. Dentro de la GL coexisten tanto polimorfismo β' , β y α . Para el caso de los productos lácteos como el queso la tendencia va más a la formación de cristales β' y β después de los procesos térmicos de calentamiento y enfriamiento, tendiendo a ser más estable (Ramel *et al.*, 2016; Ramel y Marangoni, 2018). La sustitución de grasa en diversos quesos ha traído como resultado cambios tanto en textura, sabor y color; además de no presentar mejoras en el perfil lipídico. Algunas de las estrategias realizadas para la sustitución de grasa en quesos, es la utilización de aceites vegetales hidrogenados y fragmentados, el uso de polisacáridos como agentes estabilizantes y en mayor proporción el uso del aceite de palma. El aceite de palma se ha utilizado en la industria láctea como reemplazo de grasa, debido a la similitud que tiene con ella. La implementación de grasa de palma como sustituto de grasa en queso crea quesos imitación. Según la norma mexicana NOM-051 de especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas, se denomina imitación a los productos donde se utilizan ingredientes o procedimientos diversos a los usados en su elaboración habitual. Las estrategias de sustitución grasa en productos lácteos presentan dificultades en los parámetros de textura, sabor y color antes

mencionados (Drake *et al.*, 1999; Fredrick *et al.*, 2008; Cunha *et al.*, 2010; Henderson y Osborne, 2000; Khatun *et al.*, 2017).

2.2.2.1 Aceite de palma. El aceite de palma es extraído del fruto del árbol de palma (*Elaeis guineensis*), este aceite generalmente posee una relación 1:1 en cuanto a composición de AGS y AGI. El aceite de palma ya sea fragmentado o interesterificado es utilizado dentro de la industria láctea con el fin de otorgar propiedades similares a la grasa láctea, donde además tiene un aporte desde el punto de vista económico, disminuyendo los costos de producción, volviéndose atractivo para esta industria (Mba *et al.*, 2015; Laurance *et al.*, 2010).

La heterogeneidad de los ácidos grasos en el aceite de palma le permite presentar características similares a la grasa láctea, esto se refleja en la textura de productos lácteos. El alto contenido de ácido palmítico en el aceite de palma es muy similar al de la grasa láctea, es por ello, su gran similitud en el aporte tecnológico de productos lácteos. El aporte tecnológico es derivado de la formación de cristales β' que, de igual forma pasa en la grasa butírica, esto tiene un impacto directo en las propiedades de textura (Fredrick *et al.*, 2008; Laurance *et al.*, 2010; Mba *et al.*, 2015; Puşcaş *et al.*, 2020).

Si bien, el aceite de palma muestra grandes beneficios como sustituto de grasa butírica este presenta como desventajas, un alto impacto en la deforestación y emisión de CO₂, además de un perfil lipídico con alto contenido de AGS (Cuadro 2). Por lo anterior, se han buscado nuevas estrategias que ayuden en la sustitución de grasa butírica, dentro de las que se encuentran los oleogeles.

Cuadro 2. Perfil lipídico de diferentes tipos de aceite de palma.

	Aceite de palma
AGS	49-50
AGM	39-40
AGP	11-12

(Mba *et al.*, 2015; USDA, 2019)

2.3 Oleogeles

Una estrategia de sustitución de grasa saturada, que tiene el potencial de llegar a sustituir las técnicas convencionales de estructuración de lípidos como el caso de la hidrogenación, interesterificación y fraccionamiento de aceites son los oleogeles (OG), éstos se definen por poseer una estructura tridimensional en red, en la cual se encuentra atrapado un líquido orgánico (solvente) (Rogers, 2009; Stortz *et al.*, 2012; Singh *et al.*, 2017). Dichos materiales presentan características semisólidas y su formación se lleva a cabo mediante autoensamblaje molecular de materiales estructurantes, el uso de ciertas concentraciones (solvente/estructurante), temperaturas y enfriamiento son fundamentales en su conformación (Mallia *et al.*, 2011).

Los OG ofrecen una opción de sustitución de grasas “malas” (*trans* y saturadas), debido a que en el proceso no se modifican las propiedades intrínsecas de los lípidos (estructura molecular), como suele ocurrir en la hidrogenación (Marangoni y Garti, 2011; Ferreira-Cháves *et al.*, 2018). La formación de OG depende directamente del tipo de estructurante utilizado y método de elaboración. Cada agente estructurante otorga diferentes propiedades reológicas y de textura (Pernetti *et al.*, 2007). Otro factor importante para tomar en cuenta en la formación de los OG, es la composición de los solventes orgánicos (composición de ácidos grasos), que cumple un papel importante en las interacciones y solubilidad de los agentes estructurantes (Martins *et al.*, 2020).

Dentro de los principales gelificantes que se han evaluado para elaborar OG alimentarios se encuentran las ceras, fitoesteroles, agente surfactantes y polímeros. En el Cuadro 3 se muestran algunos ejemplos de agentes estructurantes utilizados para la obtención de OG.

Cuadro 3. Materiales estructurantes utilizados para la oleogelación.

Estrategia de elaboración de oleogeles	Grupo de gelificante	Compuestos Gelificante en estas familias
Material cristalino	Ceras	Cera de candelilla
		Cera de Abeja
		Cera de salvado de arroz
	Lecitinas	Lecitina + triestearato de sorbitan
		Lecitina y α -tocoferol
	y- orizanol/ mezcla de fitoesteroles	Mezcla de dihidrocolesterol, β - sitosterol, colestanol, estigmasterol
Surfactantes	Monoestearato de sorbitan (MSS)	
	Monopalmitato de sorbitan (MPS)	
Relleno de partículas	Partículas de silica	
	Fibras	
Macromoléculas	Polímeros	Derivados de mezclas de celulosa (etilcelulosa, metilcelulosa y a-celulosa)
		B- Lactoglobulina
		Hidroxipropilmetil celulosa, Goma xantana, quitosano, etc.
		Quitina, quitosano y derivados acetilados
	Proteína/ Red de polisacáridos	Gelatina y goma xantana

Adaptado de: Davidovich-Pinhas *et al.*, 2015.

La ventaja de los OG es que se cuenta con una gran gama de estructurantes los cuales, pueden otorgar diversas funcionalidades con el potencial de simular a las impartidas por grasas saturadas, además de la posibilidad de la mejora del perfil lipídico (Jimenez-Colmenero *et al.*, 2015; Davidovich-Pinhas *et al.*, 2015; Puşcaş *et al.*, 2020).

2.3.1. Mecanismos de Estructuración de Polímeros y Materiales Cristalinos

Los mecanismos para estructurar o reticular lípidos con la finalidad de formar oleogeles pueden variar ampliamente, pero se pueden categorizar en 5: a) como partículas cristalinas, b) fibras cristalinas, c) relleno de partículas, d) mesofase líquida cristalina y e) red de polímeros (Figura 3). Cada uno de ellos depende de diferentes acomodos moleculares, los cuales les permite la formación

de estructuras en las que se retiene una fase líquida (Rogers, 2009; Marangoni y Garti, 2011; Ramel *et al.*, 2018). En la Figura 3 se observan diferentes esquematizaciones de cada uno de los mecanismos de estructuración, mostrando el acomodo y las estructuras que se forman.

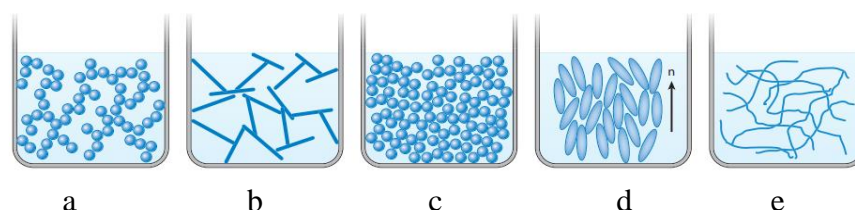


Figura 3. Esquemización de las estrategias de gelificación. a) Partículas cristalina. b) Red de fibrillas. c) Relleno de partículas. d) Mesofase líquida cristalina. e) Red de polímeros. (Davidovich-Pinhas *et al.*, 2015.)

En las partículas cristalinas, el método de estructuración consiste en la formación de una red coloidal cristalina, la cual atrapa una fase líquida llevando a cabo la gelificación. El tamaño y la forma de los cristales formados, así como las interacciones determinan las propiedades funcionales del gel (propiedades reológicas, termorreversibilidad, textura). Algunos agentes gelificantes utilizados en este tipo de estructuras son ésteres de ceras, monoestearatos de sorbitán, ceramidas, etc. (Marangoni y Garti, 2011; Davidovich-Pinhas, *et al.*, 2015).

En el caso específico de la estructuración con polímeros, se promueve la estructuración de un medio de dos maneras; una mediante la formación de enlaces covalentes (gel químico) y la otra mediante la formación de geles por autoensamblaje (fuerzas de Van der Waals o puentes de hidrógeno). Las investigaciones apuntan al uso de biopolímeros como la celulosa y derivados, almidón, carragenina algunas proteínas como por ejemplo gelatina ya sea en soluciones acuosas o bien en solventes orgánicos. Esto, debido a los buenos resultados obtenidos en la aplicación de polisacáridos como la etilcelulosa, quitosano y alginato, que han mostrado gran potencial en propiedades termodinámicas y las cuales pueden ser mejoradas aún más al ser utilizados con otros agentes estructurantes como los surfactantes (Marangoni y Garti, 2011; Davidovich-Pinhas *et al.*, 2015).

2.3.2. Etilcelulosa como Estructurante en Oleogeles

La etilcelulosa es un homopolisacárido lineal derivado de celulosa compuesto por uniones de glucosa en enlaces β (1 \rightarrow 4). La celulosa y sus derivados son materiales ampliamente utilizados en la industria alimentaria, farmacéutica, plástica, textil y cosmética (Zaman *et al.*, 2020; Peng *et al.*, 2020). De forma general, la síntesis de la etilcelulosa (grupo etil-éter conectado a la cadena principal de la glucosa) implica la disolución de la celulosa en una solución alcalina, seguida de la adición de gas de cloruro de etilo, el cual, interacciona con la celulosa para la formación de celulosa etoxi sustituida. La sustitución de los grupos terminales hidroxilo con los grupos etil-éter se lleva a cabo de forma aleatoria a lo largo de la cadena principal del polímero (Davidovich-Pinhas *et al.*, 2015; Peng *et al.*, 2020). Es importante mencionar, que el grado de sustitución de la etilcelulosa, le otorga sus propiedades de solubilidad en solventes orgánicos (Gravelle *et al.*, 2012). En la Figura 4 se observa el segmento que compone la estructura de etilcelulosa.

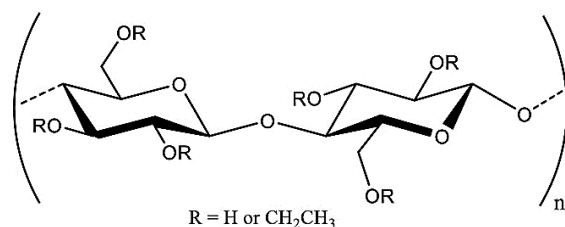


Figura 4. Sección de la estructura de etilcelulosa (Singh *et al.*, 2017).

La elaboración de OG con etilcelulosa (EC) se basa en la capacidad de este polisacárido para disolverse en el solvente orgánico (aceite vegetal), a medida que se aumenta la temperatura por encima de su transición vítrea, que es aproximadamente de 130 a 140°C que varía de acuerdo con el grado de sustitución o peso molecular (19 – 144 kDa y una polidispersidad de 59- 229). La temperatura permite que este compuesto experimente cambios en su densidad y rigidez lo que le ayuda a dispersarse en el solvente. La fase de aceite utilizada también es extremadamente relevante, ya que su composición puede influir en las propiedades finales que presenten los OG, así como la concentración en la que se emplean los materiales estructurantes (Gravelle *et al.*, 2012). La unión

de la EC promueve la gelificación mediante puentes de hidrógeno una vez que se enfría la matriz orgánica (Davidovich-Pinhas *et al.*, 2015; Zetzl *et al.*, 2012).

Existe una limitante para la utilización de aceites vegetales, dada la relación entre el tratamiento térmico y la susceptibilidad de estos aceites a la oxidación. La incorporación de la EC al aceite está en función de alcanzar su transición vítrea (alrededor de 140°C). Al incremento de la temperatura, se suma la agitación para llegar a la dispersión y correcta estructuración de la EC, estas condiciones impactan de forma negativa en la estabilidad de los solventes (aceites) (Fu *et al.*, 2020).

Dentro de la industria alimentaria, la EC se ha utilizado como agente reticulador/estructurante de diversos aceites con el fin de llevar a cabo una sustitución grasa en alimentos como chocolates, diversos productos de repostería, productos cárnicos como salchichas, bolonias y jamones, así como en productos lácteos como helados, yogurt y diferentes tipos de quesos (Co y Marangoni, 2012; Zetzl *et al.*, 2012; Puşcaş *et al.*, 2020). Estas aplicaciones son permitidas debido a sus características químicas de ser un material insípido, inodoro, no calórico y fisiológicamente inerte, por lo que es un candidato adecuado para su uso en productos farmacéuticos (Rekhi y Jambhekar, 1995) y alimentos (Hughes *et al.*, 2009; Zetzl *et al.*, 2012). La EC ha obtenido el estatus de "generalmente considerado seguro" (GRAS) por la Administración de Drogas y Alimentos de los Estados Unidos (FDA, por sus siglas en inglés) para uso directo en alimentos (sección 21 del Código de Regulaciones Federales: 182.90) y también ha sido aprobado por la Unión Europea para Aplicaciones de Alimentos.

2.3.4 Ceras como Estructurantes en Oleogeles

Generalmente las ceras están compuestas químicamente por cadenas heterogéneas que contienen a su vez cadenas largas de ésteres derivados de ácidos y alcoholes grasos. Las ceras son compuestos de grado alimenticio y por ello tienen uso en OG alimentarios. Análisis realizados a la microestructura de OGs con ceras han arrojado que éstas forman cristales que permiten la estructuración. Una gran ventaja en la implementación de ceras es que la formación de estos cristales se da a temperaturas relativamente bajas, lo cual no afecta los parámetros de estabilidad en aceites (50-80 °C) (Co y Marangoni, 2018; Blake *et al.*, 2018).

De momento las ceras más estudiadas para la utilización en OG son, las de salvado de arroz, girasol, abeja, carnauba y candelilla. Estas mismas han sido utilizadas en diversas concentraciones para la sustitución de grasa en productos cárnicos, lácteos y confitados (Blake et al., 2018).

Derivada de arbustos de la familia *Euphorbiaceae*, la cera de candelilla (CC) se encuentra compuesta principalmente por, los cuales están constituido en un 80% por hentriacontano, así como alcanos de número de carbonos impar como nonacosano (4.2 %) y tritriacontano (8 %), además se han identificado alcoholes triterpénicos (7.4 %). Se ha propuesto que la fase sólida de oleogeles con CC está estructurada por microplaquetas formadas por la alineación paralela de n-alcanos y ácidos grasos de cadena muy larga (>23 carbonos). Es importante mencionar que el hentriacontano tiene propiedades de autoensamblaje en solventes orgánicos (aceites vegetales). La cera de candelilla es capaz de formar geles muy estables a una concentración aproximada de 3 % y a esa concentración el gel muestra una estabilidad hasta de 3 meses (Ferreira-Chaves *et al.*, 2018; Sánchez-Becerril *et al.*, 2018; Toro-Vázquez *et al.*, 2007). Es importante mencionar, además, que la cera de candelilla muestra un punto de fusión de entre 67-79° C (Rocha *et al.*, 2013).

Se ha reportado el uso de cera de candelilla en combinación con diferentes aceites, en la elaboración de helados, margarinas, galletas y algunos productos cárnicos. A un concentración de 2-6 % de CC, se ha obtienen niveles adecuados en el parámetro de textura. Sin embargo, la textura es un parámetro que depende tanto de la concentración de cera y la matriz alimentaria utilizada (Ferreira *et al.*, 2018; Sánchez-Becerril *et al.*, 2018).

2.3.5. Oleogeles Aplicados en Productos Lácteos

En una amplia variedad de productos derivados de la leche se han implementado diferentes OG para la sustitución grasa (Cuadro 4). Los OG estructurados con ceras presentan mejores resultados en matrices lácteas sobre todo en quesos. Porcentajes cercanos al 10 % de diversas ceras, arrojaron una mejora en la textura en relación con otros estructurantes que han sido utilizados para elaborar OG en la sustitución en grasa láctea (Puşcaş *et al.*, 2020). De las diferentes aplicaciones de OG para la sustitución de grasa se puede resaltar el trabajo de Huang *et al.* (2018), quienes elaboraron un oleogel de aceite de soya estructurado con cera de salvado de arroz y cera de girasol en

concentraciones de 0.5 y 1 % respectivamente, logrando obtener una reducción del 20-22 % de AGS en su perfil lipídico respecto al control comercial.

Asimismo, el trabajo de Park *et al.*, (2018), elaboraron un OG de aceite de soya alto en ácido oleico estructurado con cera de salvado de arroz al 10 %, obteniendo una degradación mínima del queso crema, debido al tratamiento térmico y almacenamiento. Además, se buscó implementar en los OG tocoferoles como agentes antioxidantes, que contribuyen en la estabilidad del aceite.

Por otro lado, Bemer *et al.*, (2016), elaboraron un OG de aceite de girasol estructurado con etilcelulosa (8 y 10 %) y otro OG estructurado con cera de salvado de arroz (8 y 10 %). La sustitución del 100 % de grasa láctea en quesos por estos OG, tuvo como resultado diferencias significativas en viscosidad respecto a un control comercial. Sin embargo, los quesos con OG estructurado con cera de salvado de arroz al 10 % presentaron una textura con valores similares al control que fue elaborado con grasa láctea. No se presentaron diferencias significativas entre las concentraciones utilizadas de los estructurantes (8 y 10 %).

Los aceites estructurados muestran un gran potencial para su aplicación en la elaboración de productos lácteos, sin embargo, en muchas de estas investigaciones los productos obtenidos presentan un déficit en las propiedades de textura, inestabilidad y diferencias en los parámetros sensoriales. Las tendencias apuntan a seguir investigando en la implementación de otros materiales estructurantes, y el uso combinado de agentes estructurantes de diferente naturaleza, los cuales ayuden a suplir algunas de las propiedades de la grasa lácteas en productos derivados de la leche (Puşcaş *et al.*, 2020).

Cuadro 4. Aplicación de oleogel en productos láctea.

Aceite	Estructurante	Producto lácteo	Resultados	Referencia
Girasol (alto en oleico)	Cera de salvado de arroz (10 %)	Helado	El oleogel provocó un colapso en el producto. A pesar de mostrar buenas cualidades reológicas por sí solo.	Ramel y Marangoni, 2017
Soya	Cera de salvado de arroz y cera de girasol (0.5 y 1 %)	Queso	Reducción del 20 – 22 % de contenido de AGS en comparación con la formulación comercial.	Huang <i>et al.</i> , 2018
Soya (alto en oleico)	Cera de salvado de arroz (10 %)	Queso crema	Mejoramiento del perfil lipídico, resaltando un alto contenido de ácido oleico.	Park <i>et al.</i> , 2018
Girasol (alto en oleico)	Cera de salvado de arroz y etilcelulosa (8 y 10 %)	Queso crema	CSA con diferencias en viscosidad con un control comercial. En el sensorial se presentó una diferencia en sabor y un tono de amargor con referencia al control. EC no presento los mismos resultados que CSA.	Bemer <i>et al.</i> , 2016
Girasol	Fitoesteroles y γ -Orizanol (8-12 %)	Helado	Calidad equiparable a un control comercial, mayores tasas de fusión, productos menos inestables.	Moriano <i>et al.</i> , 2017.

3. HIPÓTESIS

La sustitución total de grasa láctea por un oleogel de aceite de canola estructurado con etilcelulosa y/o cera de candelilla, permitirá disminuir el contenido de ácidos grasos saturados de un producto imitación queso panela sin modificar sus propiedades físicas y aceptabilidad.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de un oleogel de aceite de canola estructurado con etilcelulosa y/o cera de candelilla, como sustituto de grasa láctea en la calidad y estabilidad de un producto imitación queso panela.

4.2. Objetivos Específicos

1. Optimizar las concentraciones de estructurantes (etilcelulosa y candelilla) para formular oleogeles de aceite de canola.
2. Caracterizar las propiedades de color, reológicas y térmicas de los oleogeles formulados.
3. Evaluar el efecto de la incorporación del oleogel en las propiedades de calidad y aceptabilidad del producto imitación queso panela.
4. Evaluar el cambio en el perfil de ácidos grasos de los productos con oleogeles.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se planteó en dos etapas. Durante la primera se llevó a cabo la optimización de la elaboración de los OG en función de las características de sus parámetros reológicos y térmicos. Además, se determinó la estabilidad oxidativa del aceite al proceso térmico utilizado durante la elaboración de los OGs. En la segunda etapa se realizó la incorporación de los OG a un producto imitación queso panela, donde se evaluaron los parámetros fisicoquímicos, perfil lipídico y un análisis sensorial, para realizar una comparación con un queso panela control elaborado tradicionalmente con grasa láctea y de palma.

5.1. Elaboración de Oleogeles

Para la elaboración de los OG se utilizó el aceite de canola y como agentes reticuladores etilcelulosa (EC) (ETHOCELTM Standard 20 Premium Ethylcellulose, The Dow Chemical Co, USA) y cera de candelilla (CC) (Candel-cer El Peregrino, México). La preparación de los geles se realizó mediante mezclas de los estructurantes EC y CC donde se buscó optimizar la formulación de estructurantes que permitan emular las propiedades reológicas y térmicas de la grasa butírica. El Cuadro 5, presenta la matriz de las 13 corridas experimentales obtenidas del diseño compuesto central rotatorio con un arreglo factorial de 2^2 en el cual se evaluó el efecto de los estructurantes incorporados en rangos de 0 a 10 % para CC y de 0 a 8 % en el caso de EC.

Cuadro 5. Diseño compuesto central rotatorio (DCC).

Estructurantes	$-\alpha$	-1	0	1	α
CC (%)	0	1.46	5	8.53	10
EC (%)	0	1.17	4	6.82	8

CC: Cera de candelilla

EC: Etilcelulosa

(-1 y 1) Valores factoriales

(0) Valores centrales: Concentración central

($-\alpha$ y α) Valores axiales

Para la incorporación de las diferentes concentraciones de etilcelulosa para la elaboración de los OG se siguió la metodología propuesta por Gravelle *et al.* (2012), con algunas modificaciones en los tiempos de agitación. De manera específica, la etilcelulosa se adicionó al aceite de canola y se aplicó agitación a 200 rpm, al mismo tiempo, se comenzó con un calentamiento del aceite hasta una temperatura de 140°C por un tiempo de 15 min. Transcurridos los 15 min de calentamiento, el OG se llevó a un enfriamiento hasta alcanzar 90° C para así poder incorporar la CC y se aumentó la velocidad de agitación a 300 rpm. Estas condiciones se mantuvieron por 20 min (Zulim-Botega *et al.*, 2014). El proceso térmico y la agitación se realizaron en una placa de calentamiento equipada con un sistema de agitación magnética (Thermo Scientific, SP88854105, EUA). Una vez incorporados ambos estructurantes, el material se dejó enfriar a temperatura ambiente por 30 min y posteriormente los OG se almacenaron en refrigeración a una temperatura de 5° C hasta su evaluación o utilización. En la figura 5, se muestra un diagrama del proceso de elaboración de los oleogeles elaborados para el presente trabajo.

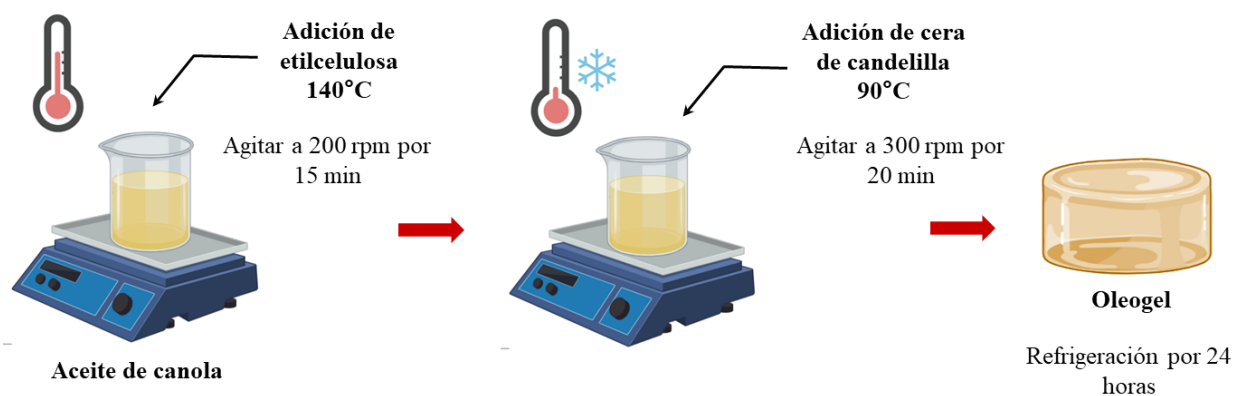


Figura 5. Diagrama de bloques del proceso de elaboración de oleogeles.

5.2. Índice de Peróxidos

Con el fin de evaluar si las condiciones térmicas utilizadas para la elaboración de los OG tuvieron un efecto sobre la estabilidad del aceite, se realizó un análisis de oxidación mediante la determinación del índice de peróxidos (AOAC 2000, método 965.33). Para llevar a cabo esta

determinación, al aceite de canola (sin estructurantes) se le aplicó las condiciones de elaboración de los OG: calentamiento a 140° C con agitación a 200 rpm por 15 min (condiciones de adición de EC); posteriormente, se enfrió a 90° C a 300 rpm y estas condiciones se mantuvieron por 20 min (condiciones de adición de CC). Adicionalmente, se evaluó el efecto de la incorporación de dos tipos de antioxidantes: butilhidroxitolueno al 0.02 % (Biopack, Argentina) y tocoferol al 0.02 % (NUTRABIOL®, Madrid, España). Para los tres tratamientos, se realizaron tres muestreos, en el tiempo 0, después de terminar el proceso de adición de EC y al terminar la adición de la CC.

5.3. Análisis Reológico de Oleogeles

Las propiedades reológicas de los OG y la grasa butírica fueron evaluadas mediante el método de reología dinámica, se emplearon curvas de cristalización y fusión mediante barridos de temperatura, utilizando un reómetro MCR-302 (Anton-Paar, Ostfildern, Alemania) (Mezger, 2006). Primeramente, se realizó un barrido térmico de la muestra mediante una rampa de temperatura que consistió en someter la muestra a una temperatura de 80 °C durante 15 min. Una vez terminado el barrido, se aplicó una rampa de enfriamiento (2° C/min) hasta alcanzar los 0 °C, seguido de un paso isotérmico de 30 min a 0 °C. La deformación angular se estableció en un 0.005 % debido a que este valor se consideró lo suficientemente pequeño para estar dentro de la zona lineal viscoelástica a todas las temperaturas. Para aumentar la respuesta de torque y evitar valores bajos de señal/ruido, la relación de frecuencia se estableció en 10 hz (62.83 rad/s). Las condiciones térmicas establecidas para el método consistieron en una rampa de fusión de 0 a 80 °C. Los parámetros reológicos que se tomaron en cuenta para el análisis de los geles fueron: viscosidad inicial (η^* app) y viscosidad máxima (η^* Max).

5.4. Evaluación del Comportamiento Térmico de los Oleogeles

Para determinar el comportamiento térmico de los OG y la grasa butírica se realizó un análisis de calorimetría diferencial de barrido, siguiendo el método establecido por Knothe y Dunn (2009), en un equipo Q200 (TA Instruments, Wilmington, EUA). El sistema consistió en una celda de medición equipada con un sistema de enfriamiento a base de nitrógeno. Los platos de referencia y de muestra se colocaron en posiciones precisas dentro de la celda mediante un muestreador automático. Se utilizó nitrógeno seco a 50 mL/min para purgar la muestra. La celda se equilibró a 120 °C y se mantuvo isotérmicamente durante 15 min, para asegurar la transición completa a la fase líquida. Posteriormente, la muestra se enfrió a -40 °C a una velocidad de 10 °C/min, para formar una fase sólida y se mantuvo isotérmicamente durante un período de 30 min. Finalmente, se aplicó una rampa de calentamiento de 5 °C/min hasta alcanzar los 120 °C y con ello obtener el termograma desde la región de fusión hasta la temperatura final. El equipo fue calibrado utilizando indio (156.79 °C; entalpía de fusión= 28.66 J/g). Los termogramas fueron analizados utilizando el Software TA Universal Analysis. Los parámetros térmicos que se tomaron en cuenta fueron onset de cristalización (°C), temperatura máxima de cristalización (°C), onset de fusión y temperatura máxima de fusión (J/g).

5.5. Análisis Estadístico de la Etapa 1

El análisis de oxidación del aceite se realizó mediante un experimento factorial de 2² donde los factores de variación fueron: etapa de proceso (inicial, fase EC y fase CC) y Tipo de antioxidante (sin antioxidante, BHT y Tocoferoles) y como variable respuesta el índice de peróxido. Se realizó un análisis de varianza y las medias fueron estudiadas mediante la prueba múltiple de Tuckey-Kramer con una significancia $p < 0.05$. El análisis se realizó con el paquete estadístico NCSS 11.1.2 (2018) para Windows 10.

El análisis del efecto de la formulación de EC y CC sobre las propiedades reológicas y térmicas de los oleogeles (DCC), se llevó a cabo mediante un análisis de regresión lineal múltiple. El modelo polinomial matemático de regresión de segundo orden correspondiente al DCC fue:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

y = Variable de respuesta

β_0 = Coeficiente intercepto

$\beta_i X_i$ = Coeficiente de regresión lineal para X_i

$\beta_{ii} X_i^2$ = Coeficiente de regresión para X_i^2 con efecto cuadrático

$\beta_{ij} X_i X_j$ = Coeficiente de regresión para la interacción X_i y X_j

ε = Error experimental

Los coeficientes de regresión de los términos (lineal, cuadrático e interacción) incluidos en los modelos y sus efectos se analizaron y verificaron en función de los resultados del análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de $p < 0.05$. Se aplicó el método de Forward con el fin de seleccionar las variables a incluir en el modelo de regresión. La capacidad predictiva de los modelos desarrollados se analizó utilizando el coeficiente de determinación (R^2) y falta de ajuste. Con los modelos predictivos se procedió a construir los gráficos de superficie de respuesta para evaluar la relación entre los factores independientes y la respuesta del sistema. Finalmente, la optimización se llevó a cabo, con el fin de obtener las formulaciones de los estructurantes que presentaran las condiciones óptimas de los parámetros reológicos (OR), así como de los parámetros térmicos (OT) y por último la condición óptima de la combinación de los parámetros reológicos y térmicos (OC), buscando simular el comportamiento de la grasa láctea. Todos estos procedimientos estadísticos se llevaron a cabo con el Software Design Expert 12.

5.6. Elaboración de Queso Panela

En la etapa 2 de este trabajo se evaluó el efecto de la adición de los OG como sustitutos de grasa butírica en un producto imitación queso panela mediante la preparación de cinco tratamientos de

queso. Para esto, se utilizó equipamiento y procesos a escala planta piloto tradicionales para elaborar queso panela. Los tratamientos consistieron en elaborar quesos panelas, en los cuales se sustituyó únicamente el 100 % únicamente la porción grasa láctea añadida, por los diferentes tipos de OG obtenidos, así como con grasa vegetal. La formulación de los quesos se muestra en el Cuadro 6, la cual fue la misma para los 5 tratamientos variando únicamente el tipo de grasa que se incorporó en cada tratamiento. El primer tratamiento que fue el control (GB) consistió en queso elaborado con 100 % de grasa láctea (butírica). El segundo tratamiento control (GP) consistió en un queso elaborado con la sustitución de la grasa láctea por aceite de palma. Los quesos panela con los tratamientos con OG consistieron en: 1) queso elaborado con OG formulado con las condiciones para optimizar los parámetros reológicos (OR); 2) queso elaborado con OG formulado con las condiciones para optimizar los parámetros térmicos (OT) y 3) un queso panela con OG formulado para optimizar combinadamente tanto los parámetros reológicos como los térmicos (OC).

Es importante mencionar que la elaboración de los quesos se llevó a cabo a partir de una base láctea de 50 kg para cada uno de los tratamientos. La sustitución de grasa que se realizó fue en relación a la grasa añadida a la formulación, de tal manera que la grasa butírica fue sustituida en una relación 1:1 para los tratamientos formulados con los diferentes oleogel preparados. Es importante recalcar, que la sustitución de la grasa láctea conlleva a un cambio en la denominación del producto, en este caso se obtendría para los tratamientos GP, OR, OT y OC imitación queso panela. Para la elaboración de los productos se utilizó leche de vaca. Previo a la homogeneización, se hidrataron las proteínas y gomas (emulsificante y estabilizante), y de igual forma, se llevó a cabo el fundido de grasas y emulsivos a una temperatura de 50-55 °C.

La incorporación de la grasa láctea (Butírica), grasa vegetal (palma) y los OG a la leche se realizó con ayuda de un homogeneizador a una presión de 1000 psi. Posteriormente, se realizó la pasteurización de la leche en una marmita por 5 min a 70 °C. La leche pasteurizada se llevó a una tina de acero inoxidable de 200 L de capacidad, para su enfriar hasta 32 °C. Una vez alcanzada esta temperatura se adicionó CaCl_2 (20 g/100L) y el cuajo (4.5 mL/100 L), para la coagulación durante 35 min. Posterior al tiempo se realizó el corte, con un posterior reposo de 5 min. Inmediatamente después, se comenzó una agitación suave por 15 min. Transcurrido este tiempo, se comenzó a elevar la temperatura hasta alcanzar 40 °C y se continuó la agitación. Las condiciones anteriores se mantuvieron por 20 min (trabajo de grano). A continuación, se agitó por 6 min, para pasar al desuerado total. Previo al salado de la cuajada, se realizó una molienda manual de la cuajada y el

salado se realizó en función del peso de la cuajada (1.5 % en función del peso de la cuajada). La cuajada se pasó a moldes para realizar el prensado a las condiciones de 5 min y 6 kgF de presión y se pasó a enfriamiento (4 °C). Finalmente, el queso se desmoldó y empaco al vacío para su posterior análisis. Dentro de la Figura 6 se muestra el diagrama de bloques para la elaboración de los quesos. Se realizó el cálculo del del rendimiento para cada uno de los tratamiento tomando en cuenta que se partió de una base láctea de 50 kg. En función de esto se determinó si la incorporación de los oleogeles, mermo el rendimiento quesero.

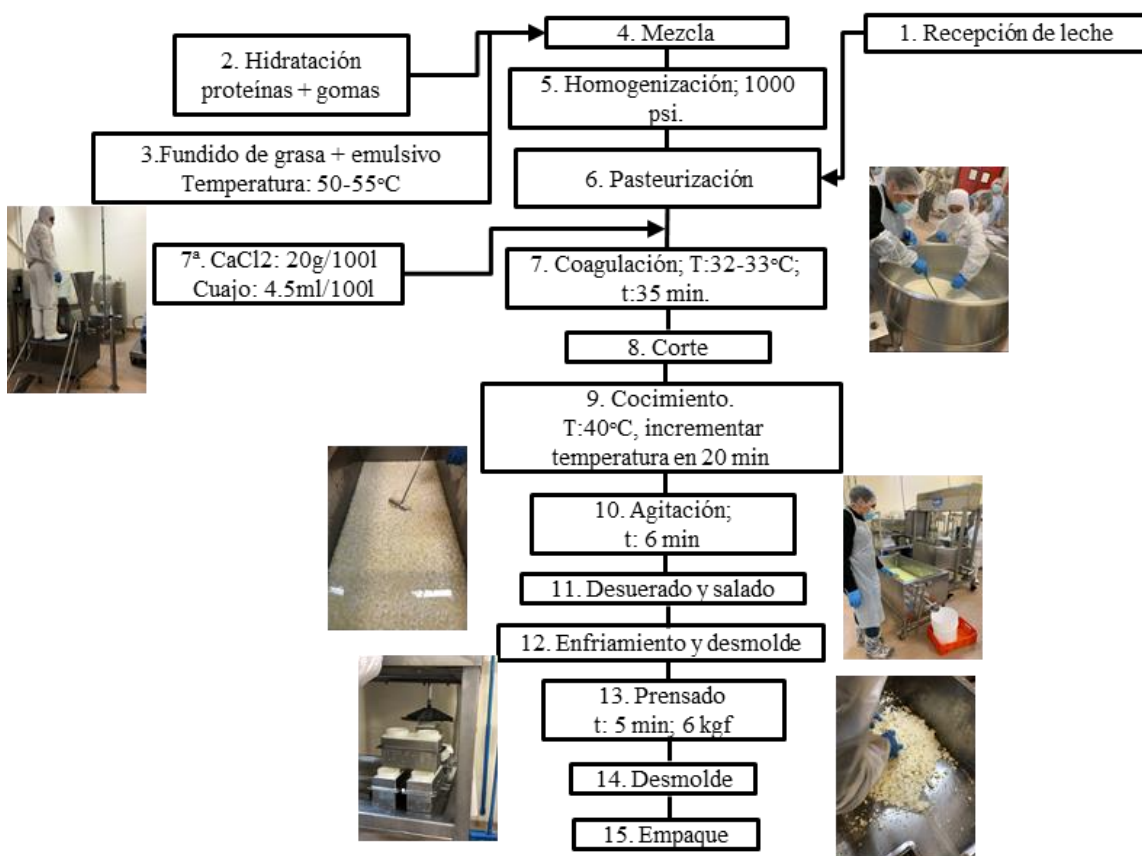


Figura 6. Diagrama de bloques del proceso de elaboración del queso panela.

Cuadro 6. Contenido de grasa y proteína en leche formulada para elaboración del queso panela (Formulación base 100) .

Ingredientes	F100	G	P
Leche entera fluida	95	2.51	3.99
Agua	1.44		
Grasa *	2.5	2.45	0
OR *	2.5	2.43	0
OT *	2.5	2.35	0
OC *	2.5	2.4	0
Leche descremada en polvo	1	0.005	0.33
Emulsificante	0.04		
Estabilizante	0.03		
Suma	100	4.97*	4.32*

F100: formulación del queso; G: Contenido de grasa de materia prima; P: Contenido de proteína de materia prima. (*) Varía en la formulación en función del tratamiento. 1:1 Grasa butírica /oleogel se buscó una relación grasa proteína Relación G/P de 1.15 base láctea en la base láctea.

5.7. Composición Química del Queso

5.7.1. Análisis Químico del Queso

El análisis proximal de los productos obtenidos se llevó a cabo mediante los métodos establecidos por la Asociación Oficial de Química Analítica (AOAC, 2000). Los parámetros evaluados fueron % de humedad (AOAC 950.46B), % de proteína (AOAC 981.10), % de grasa (Kleyn, *et al.*, 2001), % de ceniza (AOAC 920.153) y el contenido de carbohidratos se obtuvo por diferencia.

5.7.2. pH

Para medir el pH de los productos imitación queso panela se utilizó un potenciómetro Hanna (modelo 211, EUA). El análisis se realizó por el método potenciométrico de la NMX-F- 099-1970, colocando 1 g de la muestra en un vaso de precipitado de 30 mL, para triturar con un Ultraturrax

T25 (IKA Works, EUA). Posteriormente, se adicionaron 10 mL de agua destilada y se realizó la medición por triplicado. Así mismo, se llevó a cabo una segunda medición de pH donde se utilizó un potenciómetro de punción Hanna (modelo HI 99163, EUA). Los valores reportados corresponden al promedio que se obtuvo en ambas mediciones.

5.7.3. Perfil de Ácidos Grasos por Cromatografía de Gases GC-FAME

La determinación de perfil de ácidos grasos tanto de los quesos panela control, como de los que contienen OG, se realizó de acuerdo el método de la AOAC 996.06. Se utilizó un cromatógrafo de gases Hewlett packard (Agilent 7890 A, Santa Clara, California, EUA) equipado con un detector de flama ionizante (FID).

Para la realización del perfil de ácidos grasos, primero se llevó a cabo una extracción de lípidos de las muestras (1g), con 20 mL de una solución de cloroformo (Sigma Aldrich, St. Louis, MI, EUA) y se llevó a una homogeneización por 2 min. Posteriormente se realizó un filtrado con papel Whatman No. 1 y se lavó con 3 mL de cloroformo/metanol (2:1). El filtrado se pasó por un embudo de separación con el fin de captar la fase inferior (cloroformo) que contiene los lípidos purificados (Bligh y Dyer, 1959). El proceso de metilación se llevó a cabo colocando las muestras en un tubo de ensayo en baño maría a 40 °C con flujo constante de nitrógeno. Posteriormente, se saponificaron los lípidos agregando 4 mL de NaOH 0.5N (en metanol) se taparon los tubos y se pusieron en baño maría a 90 °C por 5-10 min. Así mismo, se realizó una esterificación, primeramente, enfriando y agregando 5 mL de BF₃ (trifloruro de boro), posteriormente se colocaron en baño maría a 90 °C por 5-7 min. Para finalizar la metilación, se pasó a enfriamiento la muestra y se agregaron 4 mL de heptano (Merck, Darmstadt, Alemania) se calentó por 2 min y se agregó 1 mL NaCl saturado (37 g/100 mL agua), por último, se llevó a cabo una ligera adición de Na₂SO₄ anhidro en polvo y se filtró utilizando filtro de fibra de vidrio. El filtrado se colocó en viales ámbar de 2 mL hasta su análisis. (Park y Goins, 1994).

La separación de los ésteres metílicos de ácidos grasos se realizó en una columna analítica capilar de sílica fundida Agilent J&W DB-23 de 0.25 mm de diámetro interno x 60 m de longitud, con un grosor de película de 0.25 mm. El programa de temperatura del horno inició a 120 °C

manteniéndose por 1 min y se programó una rampa de temperatura de 5° C/min hasta alcanzar los 230 °C. La temperatura del puerto de inyección y el detector se mantuvieron a 250 °C. Como gas acarreador se utilizó helio a un flujo de 4.93 mL/s e hidrógeno y aire para encender la flama del cromatógrafo de gases a un flujo de 400 mL/min. Un volumen de 1 mL de la muestra se inyectó en el puerto splitless/split. Los cromatogramas fueron registrados y analizados con el Software ChemStation 2. La identificación de ácidos grasos se realizó utilizando el tiempo de retención y comparando con el patrón de elución de una mezcla de estándares de ácidos grasos Component FAME mix (Supelco 37, Sigma Aldrich, St. Louis, MI, EUA). La determinación del perfil de ácidos grasos se calculó mediante la estimación del área bajo la curva de los diferentes picos como porcentaje de la suma del total de picos identificados.

5.8. Medición de los Parámetros Físicos y Sensoriales de los Quesos

5.8.1. Color Instrumental

La medición de color se realizó por triplicado en la parte externa del producto imitación queso panela para cada tratamiento empleando un colorímetro (Konica Minolta CR-400, Japón). Se tomaron los valores de luminosidad (L^*), tonalidades amarillas ($+b^*$) y el ángulo de matiz o Hue (\tan^{-1} de b^*/a^*) (McLellan *et al.*, 1995). Las mediciones se hicieron en cinco puntos distintos en la superficie de los quesos.

5.8.2. Textura Instrumental

Los cambios en la textura del queso por el efecto de los tratamientos se determinaron mediante un análisis de perfil de textura (TPA, por sus siglas en inglés). El TPA se realizó con un texturómetro Texture Analyser (TAXT2, Scarsdale, N.Y., USA) y se siguió la metodología descrita por Bourne

(1978). Se tomaron muestras de queso panela de 2 cm de largo por 2 cm de diámetro de cada tratamiento. Se realizaron 10 repeticiones de mediciones para cada tratamiento, aplicando una doble presión de 75 % de deformación con un tiempo de espera de 5 s entre compresión. Las condiciones de cabezal establecidas para las mediciones fueron: velocidad de 2 mm/s y un desplazamiento de 30 mm (Gutierrez-Méndez *et al.*, 2013). Los parámetros que se tomaron en cuenta para las mediciones fueron dureza (N), adhesividad (N.s), elasticidad (mm), cohesión, gomosidad (N) y masticabilidad (N).

5.8.3. Evaluación de la Microestructura del Queso Panela

Con la finalidad de observar los posibles cambios en la conformación de los glóbulos grasos en los quesos panela de los distintos tratamientos, se evaluó la microestructura del queso. Ésta fue evaluada en un microscopio confocal de barrido láser modelo RGB-SP8 (Leica, Wetzlar Alemania). Se empleó una captura de emisión secuencial para la adquisición de imágenes por medio del Software especializado del equipo (LAS-X Leica microsystem Wetzlar, Alemania) con una lente de 10X. La tinción de las muestras se llevó a cabo utilizando el colorante Nile red + Rodamina B (0.02+0.01g/l respectivamente) (Sigma-Aldrich, Saint Louis, MO, USA) y como solventes para la preparación del colorante Polietilenglicol 200+ 2 µl de agua destilada/g de acuerdo con las condiciones establecidas por Auty *et al.*, (2001). Este colorante requiere una longitud de onda de excitación de 488 nm y su emisión se evaluó entre las longitudes de onda de 570-600 nm. Las muestras fueron seccionadas en un tamaño de 5 mm x 5 mm y un espesor de 2 mm. Posteriormente, se colocaron en un portaobjetos y se agregó una gota del colorante en la superficie. Las imágenes se reportaron a una escala de 20 µm.

5.8.4. Análisis Sensorial de los Quesos

El análisis sensorial de los quesos panela elaborados con los OG se realizó empleando un panel no entrenado de 32 panelistas, quienes evaluaron la textura, sabor, olor y sensación residual grasa (se

explicó a los panelistas como el nivel de agrado al residuo graso en boca) bajo luz roja. Por otro lado, los atributos de apariencia general y el color de los quesos panela se evaluaron bajo luz blanca. El análisis sensorial se llevó a cabo empleando una escala grafica lineal de 15 puntos dividida en 7 grados de satisfacción donde 0 indicó me disgusta extremadamente y 15 correspondió a me gusta extremadamente.

A cada panelista se le proporcionaron las muestras previamente identificadas con claves asignadas al azar para cada tratamiento, dentro de un plato negro. Las muestras se sirvieron en cuadros de 2 x 2 cm a temperatura ambiente. Así mismo, se les proporcionó agua, galletas saladas, servilletas, tenedor y material para realizar la evaluación. Se le pidió al panelista previo al análisis de cada muestra, comiera la galleta salada y enjuagará su boca con agua.

5.8.5. Análisis Estadístico de la Etapa 2

El análisis de los efectos de la incorporación de los OG en el queso panela sobre las variables físicas, químicas y sensoriales se realizó mediante un análisis de varianza de una sola vía (tratamiento). Las medias de los tratamientos fueron comparadas entre sí y con las medias de los controles mediante la prueba múltiple de Tuckey-Kramer con una significancia $p < 0.05$. Estos análisis estadísticos se realizaron en el paquete estadístico NCSS 11.1.2 (2018) para Windows 10.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Estabilidad Oxidativa del Aceite en la Elaboración de Oleogeles

El efecto del proceso de calentamiento para la elaboración de los oleogeles, así como la adición de antioxidantes en la estabilidad oxidativa del aceite de canola, se analizó mediante la determinación de índice de peróxidos (miliequivalentes de O₂/kg de aceite). En la Figura 7 se observa la variación del índice de peróxido en el aceite de canola sometido a las diferentes fases de calentamiento durante el proceso de elaboración del OG y su interacción con la adición de los antioxidantes evaluados.

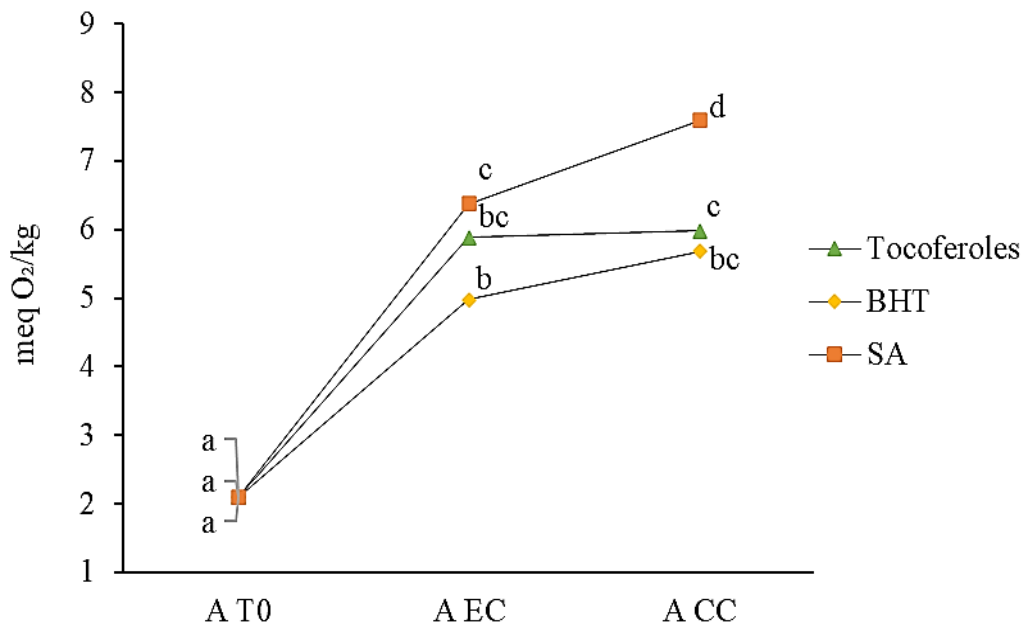


Figura 7. Estabilidad oxidativa de aceite de canola durante la simulación del proceso térmico de elaboración de oleogeles con y sin antioxidantes.

(■) sin antioxidante (SA); (◆) antioxidante butilhidroxitolueno (BHT); (▲) mezcla de tocoferoles (α -Tocoferol < 20 % - β , γ , δ Tocoferol > 80 %). AT0: Tiempo 0, inicial; EC: Calentamiento a 140°C por 15 min (condición de adición de EC); CC: Calentamiento a 90°C por 20 min (condiciones de adición de CC). Diferencias significativas entre los tratamientos se señala con diferentes literales (a-c) ($p \leq 0.05$).

El someter al aceite de canola a las condiciones térmicas y de agitación en las cuales se lleva a cabo la adición de EC (140 °C a 200 rpm durante 15 min) conlleva a un incremento significativo en el índice de peróxidos ($p < 0.05$), independientemente de si se agrega o no antioxidante. No obstante, este incremento fue significativamente menor cuando se adición BHT en comparación con la muestra sin antioxidante. Una vez que se cambian las condiciones de proceso para llevar a cabo la adición de CC (100 °C a 300 rpm durante 20 min), la estabilidad oxidativa de la muestra sin antioxidante continúa disminuyendo ($p < 0.05$). De manera contraria, las muestras de aceite adicionadas con antioxidantes, si se lograron estabilizar oxidativamente ya que no se incrementó de manera significativa el índice de peróxidos ($p > 0.05$) en comparación con los obtenidos al finalizar la simulación del procesamiento de estructuración con EC.

Los resultados obtenidos son similares a los reportados por Gravelle *et al.* (2012), quienes reportaron que el tratamiento térmico para la elaboración de OG con EC tiene un efecto deteriorativo significativo en la estabilidad del aceite de canola. En dicho estudio los autores hacen la recomendación de llevar a cabo el calentamiento a 140 °C por un tiempo de 15 a 20 min para la formación de los geles, ya que dentro de este lapso permite mantener el nivel de peróxidos por debajo del límite que impida que el aceite sea inaceptable para el consumo. Por ello, para el presente estudio, la adición de la EC para la elaboración de los OG se realizó a las condiciones mencionadas. No obstante, es importante señalar que lo establecido según la norma para aceite de canola (NMX-475), el proceso de elaboración de los OG conlleva a la pérdida de frescura en el aceite, independiente de la adición de antioxidantes; sin embargo, no se supera el límite de 10 meq de O_2/kg que menciona el CODEX para considerar el aceite rancio.

6.2. Análisis Reológico y Térmico de Oleogeles

6.2.1. Análisis Reológico

Los valores experimentales de viscosidad inicial (η^* app a 80 °C) y viscosidad máxima (η^*_{Max}) de los oleogeles formulados bajo las condiciones derivadas de la matriz del diseño compuesto central

rotatorio se muestran en el Cuadro 7. Es importante recordar que el objetivo principal de esta etapa del experimento fue optimizar la combinación de EC y CC que permitan obtener las propiedades reológicas con mayor similitud a las de la grasa butírica, por lo que también fueron determinadas y los valores obtenidos fueron: viscosidad inicial (η^*_{app} a 80 °C) 1.81 Pa·s; y viscosidad máxima (η^*_{Max}) 11.33×10^4 Pa·s.

Cuadro 7. Matriz del diseño compuesto central rotatorio del análisis reológico en oleogeles.

Corridas experimentales	CC	EC	η^*_{app} (Pa·s)	η^*_{Max} (Pa·s)
1	1.46	6.82	30.09	11970
2	5	4	12.46	26120
3	0	4	8.37	27.99
4	5	4	6.98	32640
5	5	4	8.59	28640
6	10	4	3.44	126200
7	5	4	14.69	34460
8	5	0	3.92	17790
9	8.53	1.17	0.84	47380
10	5	4	7.83	28530
11	8.53	6.83	19.54	118000
12	1.46	1.17	4.71	1301
13	5	8	60.78	55000
Grasa butírica	-	-	1.81	113300

CC: Porcentaje cera de candelilla; EC: Porcentaje de etilcelulosa. Inicio del complejo viscoso (η^*_{app}); Viscosidad máxima (η^*_{Max}).

6.2.1.1. Viscosidad inicial. Este parámetro reológico indica la viscosidad que presenta un material al inicio del complejo viscoso bajo las condiciones experimentales establecidas de 80 °C con una frecuencia de 10 hz y una deformación angular de 0.005 % (η^*_{app} a 80 °C). En el Anexo 1 se muestran las curvas reológicas que se obtuvieron para viscosidad inicial con las condiciones del experimento. Este parámetro reológico varió entre 0.84 y 60.78 Pa·s dependiendo de las concentraciones de los estructurantes utilizados en la elaboración de los respectivos oleogeles. Es posible notar que la grasa butírica presentó un inicio del complejo viscoso dentro de este rango donde variaron los valores de los oleogeles (η^*_{app} a 80°C=1.81 Pa·s) (Cuadro 8).

Al aplicar el método de forward para seleccionar los efectos significativos sobre la variación del parámetro del inicio del complejo viscoso (η^* app a 80°C), se obtuvo un modelo cuadrático reducido significativo (Cuadro 8), en el cual los factores lineales y cuadráticos de EC fueron significativos. El modelo no presentó falta de ajuste, lo que hace alusión a que no fue necesario la adición de algún otro termino ($p > 0.05$).

Cuadro 8. ANOVA para el modelo cuadrático reducido de viscosidad inicial (η^* app).

Factor	Suma de cuadrado	GL	Cuadrado medio	Valor F	Valor P
Modelo	2678.29	2	1339.15	31.65	< 0.0001*
EC	1937.05	1	1937.05	45.78	< 0.0001*
EC ²	741.24	1	741.24	17.52	0.0019*
Residual	423.10	10	42.31		
Falda de ajuste	379.35	6	63.22	5.78	0.0557
Error	43.76	4	10.94		
Total	3101.40	12			

Valores del $p < 0.05$ son significativos (*) a razón del modelo. Etilcelulosa (EC). Grados de libertad (GL).

La ecuación del modelo (Ec.2) presenta signos negativos en el término lineal de EC, lo que significa que al inicio del aumento de la concentración de EC se presenta una disminución en la viscosidad, como se observa en la Figura 8. Por otro lado, el parámetro cuadrático de EC presenta un coeficiente de regresión positivo donde, si bien, el aumento de principio de concentración de EC presenta una disminución de la viscosidad, al sobrepasar el 2 % de EC se observa un aumento en la viscosidad (Figura 8). Por lo anterior, se percibe una curvatura en la superficie. Además, el modelo presentó un coeficiente de determinación (R^2) de 0.86, esto hace referencia a que el 86 % de los datos son explicados por el modelo. Es importante mencionar que, para la CC, el modelo no presentó significancia en los efectos lineales ni cuadráticos. Lo anterior debido a que a 80°C (condición de η^* app) la CC se encuentra fundida (estado líquido) (Toro-Vazquez et al., 2007; Lim et al., 2017).

$$\eta^* \text{ app} = 6.18 - 4.73 EC + 1.28 EC^2 \quad (\text{Ec. 2})$$

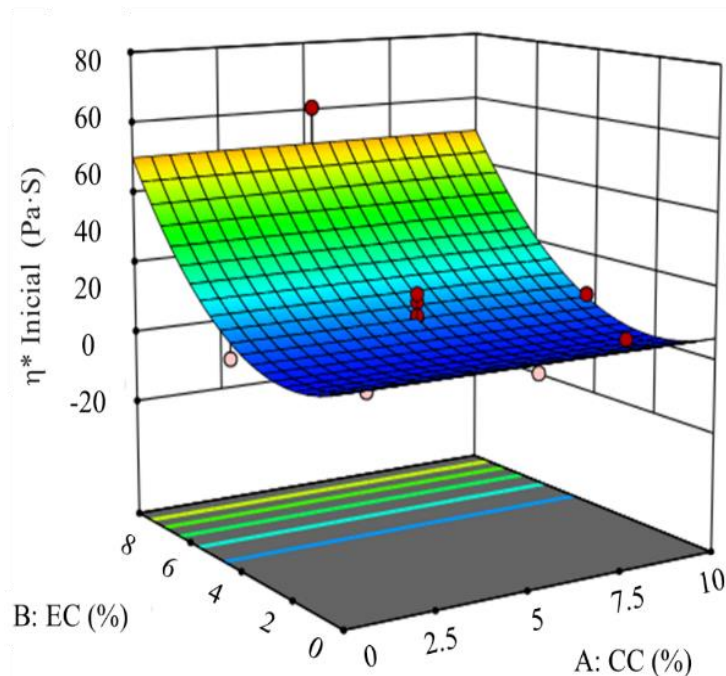


Figura 8. Efecto de la incorporación de cera de candelilla y etilcelulosa en la superficie de respuesta del parámetro reológico inicio del complejo viscoso (η^* app). Porcentaje de cera de candelilla (CC %); Porcentaje de Etilcelulosa (EC %).

6.2.1.2. Viscosidad máxima. En el Anexo 2 se observa el gráfico para el complejo viscoso, donde se resalta como η^*_{Max} el punto más alto de viscosidad alcanzado durante el tiempo de enfriamiento. En el gráfico (Anexo 2), se observa una clara diferencia en la viscosidad máxima alcanzada por la grasa butírica y los oleogeles formulados. Dentro de las mismas condiciones experimentales, la grasa butírica alcanza la mayor viscosidad a una temperatura de 0 °C a un tiempo de 80 min aproximadamente, mientras que, los oleogeles formulados alcanzan su viscosidad máxima a una temperatura entre los 0-52 °C en un tiempo entre los 40 y 60 min. Este comportamiento puede ser explicado por las propiedades de CC, en estudios previos se ha observado el comportamiento viscoso de cera de candelilla en oleogeles en los rangos de temperatura de 50 a 70 °C. Así mismo, se ha estudiado que la viscosidad de los oleogeles que contiene CC depende de la concentración, a una mayor concentración del estructurante, el oleogel muestra mayor viscosidad (Jang *et al.*, 2015). De igual forma se puede observar que los oleogeles con mayor porcentaje de CC presentan una viscosidad máxima mayor.

Así mismo, se puede observar en el comportamiento de la matriz de DCC en la prueba de viscosidad compleja, notables diferencias en la temperatura del inicio del complejo viscoso (Anexo 2). Es

decir, la temperatura donde se da un punto de inflexión y donde inicia en mayor medida el trabajo para cada uno de los geles o grasa láctea (Anexo 2). Estas diferencias pueden resultar en dificultades al momento de la elaboración del queso con OG, dado que la gran mayoría de los OG, presentan el inicio del complejo viscoso a una temperatura muy por encima del que presenta la grasa láctea. EL análisis térmico evidencia en mejor manera estas diferencias, las cuales indican que quizá los oleogeles necesiten un calentamiento más alto para llegar a un estado físico que permitan su incorporación (homogenización) a la leche para elaboración del queso.

El Cuadro 9 presenta el análisis de varianza (ANOVA) del modelo cuadrático reducido para el parámetro reológico viscosidad máxima (η^*_{Max}). Los factores de variación que quedaron incluidos en el modelo para describir las variaciones de viscosidad máxima al aplicar el procedimiento de Forward fueron, los factores lineales de EC y CC, la interacción de EC y CC y el factor cuadrático de CC. Además, se puede observar que el modelo no presentó falta de ajuste significativa ($p>0.05$).

Cuadro 9. ANOVA para el modelo cuadrático reducido de viscosidad máxima (η^*_{Max}).

Factor	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado medio	Valor F	Valor P
Modelo	1.839E+10	4	4.597E+09	117.95	< 0.0001*
CC	1.366E+10	1	1.366E+10	350.38	< 0.0001*
EC	2.242E+09	1	2.242E+09	57.51	< 0.0001*
CC(EC)	8.985E+08	1	8.985E+08	23.05	0.0014*
CC ²	1.592E+09	1	1.592E+09	40.85	0.0002*
Residual	3.118E+08	8	3.898E+07		
Falta de ajuste	2.659E+08	4	6.648E+07	5.79	0.0586
Error	4.590E+07	4	1.147E+07		
Total	1.870E+10	12			

Valores del $p<0.05$ son significativos (*) a razón del modelo. Candelilla (CC); Etilcelulosa (EC). Grados de libertad (GL).

En la ecuación del modelo predictivo del parámetro de viscosidad máxima (Ec. 3) los coeficientes de regresión para los efectos lineales de CC y EC muestran signos negativos. Los signos negativos en la ecuación indica que a medida que se incrementa la concentración de los estructurantes la

viscosidad máxima (η^*_{Max}) disminuye. No obstante, para el factor interacción de CC y EC se presenta un signo positivo en la ecuación, esto hace razón que, al presentar un aumento de ambos estructurantes, se observa un efecto sinérgico que propicia el incremento de la viscosidad (Figura 9). Por otro lado, el efecto cuadrático de CC tiene coeficiente de regresión con signo positivo, lo que indica que a medida que se incrementa la concentración de CC por encima del 5 %, la superficie dibuja una curvatura donde comienza un incremento la viscosidad (Figura 9). El coeficiente de determinación (R^2) del modelo para viscosidad máxima fue de 0.9833, lo que indica que de las variaciones que se presentan en la viscosidad máxima (η^*_{Max}), el 98.33 % están explicadas por los términos incluidos en el modelo, es decir por la variación de las concentraciones de los agentes estructurantes en los rangos estudiados.

$$\eta^*_{Max} = 9258.60 - 6307.92 CC - 1575.75 EC + 1498.77(CC) + 1199.93 CC^2 \quad (Ec. 3)$$

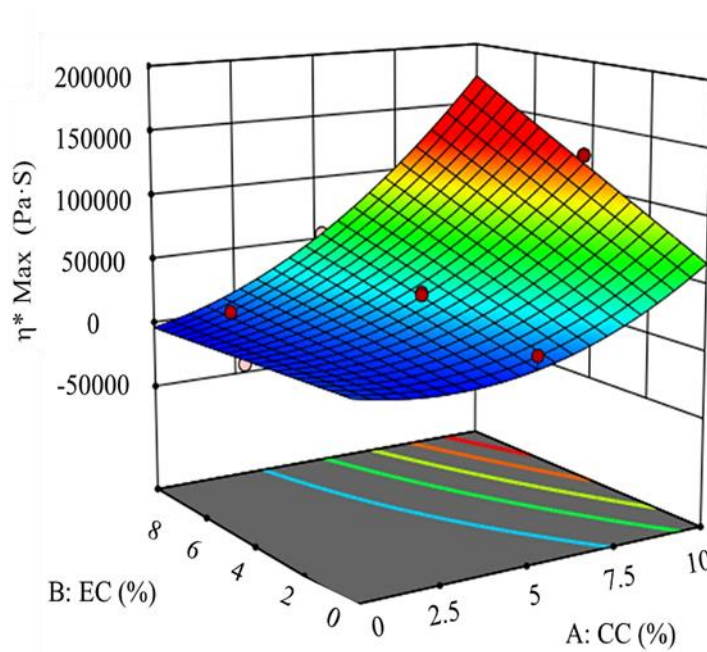


Figura 9. Efecto de la incorporación de cera de candelilla y etilcelulosa en la superficie de respuesta del parámetro reológico viscosidad máxima (η^*_{Max}). Cera de candelilla (CC %); Etilcelulosa (EC %).

6.2.2. Análisis Térmico

Como se mencionó anteriormente, los parámetros térmicos que se tomaron en cuenta, para el comportamiento de cristalización de los oleogel fueron onset de cristalización ($T_{on\ C}$, °C) y temperatura máxima de cristalización ($T_{max\ C}$, °C); mientras que para los parámetros el comportamiento de fusión fueron onset de fusión ($T_{on\ F}$, °C) y temperatura máxima de fusión ($T_{max\ F}$, °C). En el Cuadro 10, se muestran los valores experimentales correspondientes al análisis térmico de los diferentes oleogel obtenidos bajos las diferentes corridas experimentales correspondientes al DCC. Los valores para los parámetros de cristalización rondaron entre 0 y 50.63 °C para $T_{max\ C}$ y de 0 a 44.49 °C en el caso del $T_{on\ C}$. Por otro lado, los valores de $T_{max\ F}$ estuvieron dentro del rango de 0 y 53.03°C y para el caso del $T_{on\ F}$ entre 0 y 45.7 °C. Si bien, se puede inferir que dentro de los rangos obtenidos en los comportamientos de fusión y cristalización de los oleogel se pueden encontrar los de la grasa láctea, realmente el comportamiento de esta última difiere en gran medida con los de los oleogel obtenidos (Cuadro 10) (Lopez *et al.*, 2005; Wright *et al.*, 2000).

Cuadro 10. Matriz del diseño compuesto central rotatorio del análisis de temperatura máxima en oleogel.

Corridas experimentales	CC %	EC %	$T_{on\ C}$	$T_{max\ C}$	$T_{on\ F}$	$T_{max\ F}$
1	1.46	6.82	34.89	26.59	19.24	35.43
2	5	4	44.49	35.79	39.45	49.45
3	0	4	0	0	0	0
4	5	4	43.7	34.78	38.48	49.05
5	5	4	37.73	49.12	43.78	35.09
6	10	4	49.09	45.07	36.64	53.03
7	5	4	37.4	49.33	44.72	36.7
8	5	0	43.59	39.87	20.94	46.82
9	8.53	1.17	48.11	45.1	36.38	50.25
10	5	4	38.6	50.63	45.7	36.8
11	8.53	6.82	48.16	43.91	35.07	52.57
12	1.46	1.17	19.83	15.55	21.53	21.33
13	5	8	44.23	36.45	44.23	36.45
Grasa butírica	-	-	16.5	10	20	35

CC: Cera de candelilla; EC: Etilcelulosa. Onset de cristalización ($T_{on\ C}$); Temperatura máxima de cristalización ($T_{max\ C}$); Onset de fusión ($T_{on\ F}$); Temperatura máxima de fusión ($T_{max\ F}$). Valores reportados en grados centígrados (°C).

En el Anexo 3 se presenta el gráfico de DSC para las trece corridas experimentales. Estudios de oleogel con cera de candelilla, tanto en punto de fusión como de cristalización, se observan las mismas variaciones que corresponden a la concentración y la composición intrínseca de la cera. Han sido reportados puntos de fusión de la cera de candelilla que van desde los 37 °C hasta los 75 °C de igual forma para el punto de cristalización de 35 a 65 °C, como se mencionó muchas de estas variaciones están en función de su composición (Blake *et al.*, 2018; Jang *et al.*, 2015; Toro-Vazquez *et al.*, 2007). Por otro lado, dentro del termograma no se observa una influencia o comportamiento de etilcelulosa, dado que ésta experimenta su punto de fusión y cristalización por encima del rango de temperatura estudiado (Gravelle *et al.*, 2018). Es importante mencionar que no se amplió más el rango de temperatura, por el hecho de que la grasa láctea presenta puntos de fusión muy amplios, pero sin superar los 40°C, mismo caso para el comportamiento de cristalización, con temperaturas apenas superiores a 15 °C hasta temperaturas menores de 0 °C, las variaciones de temperatura en el comportamiento térmico están explicadas por la heterogeneidad de la composición de la grasa láctea (Lopez *et al.*, 2005; Patel, 2020; Wright *et al.*, 2000).

6.2.2.1. Onset de cristalización. La variable de onset de cristalización (T_{on} C, °C) presenta un modelo cuadrático reducido significativo al aplicar el método de Forward (Cuadro 11). El factor lineal y cuadrático correspondientes a la cera candelilla fueron significativos ($p < 0.05$). Es importante hacer notar, que el modelo no presentó falta de ajuste, lo que hace referencia a que no fue necesaria la adición de algún otro término, esto precisa que el modelo se ajustó al comportamiento de los datos.

Cuadro 11. ANOVA para el modelo cuadrático reducido del onset de cristalización.

Factor	Suma de cuadrados		Cuadrado medio	Valor F	Valor P
Modelo	1925.28	2	962.64	29.08	< 0.0001*
CC	1539.40	1	1539.40	46.50	< 0.0001*
CC ²	385.88	1	385.88	11.66	0.0066*
Residual	331.09	10	33.11		
Falta de ajuste	284.10	6	47.35	4.03	0.0992
Error	46.99	4	11.75		
Total	2256.37	12			

Valores de $p < 0.05$ son significativos (*) a razón del modelo. Cera de candelilla (CC). Grados de libertad (GL).

Dentro de la ecuación del modelo para esta variable respuesta (Ec.4), se obtuvo un coeficiente de regresión positivo para el efecto lineal de CC, que precisa un aumento en la temperatura de P_{on} a medida que se incrementa la concentración de cera de candelilla (Figura 10). Por otro lado, la ecuación presentó un coeficiente de regresión negativo para el efecto cuadrático de CC, esto hace referencia a una disminución en la temperatura. El efecto cuadrático negativo se puede observar en la superficie en donde, al aumentar la concentración de la CC por encima de aproximadamente el 5 %, se puede observar en la superficie de respuesta, una curvatura con tendencia a disminuir, lo que significa una reducción en la temperatura del onset de cristalización al incrementar la concentración de CC por arriba del 5 %. El coeficiente de determinación (R^2) del modelo para P_{on} fue de 0.8533, lo que indica que el 85.33 % de las variaciones del T_{on} .

$$T_{on} C = 7.83 + 9.83 CC - 0.59 CC^2 \quad (Ec. 4)$$

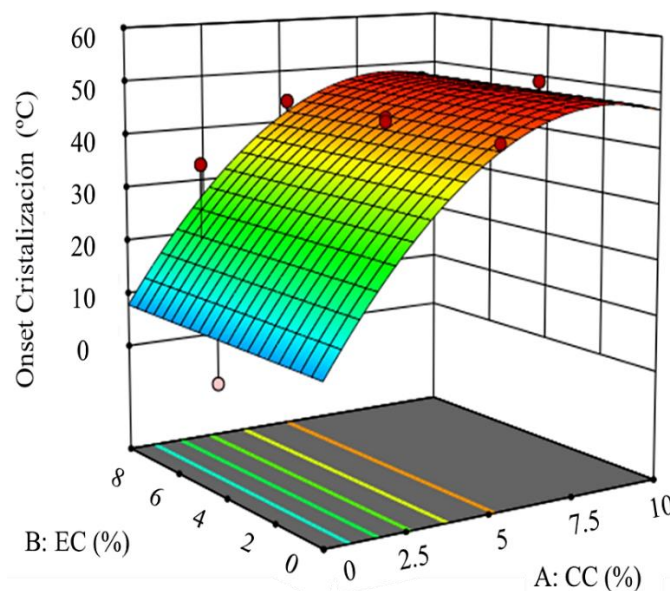


Figura 10. Efecto de la incorporación de cera de candelilla y etilcelulosa en la superficie de respuesta del parámetro térmico onset de cristalización ($^{\circ}C$). Porcentaje de cera de candelilla (CC %); Porcentaje de etilcelulosa (EC %).

6.2.2.2. Temperatura máxima de cristalización. El análisis de varianza (ANOVA) del modelo cuadrático reducido para temperatura máxima de cristalización se muestra en el Cuadro 12. Al aplicar el procedimiento de selección de variable Forward, el modelo fue significativo en los factores lineales y cuadráticos correspondientes a CC. Es importante hacer notar que el modelo no presenta falta de ajuste.

Cuadro 12. ANOVA para el modelo cuadrático reducido de temperatura máxima de cristalización.

Factor	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Valor F	Valor P
Model	2207.67	2	1103.83	27.46	< 0.0001*
CC	1529.28	1	1529.28	38.05	0.0001*
CC ²	678.39	1	678.39	16.88	0.0021*
Residual	401.95	10	40.19		
Falta de ajuste	150.98	6	25.16	0.4011	0.8477
Error	250.97	4	62.74		
Total	2609.62	12			

Valores del $p < 0.05$ son significativos (*) a razón del modelo. Cera de candelilla (CC). Grados de libertad (GL).

La ecuación del modelo para el parámetro de temperatura máxima de cristalización ($T_{\max} C$) (Ec.5), presentó un coeficiente de regresión positivo para el factor lineal de CC, el cual indica, que a medida que se incrementa la concentración del estructurante CC, se presenta un aumento en la temperatura máxima de cristalización ($T_{\max} C$) como se observa en la Figura 11. Por otro lado, el factor cuadrático de CC muestra un coeficiente de regresión negativo, esto denota que, si bien al aumentar la concentración de CC se incrementa la T_{\max} , al sobrepasar aproximadamente el 5 %, el aumento ya no es lineal y se comienza a presentar una curvatura en la superficie que tiende a disminuir T_{\max} sobre pasando el 7.5 % de CC. El modelo presentó un coeficiente de determinación (R^2) de 0.8460, haciendo referencia a que el 84.60 % de los datos es explicado por el modelo.

$$T_{max C} = 3.21 + 11.74 CC - 0.78 CC^2 \quad (Ec. 5)$$

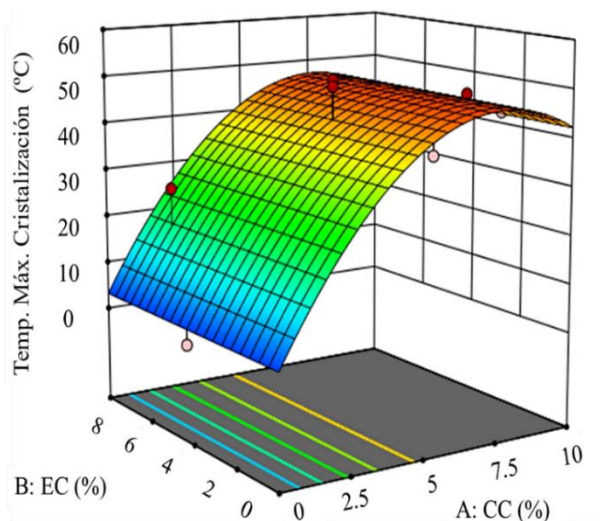


Figura 11. Efecto de la incorporación de cera de candelilla y etilcelulosa en la superficie de respuesta del parámetro térmico temperatura máxima de cristalización (°C). Porcentaje de cera de candelilla (CC %); Porcentaje de etilcelulosa (EC %).

6.2.2.3. Onset de fusión. Para el parámetro térmico onset de fusión (Ton F) se obtuvo un modelo cuadrático significativo (Cuadro 13), en el cual quedaron incluidos los efectos significativos, tanto lineal como cuadrático de CC de EC y la interacción CC y EC. El modelo no presentó falta de ajuste ($p > 0.05$), que indica que este se ajusta al comportamiento de los datos.

Cuadro 13. ANOVA para el modelo cuadrático de onset de fusión ($T_{on F}$).

Factor	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Valor F	Valor P
Modelo	4635.91	5	927.18	26.94	0.0002*
CC	1970.56	1	1970.56	57.26	0.0001*
EC	655.17	1	655.17	19.04	0.0033*
CC(EC)	442.68	1	442.68	12.86	0.0089*
CC ²	1381.78	1	1381.78	40.15	0.0004*
EC ²	337.09	1	337.09	9.80	0.0166*
Residual	240.89	7	34.41		
Falta de ajuste	198.65	3	66.22	6.27	0.0542
Error	42.24	4	10.56		
Total	4876.80	12			

Valores del $p < 0.05$ son significativos (*) a razón del modelo. Cera de candelilla (CC); Etilcelulosa (EC). Grados libertad (GL).

La ecuación del modelo para el parámetro de onset de fusión ($T_{on F}$) (Ec.6), presentó coeficientes de regresión positivos para los efectos lineales de EC y CC. El factor lineal positivo para EC y CC hace referencia que, a medida que se incrementa la concentración de los estructurantes de manera individual, se presentó un aumento en la temperatura del $T_{on F}$. El coeficiente de regresión para la interacción de los factores EC y CC fue negativo, esto indica que a medida que se incrementa a la par la concentración de EC y CC, la temperatura del $T_{on F}$ disminuye. Así mismo, los factores cuadráticos de EC y CC presentaron un coeficiente de regresión negativo. Si bien el aumento en la concentración de los agentes estructurantes trae consigo un aumento en la temperatura de onset, al sobrepasar la concentración aproximadamente de 5 % de CC y 6 % de EC, el aumento de $T_{on F}$ ya no es lineal y como se puede observar en la Figura 12, se presenta una curvatura en la superficie que tiende a decrecer. Por otro lado, el coeficiente de determinación (R^2) del modelo de onset de fusión ($T_{on F}$) fue de 0.9506, que muestra que el 95.06 % de las variaciones que se presentan el $T_{on F}$, están explicadas por los términos incluidos en el modelo, es decir por las variaciones de las concentraciones de los estructurantes en el rango estudiado.

$$Ton F = -55.71 + 19.92 CC + 15.42 EC - 1.05(CC)(EC) - 1.12 CC^2 - 0.87 EC^2 + (Ec. 6)$$

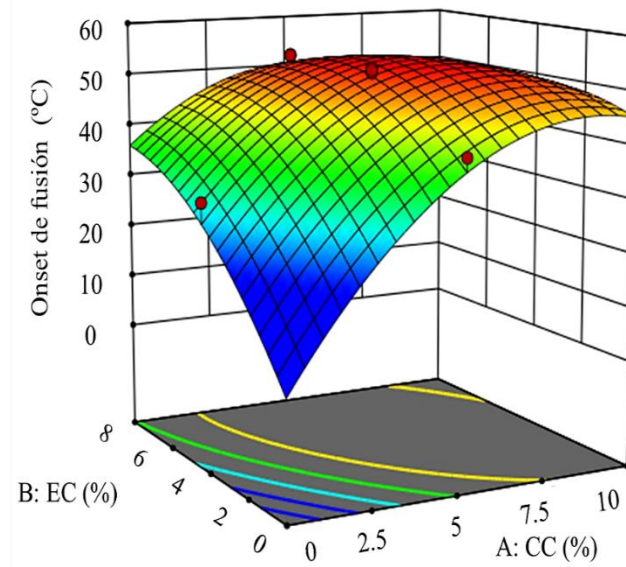


Figura 12. Efecto de la incorporación de cera de candelilla y etilcelulosa en la superficie del parámetro térmico onset de fusión.

a) Temperatura máxima de cristalización (°C); b) Área de cristalización (J/g); c) Temperatura máxima de fusión (°C); d) Área de fusión (J/g). Porcentaje de cera de candelilla (CC %); Porcentaje de etilcelulosa (EC %).

6.2.2.4. Temperatura máxima de fusión. El Cuadro 14 presenta el análisis de varianza del modelo de interacción de dos factores (2FI) con la significancia de los respectivos factores que quedaron incluidos para explicar las variaciones de la temperatura máxima de fusión ($T_{\max} F$). Al aplicar el procedimiento de selección de variables Forward, el único término incluido en el modelo que resultó significativo, fue el efecto lineal del factor CC. No obstante, para explicar mejor el comportamiento de la variable respuesta y lograr que la falta de ajuste no fuera significativa, se incluyeron en el modelo los factores del efecto lineal de EC y la interacción de EC y CC, aun cuando no resultaron significativos.

Cuadro 14. ANOVA para el modelo de interacción de dos factores (2FI) de temperatura máxima de fusión.

Factor	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Valor F	Valor P
Model	4337.87	3	1445.96	8.80	0.0048*
CC	3350.36	1	3350.36	20.39	0.0015*
EC	246.58	1	246.58	1.50	0.2516
CC(EC)	740.93	1	740.93	4.51	0.0627
Residual	1478.72	9	164.30		
Falta de ajuste	1272.34	5	254.47	4.93	0.0736
Error	206.39	4	51.60		
Total	5816.59	12			

Valores del $p < 0.05$ son significativos (*) a razón del modelo. Encima de 0.1000 son no significativos. Cera de candelilla (CC); Etilcelulosa (EC). Grados libertad (GL).

La ecuación del modelo para el parámetro de temperatura máxima de fusión presentó un coeficiente de regresión positivo para el factor CC, lo cual indica que un aumento en la concentración del estructurante CC provoca un aumento en la temperatura máxima de fusión, comportamiento que puede ser observado en la superficie de respuesta (Figura 13). Por otro lado, el coeficiente de regresión para EC fue positivo lo que refleja un aumento en el $T_{\max} F$ a medida que se incrementa EC. Si bien, este efecto se puede observar en la superficie de respuesta, es importante recordar que el modelo indica que este aumento no es significativo ($p > 0.05$). Del mismo modo, la interacción de ambos factores (EC y CC), apenas resultó no significativa ($p > 0.05$) por lo que es posible notar como una ligera caída en la superficie, al aumentar la concentración de ambos estructurantes provocan la disminución de la temperatura máxima de fusión. Es importante mencionar que el coeficiente de determinación (R^2) del modelo ($T_{\max} F$) fue de 0.74, que muestra que el 74.58 % de las variaciones que se presentan en el $T_{\max} F$, están explicadas por los términos incluidos en el modelo, dentro de los rangos estudiados.

$$T_{max F} = -28.60 + 11.23 CC + 8.76 EC - 1.36(CC)(EC) \quad (Ec. 7)$$

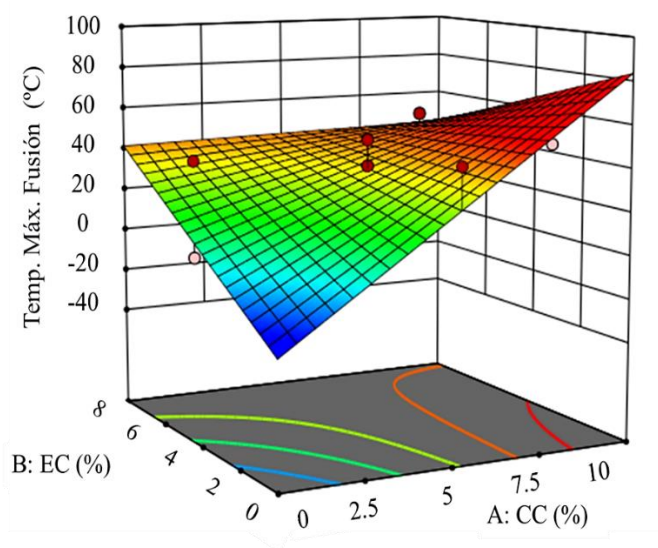


Figura 13. Efecto de la incorporación de cera de candelilla y etilcelulosa en la superficie de respuesta del parámetro térmico temperatura máxima de fusión. Porcentaje de cera de candelilla (CC %); Porcentaje de etilcelulosa (EC %).

6.2.3. Optimización de Oleogeles

En función de los resultados obtenidos en los parámetros térmicos y reológicos se realizó la optimización en función de estas propiedades de la grasa láctea, para la obtención de las 3 formulaciones de oleogeles que optimizaron los parámetros reológicos (OR), los parámetros térmicos (OT) y la combinación de los parámetros térmicos y reológicos (OC). En la Cuadro 15, se muestran las concentraciones de los estructurantes obtenidas de la optimización, así como la deseabilidad que se logró alcanzar con las concentraciones obtenidas para cada tipo de oleogel. La optimización de los parámetros reológicos (OR) se realizó ajustando la viscosidad inicial en el rango y maximizando la viscosidad máxima; para OT todos los parámetros térmicos ($T_{on C}$, $T_{max C}$, $T_{on F}$ y $T_{max F}$) se ajustaron en el rango; y para obtener la formulación del oleogel OC se optimizó ajustando de igual forma los parámetros reológicos (η^* app a 80°C en el rango y maximizando η^*_{Max}) y los térmicos en el rango para todos los parámetros ($T_{on C}$, $T_{max C}$, $T_{on F}$ y $T_{max F}$).

Cuadro 15. Concentraciones optimas y deseabilidad de oleogeles.

Tratamiento	CC	EC	Deseabilidad	Valores predichos	Valores de confirmación
OR	10	3.41	0.924	η^*_{app} :4.94 η^*_{Max} :11.2x10 ⁴	η^*_{app} :1.77±0.23 η^*_{Max} :14.54x10 ⁴
OT	0.34	5.87	0.951	T _{on} C: 11; T _{max} C:7.10 T _{on} F:9.040; T _{max} F:23.43	T _{on} C: 26.6; T _{max} C:16.43 T _{on} F:*; T _{max} F:*
OC	0.98	4.36	0.589	η^*_{app} :9.90 η^*_{Max} : 3778.2 T _{on} C:16.95; T _{max} C:14.03 T _{on} F:0.40; T _{max} F:14.89	η^*_{app} :964.32 ±37.11 η^*_{Max} :3.06x10 ³ T _{on} C:32.13; T _{max} C:23.30 T _{on} F: 44.89; T _{max} F:33.13

(*) No se obtuvo lectura en DSC. η^*_{app} a 80 °C: viscosidad inicial; η^*_{Max} : viscosidad máxima. Parámetros reológicos expresadas en Pa·s. T_{on} C: Onset de cristalización; T_{max} C: Temperatura máxima de cristalización; T_{on} F: Onset de fusión; T_{max} F: Temperatura máxima de fusión. Parámetros térmicos expresados en °C. Valores de CC y EC en %.

Como se observa en el Cuadro 15, los resultados de la confirmación tuvieron una gran discrepancia con los valores predichos. Lo anterior puede ser explicado, dado que el muestreo para realizar el análisis de confirmación se realizó con las muestras elaboradas a nivel planta piloto. Así mismo, el comportamiento en las pruebas reológicas y térmicas difiere con las características de la grasa láctea (η^*_{app} a 80 °C=1.81 Pa·s; η^*_{Max} = 11.33x10⁴ Pa·s), (T_{on} C (15-18 °C) y T_{max} C (10 °C); T_{on} F (35 °C) y T_{max} F (20 °C) aproximadamente (Lopez *et al.*, 2005; Patel, 2020; Wright *et al.*, 2000). Es importante puntualizar que, debido a los resultados obtenidos se puede predecir que al momento de incorporar los oleogeles a la leche, previo a la elaboración del queso, se tendrá que hacer ajustes en el proceso.

6.3. Análisis de la Composición Química del Queso

6.3.1. Rendimiento

Los oleogeles obtenidos se utilizaron para sustituir 50 % la grasa láctea que tradicionalmente se utiliza en la elaboración de queso panela. Con la finalidad de dar un indicio de la factibilidad técnica del proceso, se llevó a cabo la estimación del rendimiento del proceso de elaboración del queso a

una escala planta piloto, cuando se incorporaron los diferentes oleogeles. En el Cuadro 16, se presentan los rendimientos obtenidos en la elaboración de los productos reformulados, así como los rendimientos del queso control con grasa butírica y el producto elaborado con grasa de palma. Teniendo presente que se partió de una base láctea de 50 kg para cada uno de los tratamientos, los quesos controles GB y GP obtuvieron un rendimiento de 16.6 y 16.7 % respectivamente; mientras que los tratamientos con oleogel OR, OT y OC presentaron un rendimiento de 15.4, 15.9 y 15.8 %, respectivamente. Estas pequeñas, aunque notables diferencias en los rendimientos se atribuyen a las variaciones que se presentaron durante el proceso de homogeneización de la leche, que fue el paso donde se llevó a cabo la incorporación de los respectivos oleogeles. La disminución en el rendimiento de los tratamientos con oleogel (OR, OT y OC), se ve reflejada en el aumento de proteína y grasa de los sueros de estos mismos tratamientos (Cuadro 17).

En la incorporación de OT y OC se presentaron variaciones en el flujo; y al incorporar OR fue posible notar una ligera capa “cerosa” (Figura 14a), que denota una deficiencia en la homogeneización del oleogel con la leche. Aun cuando los análisis térmicos y reológicos denotaron que los oleogeles con un alto contenido de CC presentan parámetros térmicos que difieren a las características de la grasa láctea (Cuadro 15), se decidió no realizar un ajuste de la temperatura que habitualmente se utiliza en el proceso de homogeneización. Por consiguiente, para mejorar la homogeneización de OR (oleogel con la concentración de CC más alta), se realizó una segunda homogeneización. Esto último, coincide con que OR haya sido el tratamiento que presentó el menor rendimiento.

Cuadro 16. Rendimiento de la elaboración de los tratamientos de quesos panela.

Rendimiento en 50 kg base láctea	GB	GP	OR	OT	OC
Rendimiento (kg)	8.17	8.35	7.62	7.76	7.87
Rendimiento (%)	16.6	16.7	15.4	15.9	15.8
Diferencias (%)			-1.2	-0.7	-0.8

Diferencias: respecto al control (GB). GB: Grasa butírica; GP: Grasa palma; OR: Tratamiento con oleogel optimización reológica; OT: tratamiento con oleogel de optimización térmica; OC: Tratamiento con oleogel optimización combinando de parámetros reológicos y térmicas.

Cuadro 17. Composición del suero.

Análisis (%)	GB	GP	OR	OT	OC
Humedad	92.06	91.88	91.87	91.66	91.95
Proteína	1.09	1.03	1.06	1.15	1.12
Grasa	0.38	0.38	0.48	0.46	0.45

GB: Grasa butírica; GP: Grasa palma; OR: Tratamiento con oleogel optimización reológica; OT: tratamiento con oleogel de optimización térmica; OC: Tratamiento con oleogel optimización combinando de parámetros reológicos y térmicas.

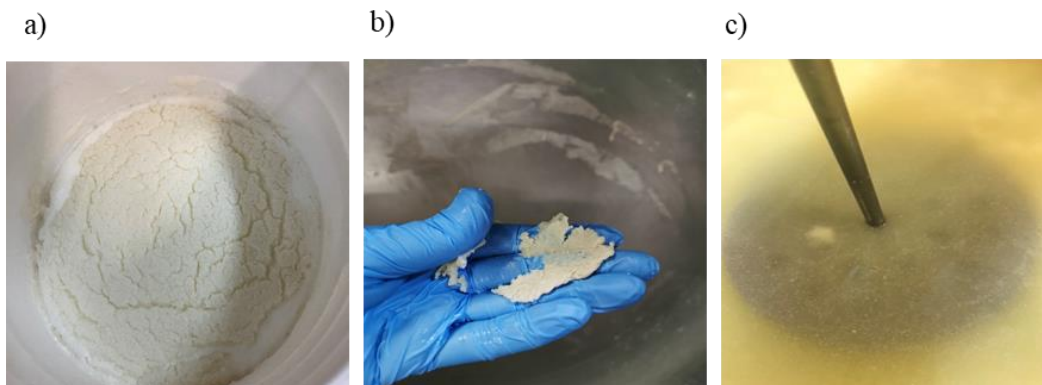


Figura 14. Imágenes de proceso de elaboración del tratamiento OR.

a) Leche después de homogenización; b) Residuo ceroso en pasteurización; c) Presencia de sólidos en suero. OR: Tratamiento con oleogel optimización reológica.

6.3.2. Análisis Proximal y pH

En el Cuadro 18, se muestra el efecto de la incorporación de estos oleogeles en el pH y la composición proximal de los productos obtenidos, así como la composición del queso control elaborado con grasa láctea y como control adicional, con un producto elaborado con grasa de palma (GP). A la par del análisis proximal se realizó el análisis de rendimiento que se obtuvo en cada para cada muestra, para visualizar en mejor forma el impacto de los cambios en el contenido de los macronutrientes.

Cuadro 18. Efecto en la composición química en la sustitución de grasa butírica en queso panela.

Análisis (%)	GB	GP	OR	OT	OC
Humedad	52.91 ^a	53.24 ^a	53.26 ^a	52.99 ^a	53.13 ^a
Proteína	17.37 ^a	17.31 ^a	17.18 ^a	17.22 ^a	17.31 ^a
Carbohidratos	7.11 ^a	6.55 ^a	7.57 ^a	7.68 ^a	7.97 ^a
Grasa	22.59 ^{bc}	22.89 ^c	21.98 ^{ab}	22.09 ^{abc}	21.58 ^a
pH	6.59 ^a	6.63 ^a	6.62 ^a	6.62 ^a	6.63 ^a

^{a-c} Medias con diferentes literales asignadas en cada renglón indican diferencias significativas ($p < 0.05$). GB: Grasa butírica; GP: Grasa de palma; OR: Tratamiento con oleogel optimización reológica; OT: tratamiento con oleogel de optimización térmica; OC: Tratamiento con oleogel optimización combinando de parámetros reológicos y térmicas.

Resulta importante recordar que todas las muestras de queso fueron elaboradas con la misma formulación, y solo se modificó el tipo de grasa añadida, con la finalidad de estandarizar el contenido de sólidos en los quesos. Esto, ayuda a explicar por qué no se presentaron cambios significativos en los contenidos de humedad en las 5 muestras (Cuadro 18) ($p > 0.05$). El rango de humedad de las muestras estuvo entre 52.91 y 53.24 %. Estos porcentajes de humedad se encuentran dentro de lo que dicta la norma mexicana NOM-223-SCFI/SAGARPA-2018 que establece un máximo 80 % de humedad. Así mismo no excede el porcentaje máximo característico que posee un queso panela de hasta el 58 % (Villegas de Gante, Santos y Cervantes, 2016).

Dentro de los trabajos realizados en el reemplazo de grasa con oleogeles en productos lácteos, como queso crema (Bemer *et al.*, 2016; Park *et al.*, 2018) y queso procesado (Huang *et al.*, 2018), no se reportan grandes cambios en los contenidos de humedad, en comparación con los productos control (sin sustitución de grasa butírica), a no ser cuando se han realizado comparaciones con productos comerciales, que generalmente, son elaborados con otro tipo de formulación y proceso. Así mismo, la implementación de oleogeles en otros productos, como por ejemplo en productos cárnicos, donde se han estudiado en mayor medida los OG, las diferencias en humedad han sido atribuidas principalmente a la falta de ajuste en las formulaciones dada la humedad presente en la grasa animal (Utrilla *et al.*, 2014; Wolfer *et al.*, 2018; Alday-Palafox, 2019).

En el presente estudio, la sustitución de grasa láctea o grasa de palma por un oleogel generó variaciones en el contenido de grasa de los productos obtenidos, aunque solo fue significativa ($p < 0.05$) cuando se utilizó el oleogel OC (Cuadro 18). Estas diferencias pueden atribuirse, primordialmente, a la pérdida de sólidos de grasa que se presentó en el suero liberado (Cuadro 17), ya que los sueros provenientes de los productos elaborados con oleogeles presentaron un contenido de grasa superior en contraste con los obtenidos los sueros de los productos control. Este

comportamiento, coincide en gran medida con lo reportado en queso crema al utilizar diferentes concentraciones y tipo de estructurantes, donde los productos con oleogel presentaron un contenido de grasa menor en comparación con un queso comercial elaborado con grasa láctea (Bemer *et al.*, 2016; Park *et al.*, 2018). Adicionalmente, en el estudio de Bemer y col (2016) tampoco encontraron cambios significativos en el contenido de grasa de los productos reformulados. Sin embargo, en queso procesado, la sustitución del 40 % grasa por oleogeles de aceite de soya estructurado con cera de salvado de arroz o de girasol, no modificó significativamente el contenido de grasa de los elaborados con los diferentes oleogeles en comparación con el producto control (Huang *et al.*, 2018). En general, el contenido de grasa de los productos lácteos elaborados con oleogel puede variar de manera significativa en función del nivel de sustitución y la composición de los oleogeles utilizados para la reformulación (Puşcaş *et al.*, 2020).

En lo que respecta al porcentaje de proteína y carbohidratos en los quesos, no se presentaron diferencias significativas por efecto de la reformulación con OG ($p>0.05$). El contenido de proteína de los productos estuvo entre 17.18 y 17.37 % y la de carbohidratos entre 6.55 a 7.97 % (Cuadro 18). Es importante señalar que, si bien los tratamientos control GB y GP presentan un mayor porcentaje de proteína y un menor contenido de carbohidratos con respecto a los tratamientos con oleogeles, estas diferencias no fueron lo suficientemente grandes para reflejar una significancia estadística ($p>0.05$). Así mismo, las pequeñas diferencias en el contenido de proteína que se presentó en la pérdida de sólidos en los diferentes sueros (Cuadro 17), no ocasionó que el contenido de proteína de los productos tuviera una variación significativa. En los estudios referentes al efecto de la sustitución de grasa por oleogeles en la composición proximal de productos lácteos, en ninguno de ellos reportan el contenido de proteína y/o carbohidratos *per se* (Bemer *et al.*, 2016; Huang *et al.*, 2018; Park *et al.*, 2018). Estos estudios reportan sólidos no grasos, entre los cuales está la proteína, así como, carbohidratos y cenizas. De tal manera, que dependiendo del tipo y concentración de estructurante que utilizaron, generalmente encuentran un contenido de sólidos no grasos significativamente mayor en comparación con los productos control, a diferencia de lo encontrado en el presente estudio. Los carbohidratos en los quesos no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos control (GB y GP) y los tratamientos con oleogel (OR, OT y OC) ($p>0.05$).

La reformulación con OG no ocasionó cambios significativos ($p>0.05$) en los valores de pH de los quesos (Cuadro 18). Los valores oscilaron en el rango de 6.59 y 6.63. El pH de las muestras se encuentra en el rango característico de quesos frescos ($pH>6$) (Hwang y Gunasekaran, 2001;

Guerra-Martínez *et al.*, 2012). Así mismo, es importante mencionar que mínimas variaciones del pH puede traer cambios en la estructura del queso debido a que se acerca al punto isoeléctrico de la caseína, que pueden impactar la funcionalidad y la textura del queso (Guerra-Martínez *et al.*, 2012; Marchesseau *et al.*, 1997; Bemer *et al.*, 2016).

6.3.3. Perfil Lipídico

El análisis de perfil de ácidos grasos de los quesos elaborados en el presente estudio, se presentan en el Cuadro 19. Con referencia al perfil lipídico del aceite de canola, como se esperaba, la incorporación del oleogel en la matriz láctea, modificó de forma significativa el contenido de la mayoría los ácidos grasos con respecto al tratamiento con 100 % de grasa butírica (GB) (O'Brien, 2008; Eskin *et al.*, 2020). De igual forma se presentó un cambio del perfil lipídico con respecto al tratamiento con grasa de palma (GP), con excepción de los ácidos C4:0, C8:0, C10:0, C12:0, C14:0, C15:0, C18:2 *trans*, C21:0 y C20:4 n6, puntualizando que la mayoría de estos ácidos grasos están presentes en menor proporción ($p > 0.05$). También se puede observar que el perfil lipídico, de los productos con oleogel (OR, OT y OC), no muestran diferencias significativas entre ellos en la gran mayoría de los ácidos grasos.

Es importante hacer notar, que la incorporación de los oleogeles confirió el principal beneficio buscado con la sustitución de la grasa láctea, que es disminuir de manera significativa el contenido de ácidos grasos saturados (Σ AGS) de este tipo de productos. La incorporación de los OG disminuyó en una manera significativa en un 45 % y 39 % con respecto a GB y GP, respectivamente ($p < 0.05$). Adicionalmente, se logró un aumento ($p < 0.05$) del 23 % en los ácidos grasos monoinsaturados (Σ AGM) en los tratamientos con oleogel con respecto a ambos controles (GB y GP) ($p < 0.05$). Así mismo, el uso de oleogeles en los quesos generó un aumento significativo de más de 3 y 2 veces en el contenido de ácidos grasos poliinsaturados (Σ AGP) con respecto a GB y GP, respectivamente ($p < 0.05$). Es importante puntualizar, el aumento de casi el 30 % en la porción del ácido graso oleico y el incremento de nueve veces el contenido en ácidos grasos esenciales omega-3 y omega-6 (C18:3 n3, C18:3 n6 y C20:4 n6) por su importancia en la salud (O'Brien, 2008; Coronado-Herrera *et al.*, 2006; Liu *et al.*, 2017).

Cuadro 19. Efecto del reemplazo de grasa butírica con un oleogel de aceite de canola estructurado con etilcelulosa y cera de candelilla en el perfil lipídico de queso panela.

	GB	GP	OR	OT	OC
C4:0	0.78 ^b	0.36 ^a	0.33 ^a	0.38 ^a	0.35 ^a
C6:0	5.56 ^a	2.37 ^b	4.22 ^a	4.26 ^a	4.93 ^a
C8:0	0.71 ^b	0.36 ^a	0.35 ^a	0.40 ^a	0.33 ^a
C10:0	2.20 ^b	1.07 ^a	1.01 ^a	1.10 ^a	1.01 ^a
C12:0	3.39 ^b	1.72 ^a	1.42 ^a	1.54 ^a	1.42 ^a
C14:0	10.64^b	5.23^a	4.75^a	5.00^a	4.74^a
C15:0	1.11 ^c	0.48 ^a	0.48 ^a	0.49 ^a	0.48 ^a
C16:0	28.10^b	36.44^c	14.92^a	14.81^a	14.66^a
C17:0	0.74 ^b	0.34 ^a	0.70 ^b	0.70 ^b	0.73 ^b
C18:0	0 ^a	0 ^a	0.19 ^b	0.10 ^a	0.17 ^b
C20:0	0.21 ^a	0.29 ^b	0.43 ^c	0.39 ^c	0.41 ^c
C21:0	0 ^a	0.10 ^b	0 ^a	0.10 ^b	0.09 ^b
C14:1	0.68 ^b	0.39 ^a	0.30 ^a	0.30 ^a	0.31 ^a
C16:1	1.40 ^c	0.69 ^b	0.17 ^a	0.19 ^a	0.16 ^a
C17:1	0.34 ^c	0.12 ^a	0.33 ^c	0.39 ^c	0.31 ^c
C18:1 cis	39.78^a	43.34^a	54.23^b	53.78^b	53.68^b
C18:2	0.89 ^b	0.14 ^a	0.09 ^a	0.12 ^a	0.08 ^a
<i>trans</i>					
C18:2 <i>cis</i>	2.68 ^a	6.11 ^b	11.20 ^c	11.27 ^c	11.24 ^c
C18:3 n6	0^a	0^a	0.19^b	0.20^b	0.22^b
C18:3 n3	0.54^a	0.27^a	3.76^b	3.72^b	3.78^b
C21:1 n9	0.24 ^b	0.16 ^a	0.74 ^c	0.70 ^c	0.73 ^c
C20:4 n6	0^a	0.05^a	0.13^a	0.10^a	0.10^a
Σ AGS	53.44^c	48.76^b	28.80^a	29.27^a	29.32^a
Σ AGM	42.44^a	44.70^b	55.77^c	55.36^c	55.19^c
Σ AGP	4.12^a	6.54^b	15.42^c	15.38^c	15.49^c

^(a-c) Medias con diferentes literales asignadas en cada renglón indican diferencias significativas ($p < 0.05$). GB: Grasa butírica; GP: Grasa de palma; OR: Tratamiento con oleogel optimización reológica; OT: Tratamiento oleogel optimización térmica; OC: Tratamiento oleogel optimización combinando de parámetros reológicos y térmicos. ΣAGS: Sumatoria de ácidos grasos saturados; ΣAGM: Sumatoria de ácidos grasos monoinsaturados; ΣAGP: Sumatoria de ácidos grasos poliinsaturados.

Diversos estudios de sustitución de grasa con oleogel también reportan una disminución significativa de AGS, acorde al aceite utilizado en la elaboración del oleogel, y de igual forma se reportan cambios en las porciones de AGM y AGP (Puscas *et al.*, 2020). De manera específica,

Huang y colaboradores en 2018, reportaron una disminución solo del 20 al 22 % de la porción de AGS al comparar con un queso procesado comercial con un producto elaborado con una sustitución del 40 % de la grasa añadida con un oleogel de soya estructurado con cera de salvado de arroz o cera de girasol. Por otro lado, Park y colaboradores en 2018, remplazaron el 100 % de la grasa láctea en un queso crema, con un oleogel en base a aceite de soya alto en oleico estructurando con 10 % de cera de salvado de arroz, y obtuvieron un producto con un perfil lipídico en el que se resalta un 81 % de ácido oleico en comparación con dos quesos cremas comerciales con un 28 % y un 18.5 % (65.15 y 77.16 % más de ácidos oleico en los quesos elaborados).

Por último, es importante recordar que, en base a las modificaciones de la norma mexicana de etiquetado NOM-051-SCFI/SSA1-2010, la adición de grasa en cualquier alimento ya sea de origen vegetal o animal, obliga a colocar un octágono (sello) con la leyenda “exceso de grasa saturada”, si el aporte energético de la grasa saturada adicionada sobrepasa el 10 %. En el presente trabajo, la disminución de AGS si bien es significativa, al realizar el cálculo del aporte energético de los AGS remanentes en los productos con oleogel, estos superan el 10 % y por lo tanto aun será necesario la inclusión de dicho sello.

6.4. Parámetros Físicos de los Quesos

6.4.1. Análisis de Color Instrumental

En el presente trabajo, se evaluó el efecto en el color de un queso al modificar la formulación. Para definir los cambios en el color de los quesos se tomaron en cuenta los parámetros b^* (tono amarillo), L (luminosidad) y el tono (ángulo de matiz). El queso panela se caracteriza por ser un queso con una tonalidad blanca, por ende, podemos observar valores de b^* relativamente bajos (Figura 15). Los rangos del valor b^* estuvieron dentro del rango de 11.95 a 19.38, donde el queso con 100 % de grasa butírica presentó un color amarillo significativamente más alto que los demás tratamientos ($p < 0.05$). Dentro de los tratamientos con oleogel, OR presentó un valor significativamente más alto que los tratamientos OT y OC, incluso aún más alto que el tratamiento GP ($p < 0.05$). Es importante mencionar que, OR es el oleogel estructurado con un mayor porcentaje de CC (10 %).

Por otro lado, en lo que respecta al parámetro de luminosidad (L), observamos que, el tratamiento OC (oleogel con la combinación de los parámetros térmicos y reológicos) muestra una igualdad estadística con los dos tratamientos controles ($p < 0.05$). Los tratamientos OT y OR presentaron valores más bajos de luminosidad, y es importante mencionar que, la única diferencia en la composición con OC, es que OT y OR presentan porcentajes de estructurantes (EC y CC) más altos que OC, en específico el porcentaje de CC.

En lo que respecta a °Hue (ángulo de matiz), ninguno de los tratamientos logró emular el tono de GB ($p > 0.05$). Por un lado, GP, OT y OC presentaron valores significativamente más altos y por el otro OR un valor más bajo ($p < 0.05$). Dado lo anterior, se puede inferir que la concentración de estructurantes, así como el tipo de aceite, tiene un efecto en el color de los geles, que a su vez afectan la coloración del queso. Sin embargo, la coloración amarilla característica en productos lácteos (ej. Mantequillas, quesos enteros) presente en mayor proporción en GB, se explica debido a la composición de la grasa (carotenoides (β - caroteno) y riboflavina); la coloración amarilla en productos lácteos está en función del tipo de grasa y la concentración (Chudy *et al.*, 2020).

La evidencia de reportes de color en sustitución de grasa con oleogeles es limitada, sobre todo en productos lácteos. Por otro lado, en productos cárnicos se han evaluado el color de los productos elaborados, donde se reporta que el cambio en el color de los productos está en relación con el color de los oleogeles, y el nivel de sustitución de grasa que se lleva a cabo (Franco *et al.*, 2019; Puşcaş *et al.*, 2020). De manera evidente no se puede comparar un producto lácteo con un producto cárnico, pero de igual forma que en el presente estudio el parámetro L es el que sufre mayores cambios en el uso de oleogeles, como resultados, obtuvieron niveles más altos de este parámetro en comparación con los controles (Barbut *et al.*, 2016; Kouzounis *et al.*, 2017; Panagiotopoulou *et al.*, 2016).

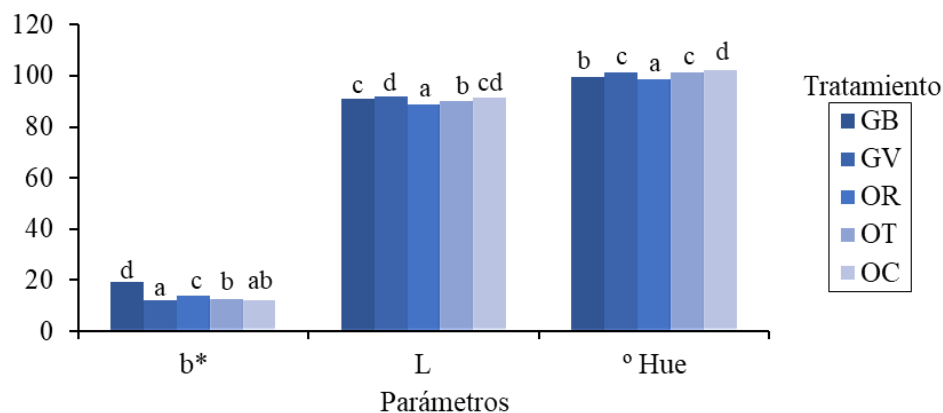


Figura 15. Efecto de la incorporación de oleogeles en los parámetros de color instrumental de queso panela.

Tono amarillo (b*); Luminosidad (L); Ángulo de matiz (°Hue). GB: Grasa Butírica; GP: Grasa de palma; OR: Tratamiento con oleogel optimización reológica; OT: tratamiento con oleogel de optimización térmica; OC: Tratamiento con oleogel optimización combinando de parámetros reológicos y térmicos. (a-d) Diferentes literales dentro de cada parámetro de color (a*, L y ángulo de matiz (° Hue) muestra diferencias significativas ($p < 0.05$)).

6.4.2. Análisis de la Microestructura

Dentro de productos lácteos, los tamaños de glóbulos grasos rondan aproximadamente entre 1 y 3 μm , algunos reportes afirman que cambios en los tamaños de glóbulo graso en diversas estructuras alimentarias, imparte cambios en propiedades sensoriales y estabilidad. En el presente estudio se realizó el análisis cualitativo de la microestructura de los quesos elaborados, para determinar el impacto en la microestructura que provocó la incorporación de los oleogeles. En la Figura 16, se observan las imágenes de la microestructura, que muestran los glóbulos grasos teñidos con Nile Red (color rojo), de los quesos elaborados en el presente estudio. Es posible notar, las diferencias en los tamaños de los glóbulos grasos sobre todo de los tratamientos OT y OR, los cuales presentan glóbulos grasos de mayor tamaño. Los tratamientos OC y OT fueron los tratamientos que se acercaron en mayor medida a los tratamientos controles (GB y GP). Es importante mencionar que OC, fue el tratamiento con menor porcentaje de agentes estructurantes (0.98 % de CC y 4.36 % de EC) y junto a OT tuvieron mejor rendimiento que el tratamiento con OR, que, de forma evidente, es el tratamiento con mayores diferencias a los controles.

Huang y colaboradores (2018) al igual que en presente trabajo, reportan cambios en la microestructura de quesos procesados, al sustituir el 39 % de la grasa butírica, al utilizar un oleogel

de aceite de soja estructurado con cera de salvado de arroz (5 y 10 %). En el estudio se describe los glóbulos grasos de los tratamientos con oleogel como irregulares, con un alto grado de coalescencia, además, reportan que los tratamientos con oleogel presentan el mismo comportamiento en la microestructura, con respecto a un control donde se utilizó el aceite vegetal sin gelificar. Contrario a lo anterior, en los controles de 100 % grasa butírica se visualizaron glóbulos de grasa esféricos y poco aglomerados, que es consistente con estudios previos donde se reportan glóbulos de grasa pequeños y dispersos en muestras de queso con grasa de leche (Auty *et al.*, 2001). El estudio de Cunha y colaboradores (2010) asoció la irregularidad de las partículas lipídicas en queso procesado con aceite vegetal a su contenido, predominante de ácidos grasos de cadena larga.

Así mismo, investigaciones realizadas al respecto, muestran diferencias en los glóbulos de grasa, al utilizar oleogeles formulados con aceite de canola con etilcelulosa y de aceite de soya con cera de salvado de arroz, en productos cárnicos. Cabe mencionar que, si bien en estos estudios no se logra igualar las microestructuras con respecto a los controles de grasa animal, si se obtuvieron glóbulos grasos de mayor tamaño que los obtenidos con aceites sin estructurar (Zetzl *et al.*, 2012; Wolfer *et al.*, 2018).

Contrario al presente estudio, Bemer y colaboradores (2016) no encontraron diferencias en las imágenes de microscopio confocal, donde los glóbulos de grasa entre la muestra control de queso crema con grasa butírica al 100 %, presentaba morfología y distribución similares a los tratamientos con 100 % de oleogel. Dentro del estudio los oleogeles estaban elaborados con aceite de soya alto en oleico, estructurado con etilcelulosa o con cera de salvado de arroz al 10 %. Además, realizaron el análisis de las áreas de los glóbulos presentes dentro de cada tratamiento, donde no se presentaron diferencias significativas en el tamaño de glóbulos grasos entre los tratamientos (control, oleogel de EC y oleogel con cera). En los estudios realizados en oleogeles, los autores concluyen que el estructurar los aceites ayuda a generar estructuras grasas de mayor similitud a la grasa de origen animal, que al utilizar aceites vegetales sin ser estructurados (Zetzl *et al.*, 2012; Wolfer *et al.*, 2018; Huang *et al.*, 2018).

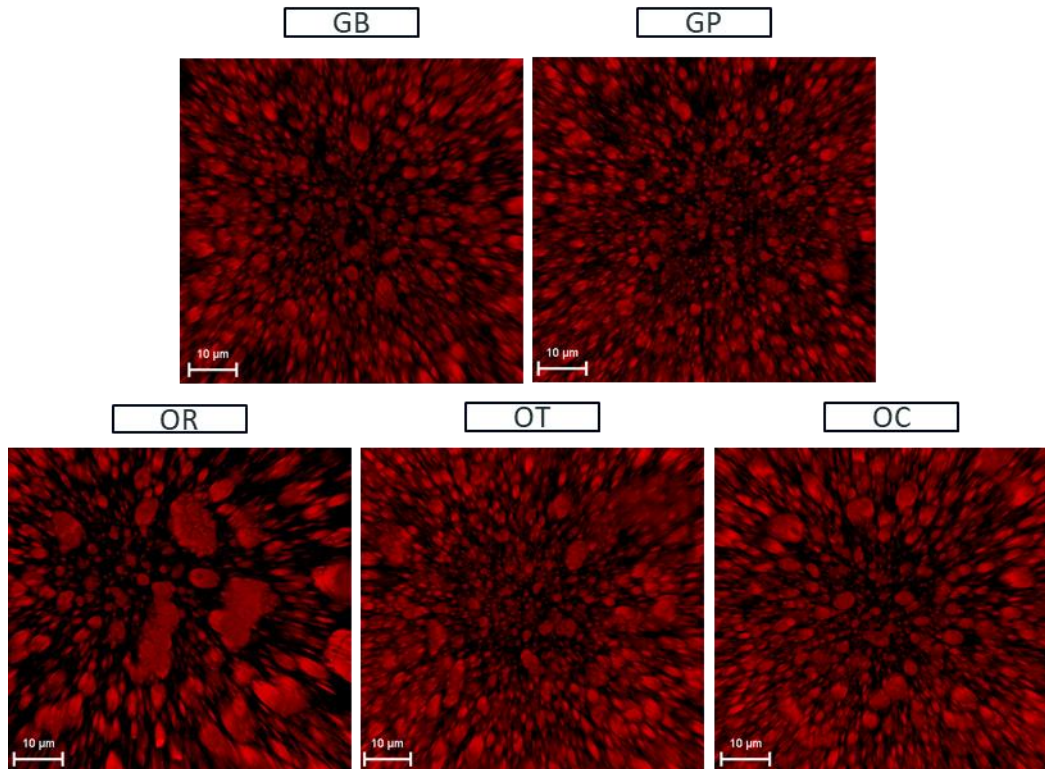


Figura 16. Análisis de la microestructura de los quesos panela.

GB: Grasa butírica; GP: Grasa de palma; OR: Tratamiento con oleogel optimización reológica; OT: tratamiento con oleogel de optimización térmica; OC: Tratamiento con oleogel optimización combinando de parámetros reológicos y térmicos.

6.4.3. Análisis de Parámetro de Textura

Uno de los principales retos de la estructuración de aceites para ser usados como reemplazo de grasas animales, es emular las propiedades de textura que las grasas sólidas proporcionan a los alimentos. En el Cuadro 20, se muestran los efectos de la utilización de los oleogeles de aceite de canola estructurados con EC y CC en los parámetros de perfil de textura de los productos obtenidos. En relación con los tratamientos control, OC se comportó igual a GP en los parámetros de dureza, adhesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad ($p < 0.05$). Es importante mencionar que GP (grasa de palma) es el sustituto de grasa láctea más implementado. Así mismo, el producto con OC logró emular las propiedades de dureza, adhesividad, gomosidad y masticabilidad con respecto a GB ($p < 0.05$). No obstante, presentó una menor elasticidad que GB ($p < 0.05$) y una mayor cohesión que ambos tratamientos control ($p < 0.05$). Por otro lado, el producto con OT no tuvo diferencias

significativas con GB en dureza, adhesividad, elasticidad y masticabilidad ($p>0.05$). Mientras que OR presentó solo en los parámetros de adhesividad, elasticidad, cohesión y masticabilidad, una similitud estadística con GB ($p>0.05$).

En general, los cambios en textura en queso, ya sea con o sin sustitución de la fuente de grasa, han sido asociados de mayor manera con los cambios en la composición y los tamaños de glóbulos grasos (Guinee *et al.*, 2004; Bemer *et al.*, 2016; Huang *et al.*, 2018; Park *et al.*, 2018; Ramel y Marangoni, 2018). Como se pudo observar en el Cuadro 18, en el presente trabajo, OC presentó una diferencia significativa en el contenido de grasa con respecto a GB. Así mismo, fue posible notar que el tamaño de glóbulos de grasa en el producto con el oleogel OR, fueron más grandes que los que se observan en el queso GB (Figura 16).

Cuadro 20. Efecto en los parámetros de textura en la sustitución de grasa en queso tipo panela.

Parámetro	GB	GP	OR	OT	OC
Dureza (Kg·f)	6.90 ^a ± 1.37	6.99 ^a ± 0.26	8.23 ^b ± 1.23	5.92 ^a ± 0.71	6.70 ^a ± 0.77
Adhesividad (J)	-15.27 ^{ab} ± 7.46	-21.31 ^b ± 10.05	-10.6 ^a ± 5.41	-24.53 ^b ± 3.21	-9.60 ^a ± 9.61
Elasticidad	0.75 ^b ± 0.07	0.62 ^a ± 0.04	0.74 ^b ± 0.03	0.62 ^a ± 0.04	0.70 ^b ± 0.02
Cohesión	0.69 ^a ± 0.02	0.73 ^b ± 0.02	0.69 ^a ± 0.02	0.81 ^d ± 0.01	0.77 ^c ± 0.01
Gomosidad(N)	4.79 ^a ± 0.72	5.06 ^{ab} ± 0.26	5.67 ^b ± 0.77	4.78 ^a ± 0.58	5.17 ^b ± 0.69
Masticabilidad(N)	3.51 ^{ab} ± 0.83	3.16 ^a ± 0.24	4.15 ^b ± 0.76	3.00 ^a ± 0.48	3.65 ^{ab} ± 0.57

^{a-c} Medias con diferentes literales asignadas en cada renglón indican diferencias significativas ($p<0.05$). GB: Grasa butírica; GP: Grasa de palma; OR: Tratamiento con oleogel optimización reológica; OT: tratamiento con oleogel de optimización térmica; OC: Tratamiento con oleogel optimización combinando de parámetros reológicos y térmicos.

Como dureza se entiende la fuerza necesaria para lograr una deformación determinada (Bourne, *et al.*, 1978; Guinee, 2002). Los resultados obtenidos en el presente estudio para el parámetro de dureza sobre todo con los tratamientos OC y OT, coinciden con lo reportado por Bemer y colaboradores (2016), al lograr equiparar los valores de dureza con los tratamientos control con el 100 % de grasa butírica al sustituirla completamente con oleogel de aceite de soya alto en oleico estructurado con etilcelulosa o cera de salvado de arroz (10 %) en un queso crema. Esta similitud fue explicada debido a que, en dicho estudio al igual que en el presente trabajo, los tamaños de glóbulos grasos de las muestras control fueron muy similares a los obtenidos en los productos con oleogel. Así mismo, Huang y colaboradores (2018) también consiguieron emular las propiedades de dureza con

un control de queso procesado comercial al sustituir parcialmente (40 %) la grasa láctea con un oleogel estructurado con cera de salvado de arroz (10 %). Por otro parte, una posible explicación de por qué OR presentó una dureza superior a la obtenida por los otros oleogeles, y al queso control y con grasa de palma, puede ser debido a que el oleogel OR fue el que contenía una mayor proporción de estructurantes (principalmente cera de candelilla), en comparación con los otros oleogeles; y por otro lado, a que el tamaño de los glóbulos de grasa de los productos con este oleogel, como se pudo observar en la Figura 16, en general, fueron más grandes que los obtenidos en los otros productos.

En el caso de la adhesividad, la cual expresa, el trabajo necesario para vencer la fuerza de atracción entre la muestra y una superficie (Bourne *et al*, 1978; Guinee, 2002), el único trabajo encontrado en la literatura revisada que reporta la medición de adhesividad en un producto lácteo elaborado con oleogeles es el estudio realizado por Bemer y colaboradores (2016). Estos autores reportaron diferencias significativas muy marcadas en los valores de adhesividad, con respecto a los controles comerciales con grasa butírica, para los tratamientos donde se implementaron oleogeles con etilcelulosa; no obstante, en los quesos en los que se utilizaron oleogeles estructurados con cera de salvado de arroz, si se logró emular esta propiedad de textura (adhesividad). Los autores atribuyeron las diferencias al tipo de agente estructurante implementado, es decir, utilizar oleogeles estructurados con cera de salvado de arroz ayuda a mantener la adhesividad del producto reformulado similar al control. En base a lo anterior, seguramente en el presente estudio, tampoco se encontraron diferencias significativas en adhesividad, dado que todos los oleogeles que se elaboraron contenían etilcelulosa.

Con respecto a la elasticidad, que representa la capacidad de una muestra para recuperar su longitud inicial o forma, posterior (deformación) a una fuerza implementada en ella, en el estudio de Ramel y Marangoni (2018) describen que, el reemplazo de grasa butírica o grasa de leche anhidra con oleogeles genera una mayor elasticidad en quesos procesados. Este resultado discrepa del presente estudio de forma parcial, dado que los tratamientos con OT y OR presentan similitud al tratamiento control GB. Las propiedades elásticas que presentan los tratamientos, así como las de cohesión (relación de la fuerza de enlaces internos), no permiten concluir al igual que los autores, ya que explican que las partículas grasas interfieren en la matriz proteica, al provocar discontinuidades en los enlaces de la red de proteína, dando como resultado cambios en la elasticidad (quesos menos elásticos).

La masticabilidad y gomosidad, no se encontraron dentro de los reportes de perfil de textura en trabajos relacionados a oleogel en productos lácteos. Por un lado, se ha reportado que la masticabilidad de un alimento presenta una correlación negativa con el contenido de humedad, lo cual coincide con lo encontrado en el presente trabajo, ya que al no presentarse cambios en humedad (Cuadro 18), tampoco se presentaron cambios en el parámetro de masticabilidad de los productos obtenidos (Cuadro 20) (Bourne *et al*, 1978; Guinee, 2002; Guerra-Martínez *et al.*, 2012).

6.4.4. Estudio de Aceptabilidad Sensorial

Para determinar la viabilidad de un producto es necesario llevar a cabo un análisis de la calidad sensorial de los productos reformulados. Por ello, en la presente investigación se evaluó la aceptabilidad de los productos elaborados con los diferentes oleogel preparados, y compararla con la aceptabilidad de los productos controles (GB y GP). Dentro de la prueba, se indicó a los panelistas (no entrenados), que señalaran el nivel de agrado, para cada uno de los 5 tratamientos (me desagrada extremadamente (0) a me agrada extremadamente (15)) (Anexo 4). En la Figura 17, se presenta el gráfico de estrella donde se muestran los parámetros que se evaluaron (Luz roja: Olor, sabor, textura y sensación grasa; Luz blanca: color y apariencia general). Es importante precisar que, para este análisis sensorial no se incluyó el tratamiento OR, dado que si bien logró tener algunas similitudes en los parámetros de textura (adhesividad, elasticidad, cohesión y masticabilidad) y mejora en el perfil lipídico, en conjunto con el equipo encargado de planta piloto, se determinó que el tratamiento OR no contaba con los parámetro de calidad de calidad sensorial, dada la alta percepción de sabor a cera.

Dentro de los parámetros que se evaluaron bajo luz roja, se puede observar, primeramente, que los parámetros, sensación grasa y olor no presentan diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos ($p > 0.05$). Para sensación grasa se presentaron puntajes promedios de 9.97, que corresponden a un nivel de aceptabilidad de me gusta. Por otro lado, de igual forma dentro de la evaluación bajo luz roja, los parámetros de textura y sabor, los panelistas calificaron con un nivel de agrado más alto a los productos elaborados con los tratamientos OT, OC y GB (10.30 y 10.92 puntaje promedio para sabor y textura y que corresponden a los niveles de aceptabilidad entre me

gusta y me gusta mucho) ($p < 0.05$), en comparación con GP. Del mismo modo, en sabor y textura, los tratamientos OR y GP obtuvieron calificaciones menores en el nivel de agrado significativamente más bajos ($p < 0.05$) en estos parámetros (puntaje promedio de 6.90 para sabor y 8.73 para textura que corresponden a un nivel de aceptabilidad de ni me gusta, ni me disgusta y me gusta a me gusta mucho respectivamente). Resulta conveniente correlacionar los resultados del análisis sensorial de textura general, con relación a las variaciones que se presentaron en la prueba instrumental. Por ejemplo, OT y OC fueron similares a GB en la mayoría de los parámetros de textura instrumental (con excepción de cohesión) lo cual coincide en que fueron los tratamientos que presentaron el mismo nivel de aceptabilidad de textura general.

En el caso del análisis bajo luz blanca que corresponde a los parámetros de apariencia general y color, los resultados son muy similares, donde los tratamientos OT y OC, no presentan diferencias entre sí (apariencia general 11.57 y color 11.71 que corresponden a un nivel de aceptabilidad de me gusta a me gusta mucho) ($p < 0.05$). Algo realmente destacado, fue que los panelistas evaluaron con un score significativamente más alto (mayor agrado) a los productos con oleogel, en comparación con el queso control con grasa butírica (GB) (Apariencia general 9.40 y color 9.18, valores que corresponden a un nivel de aceptabilidad entre ni me gusta, ni me disgusta y me gusta). Estos mismos parámetros sensoriales, para el producto testigo con grasa de palma (GP), fue evaluado con puntajes más bajos que los productos con oleogel, pero más altos que para GB, sin llegar a ser diferente a ambos grupos (apariencia general 10.16 y color 10.82, que corresponden a una aceptabilidad entre me gusta y me gusta mucho) ($p > 0.05$). Este comportamiento, de alguna manera inesperado en cuanto a la no preferencia de los panelistas por el queso control (GB), podría ser atribuido a que los consumidores actuales están más familiarizados con los quesos comerciales que tiene un color más blancos, y por ende tienden a preferirlos en mayor medida que a quesos con tonos más cremosos o con tonos amarillos que les confiere la grasa butírica.

Esto, puede ser corroborado con el análisis instrumental de color (Figura 15), en donde se observó que el valor b^* (tonos amarillos) fue significativamente más alto en el queso GB, en comparación con los otros tratamientos; así mismo, su luminosidad y ángulo de matiz fueron más bajos. Estas diferencias instrumentales fueron percibidas por los panelistas y no les parecieron tan agradables, en comparación con los demás tratamientos con grasa de palma (GP, OT y OC).

Dentro de la bibliografía consultada, solo se encontró un estudio en el que se evalúa el efecto de la sustitución de grasa butírica con un oleogel, el cual fue realizado por Bemer y colaboradores (2016)

en queso crema para sustituir el 100 % de la grasa láctea con un oleogel de aceite de soya estructurado con cera de salvado de arroz (10 %). En dicho estudio se evaluaron los parámetros de dureza, sabor, sensación en la boca, dulzura, amargor y untabilidad, y no se presentaron diferencias entre el control y el producto reformulado en los parámetros de dureza, untabilidad, sensación en la boca y dulzura ($p > 0.05$); sin embargo, sí encontraron diferencias en el amargor y sabor ($p < 0.05$). En contraste, en el presente trabajo los tratamientos con oleogel OC y OT se percibieron similares en sabor al control con 100 % de grasa láctea. Así mismo, en el presente estudio, los panelistas calificaron la textura de los productos con oleogel como más aceptable en comparación con el control con grasa butírica.

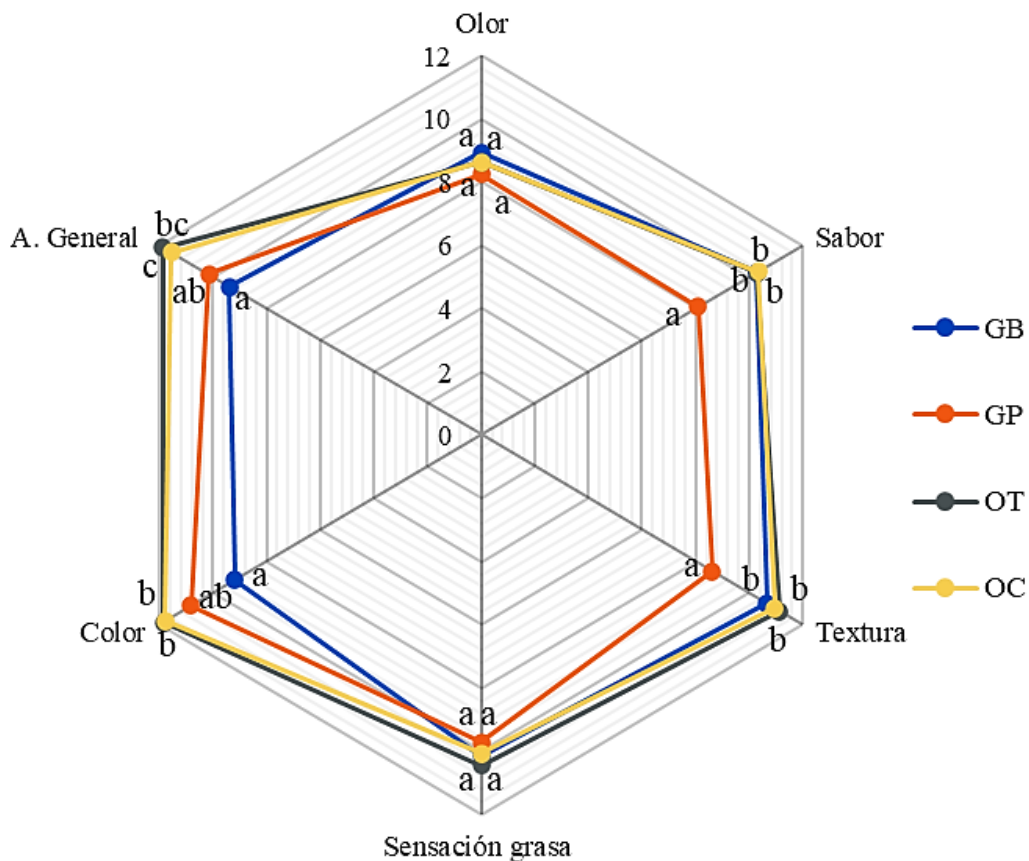


Figura 17. Efecto de la incorporación de oleogeles de aceite de canola en la aceptabilidad de los parámetros sensoriales de los productos imitación queso panela.

(^{a-c}) Diferencias significativas entre los tratamientos se señala con diferentes literales, dentro de cada eje radial ($p \leq 0.05$). GB: Grasa butírica; GP: Grasa de palma; OT: tratamiento con oleogel de optimización térmica; OC: Tratamiento con oleogel optimización combinando de parámetros reológicos y térmicos.

Por lo anterior y lo reportado por otros trabajos relacionados, es importante mencionar que las principales diferencias que se observan en el reemplazo o reducción de grasa en quesos y productos lácteos, así como otros productos confitados y productos cárnicos, están relacionadas a parámetros sensoriales y textura (Drake *et al.*, 1996; Patel, 2020; Puşcaş *et al.*, 2020).

7. CONCLUSIONES

Que un oleogel emule las propiedades reológicas y térmicas de la grasa butírica, es una meta muy difícil de alcanzar, dadas las muy particulares características de fusión y cristalización que posee este tipo de grasa. No obstante, al combinar en diferentes concentraciones los estructurantes cera de candelilla y etilcelulosa, se logró obtener la formulación de 3 oleogeles que optimizaron con una alta deseabilidad de 0.92, y 0.95 los parámetros reológicos y térmicos (OR y OT), respectivamente y una deseabilidad moderada de 0.6 la combinación de los dos tipos de parámetros (OC).

Cabe señalar que si bien se presentaron diferencias en los parámetros reológicos y térmicos, que ocasionaron dificultades al momento de su incorporación, (sobre todo tratamiento OR), no fue limitativo llevar a cabo la experimentación con los tres tratamientos con los OG.

La incorporación de estos oleogeles reemplazando 50 % la grasa butírica en la elaboración de queso panela logró una mejora en el perfil lipídico, al reducir en un 45 % los ácidos grasos saturados, así como, un aumento del 27% y 3 veces de los ácidos grasos mono y poliinsaturados, respectivamente. Dentro de los parámetros químicos los tres tratamientos con oleogel no presentaron diferencias, es decir usar cualquiera de las tres formulaciones optimizadas de oleogel solo generó disminución en el contenido de grasa. Por otro lado, en el caso del análisis físico, es importante resaltar que si bien, se presentaron algunas diferencias en la microestructura, en color, y en algunos de los parámetros de textura instrumental, la mayoría de éstas no fueron significativas al comparar los controles de queso con grasa butírica y con grasa de palma con el producto elaborado con el oleogel OC. Aún más, el panel consumidor percibió estas diferencias calificando a los productos reformulados con los oleogeles OT y OC como más aceptables en cuanto a color y aceptabilidad general en comparación con ambas muestras control y con una aceptabilidad similar al queso control (grasa butírica) en cuanto a sabor y textura. De forma contraria, el tratamiento OR, presentó cambios evidentes con respecto a los demás tratamientos (GB, GP, OT y OC) en color, en la microestructura con glóbulos grasos de mayor tamaño y mayor dureza. Lo anterior se atribuye a la alta concentración de CC en el oleogel, que además tuvo gran impacto en los atributos sensoriales, ya que obtuvo un score de aceptabilidad de sabor bajo, posiblemente influenciado por la cera.

Es importante mencionar que, el utilizar altas concentraciones de cera de candelilla, puede tener complicaciones al momento de implementar un proceso para la incorporación de oleogeles estructurados en la elaboración de queso, donde se ve comprometida la operaciones de estandarización y el rendimiento, por la no estabilidad y homogeneidad en la microestructura; que derivaría en un producto no apto para la comercialización por no cumplir con el estándar de producto.

Las mejoras nutricionales y las similitudes físicas permiten recomendar el uso de oleogeles de aceite de canola estructurado con cera de candelilla y etilcelulosa a bajas concentraciones, para sustituir la grasa láctea añadida en la elaboración de productos imitación queso panela y así poder generar productos con un perfil lipídico más nutritivo, sin demeritar las características de aceptabilidad que tienen estos productos a nivel consumidor.

8. RECOMENDACIONES

- 1). Teniendo como premisa que el tratamiento OC presentó los mejores resultados, es importante mencionar que la disminución significativa en el contenido de grasa del producto que se obtuvo al incorporar OC, puede impactar el rendimiento, principalmente cuando se visualiza desde una escala industrial. Por lo que se recomienda realizar una validación de la factibilidad del proceso de elaboración de los productos reformulados, con la finalidad de confirmar los rendimientos de proceso y evaluar las posibles modificaciones que se requieran en las condiciones de procesamiento para lograr mejorar o igualar a los rendimientos que se obtienen con el queso control. Además, es conveniente realizar un estudio de costos, es decir que cambios son necesarios realizar en una línea de producción, así como, obtención y costo de las materias primas para elaborar los oleogeles. Lo anterior refiere a que la sustitución de un componente, en este caso la grasa, con una etapa extra en el proceso es poco factible si esto incurre a un mayor costo, mayor tiempo, dado que generalmente se buscan estrategias para simplificar o agilizar los procesos.
- 2). Antes de proponer la comercialización de este tipo de productos, es necesario que se haga un estudio de cómo impacta la incorporación de este tipo de oleogeles en la vida de anaquel de los productos (Estudio de la estabilidad oxidativa y de la estructura de los quesos). Así mismo, realizar una prueba sensorial de consumidor a mayor escala.
- 3). Dado que el queso panela es un producto de alto consumo, sería conveniente evaluar otras estrategias para disminuir aún más el contenido de grasa saturada, como, por ejemplo, utilizar leche descremada en combinación con la implementación de oleogeles. De tal manera, que se obtenga un producto que no requiera la colocación de sellos de advertencia de “exceso de grasa saturada” lo anterior basado en la norma mexicana NOM-051-SCFI/SSA1. Tanto la NOM 051 como la norma NOM-243-SSA1-2010, dictarán la denominación de análogos o imitación a los quesos donde se implementen los oleogeles como sustitutos de grasa. Esta denominación puede tener gran impacto al momento de comercializar el producto elaborado con un oleogel y sería adecuado realizar un estudio de mercado, para evaluar la respuesta en el público o mercado al cual estará dirigido.

9. REFERENCIAS

- Alday-Palafox, F. J. (2019). Efecto de un Organogel de aceite de oliva como sustituto parcial de grasa animal en la calidad y estabilidad de salchichas de cerdo. (Tesis de pregrado). Universidad de Sonora, Hermosillo.
- Akoh C. C. and Min D. B. 2002. Chemistry, Nutrition and Biotechnology. En: Akoh C. C. and Min. D. B (Second Edition). Food Lipids. Marcel Dekker, Inc, New York.
- American Oil Chemists Society A.O.C.S. Method AOCS Cb-16.93. <https://myaccount.aocs.org/personifyebusiness/Store/Product-Details/productid/111528>
- Association of Official Analytical Chemists A.O.A.C. Method A.O.A.C. 996.06. 2000. Fat (total, saturated, and unsaturated) in foods. In Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th edition. Champaign 2000. 20-24.
- AOAC (2000). Official Methods of Analysis (16th ed.). Washington, DC, USA: Association of Official Analytical Chemist.
- Auty, M., Twomey, M., Guinee, T., and Mulvihill, D. 2001. Development and application of confocal scanning laser microscopy methods for studying the distribution of fat and protein in selected dairy products. *Journal of dairy research*. 68(3): 417-427.
- Bachmann H.P. 2001. Cheese analogues: a review. *International Dairy Journal*. 11(4-7): 505–515.
- Barbut S., Wood J. and Marangoni A. 2016. Quality effects of using organogels in breakfast sausage. *Meat Science*. 122: 84-89.
- Bemer, H. L., Limbaugh, M., Cramer, E. D., Harper, W. J., and Maleky, F. 2016. Vegetable organogels incorporation in cream cheese products. *Food research international*. 85: 67-75.
- Bhardwaj, A., Truong, Q. A., Peacock, W. F., Yeo, K. T. J., Storrow, A., Thomas, S., and Januzzi Jr, J. L. 2011. A multicenter comparison of established and emerging cardiac biomarkers for the diagnostic evaluation of chest pain in the emergency department. *American heart journal*. 162(2): 276-282.
- Blake A. I., Toro-Vazquez J. F. y Hwang H.-S. 2018.: Wax Oleogels. En: Marangoni, A. G., and Garti, N (Second edition). *Edible Oleogels: Structure and Health Implications*. Academic Press, United States. 133–171.
- Bligh, E. G., & Dyer, W. J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian journal of biochemistry and physiology*. 37(8): 911-917.
- Boskou D., Blekas G. and Tsimidou M. 2006. Olive oil composition. Boskou, D. *Olive Oil: Olive oil composition*. AOCS Press, United States. 41- 64.
- Bourne, M. C., Kenney, J. F. and Bernard, J. 1978. Texture Profile Analysis. *Journal of texture studies*. 9(4): 481–494.
- Chlebowski R. T., Rapp S., Aragaki A. K., Pan K., Neuhouser M. L., Snetselaar L. G., Manson J. E., Wactawski-Wende J., Johnson K. C., Hayden K., Baker L. D., Henderson V. W., Garcia L., Qi L. and Prentice R. L. 2020. Low-fat dietary pattern and global cognitive function:

- Exploratory analyses of the Women's Health Initiative (WHI) randomized Dietary Modification trial. *EClinical medicine*. 18. 100240.
- Chudy, S., Bilska, A., Kowalski, R., and Teichert, J. 2020. Colour of milk and milk products in CIE Lab space. *Medycyna weterynaryjna*. 76(2): 77–81.
- Co E. D. y Marangoni A. G. 2018. Organogels: An Introduction. En Marangoni, A. G., and Garti, N (Second edition). *Edible Oleogels: Structure and Health Implications*. Academic Press, United States. 1–22.
- Co E. D. y Marangoni A. G. 2012. Organogels: an alternative edible oil-structuring method. *Journal of the american oil chemists society*. 89: 749-780.
- Herrera, M. C., y León, S. V., Tolentino, R. G., Fernández, B. G., and González, G. D. 2006. Los ácidos grasos omega-3 y omega-6: nutrición, bioquímica y salud. *Revista de educación bioquímica*. 25(3): 72-79.
- Cunha C. R., Dias A. I. and Viotto W. H. 2010. Microstructure, texture, colour and sensory evaluation of a spreadable processed cheese analogue made with vegetable fat. *Food research international*. 43(3): 723–729.
- Davidovich-Pinhas M., Barbut S. and Marangoni A. G. 2015. Development, Characterization, and Utilization of Food-Grade Polymer Oleogels. *Annual review of food science and technology*. 7(1): 65–91.
- Drake, M. A., Boylston, T. D., and Swanson, B. G. 1996. Fat mimetics in low-fat cheddar cheese. *Journal of food science*. 61(6): 1267–1271.
- Dyerberg, J., Eskesen, D. C., Andersen, P. W., Astrup, A., Buemann, B., Christensen, J. H. and Clausen, P. 2004. Effects of trans- and n-3 unsaturated fatty acids on cardiovascular risk markers in healthy males: An 8-week dietary intervention study. *European journal of clinical nutrition*. 58: 1062–1070.
- Eskin, M. N. A., Aladedunye, F., Unger, E. H., Shah, S., Chen, G., and Jones, P. J. (2020). Canola Oil. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. 1–63.
- Feiner, G. (2006). *Meat products Handbook*. CRC Press. First Ed. Boca Raton. 29 pp.
- Ferrão, L.L., Silva, E.B., Silva H.L.A, Silva, R., Mollakhalili N., Granato D., Freitas M.Q., Silva M.C., Raices R.S.L., Padilha M.C, Zacarchenco P.B., Barbosa M.I.M.J, Mortazavian A.M., and Cruz A.G. 2016. Strategies to develop healthier processed cheeses: Reduction of sodium and fat contents and use of prebiotics. *Food research international*. 86: 93-102.
- Ferreira-Chaves, K., Barrera-Arellano, D. and Ribeiro, A. P. B. 2018. Potential application of lipid organogels for food industry. *Food research international*. 105: 863–872.
- Franco, D., Martins, A. J., López-Pedrouso, M., Purriños, L., Cerqueira, M. A., Vicente, A. A., and Lorenzo, J. M. 2019. Strategy towards replacing pork backfat with a linseed oleogel in frankfurter sausages and its evaluation on physicochemical, nutritional, and sensory characteristics. *Foods*. 8(9): 366.
- Fredrick, E., Foubert, I., Van De Sype, J., and Dewettinck, K. 2008. Influence of Monoglycerides on the Crystallization Behavior of Palm Oil. *Crystal growth & design*. 8(6): 1833–1839.
- Fu, H., Lo, Y. M., Yan, M., Li, P., & Cao, Y. 2020. Characterization of thermo-oxidative behavior

of ethylcellulose oleogels. *Food chemistry*. 305(1): 125470.

- Gravelle, A. J., Barbut, S. and Marangoni, A. G. 2012. Ethyl cellulose oleogels: Manufacturing considerations and effects of oil oxidation. *Food research international*. 48: 578–583.
- Gravelle, A. J., Marangoni, A. G., and Davidovich-Pinhas, M. 2018 (Second edition). *Ethylcellulose Oleogels*. En: Marangoni A. G and Garti N. *Edible Oleogels*. AOCS Press. 331-358.
- Guerra-Martínez, J. A., Montejano, J. G., and Martín-Del-Campo, S. T. 2012. Evaluation of proteolytic and physicochemical changes during storage of fresh Panela cheese from Queretaro, Mexico, and its impact in texture. *CYTA - Journal of food*. 10(4): 296–305.
- Gu, Y., and Yin, J. 2020. Saturated fatty acids promote cholesterol biosynthesis: Effects and mechanisms. *Obesity Medicine*. 18: 100201.
- Guinee, T. P. 2002. The functionality of cheese as an ingredient: a review. *Australian journal of dairy technology*. 57(2): 79–91.
- Guinee, T. P., Carić, M., and Kaláb, M. 2004. Pasteurized processed cheese and substitute/imitation cheese products. In *cheese: chemistry, physics and microbiology*. 2: 349-394.
- Gutiérrez-Méndez, N. N., Trancoso-Reyes, N., and Leal-Ramos, M. Y. 2013. Texture profile analysis of Fresh cheese and Chihuahua cheese using miniature cheese models. *Tecnociencia Chihuahua*. 7(2): 65–74.
- Henderson, J., and Osborne, D. J. 2000. The oil palm in all our lives: how this came about. *Endeavour*. 24(2): 63–68.
- Huang, H., Hallinan, R., & Maleky, F. 2018. Comparison of different oleogels in processed cheese products formulation. *International Journal of Food Science and Technology*. 53(11): 2525–2534.
- Hughes, N. E., Marangoni, A. G., Wright, A. J., Rogers, M. A., and Rush, J. W. 2009. Potential food applications of edible oil organogels. *Trends in food science & technology*. 20(10): 470-480.
- Hwang, C. H., and Gunasekaran, S. 2001. Measuring crumbliness of some commercial Queso Fresco-type Latin American cheeses. *Milchwissenschaft*. 56(8): 446-450.
- Jang, A., Bae, W., Hwang, H. S., Lee, H. G., and Lee, S. 2015. Evaluation of canola oil oleogels with candelilla wax as an alternative to shortening in baked goods. *Food Chemistry*. 187: 525–529.
- Jimenez-Colmenero, F. 2007. Healthier lipid formulation approaches in meat-based functional foods. Technological options for replacement of meat fats by non-meat fats. *Trends in food science & technology*. 18: 567- 578.
- Jimenez-Colmenero, F., Salcedo-Sandoval, L., Bou, R., Cofrades, S., Herrero, A. M., and Ruiz-Capillas, C. 2015. Novel applications of oil-structuring methods as a strategy to improve the fat content of meat products. *Trends in food science & technology*. 44(2): 177–188.
- Kapoor, R., and Metzger, L. E. 2008. Process Cheese: Scientific and Technological Aspects—A Review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*. 7(2): 194–214.

- Khanal, B.K.S., Bhandari, B., Prakash, S., Liu, D., Zhou, P., and Bansal, N. 2018. Modifying textural and microstructural properties of low-fat Cheddar cheese using sodium alginate. *Food hydrocolloids*. 83: 97-108.
- Khatun, R., Reza, M. I. H., Moniruzzaman, M., and Yaakob, Z. 2017. Sustainable oil palm industry: The possibilities. *Renewable and sustainable energy reviews*. 76: 608–619.
- Kleyn, D. H., Lynch, J. M., Barbano, D. M., Bloom, M. J., Mitchell, M. W. and Collaborators: Cooper, L.S., Cusak, E., Fick, M., Hanks, T., Heslen, M.K., Johnson, J., Kleyn, D.H., Mercer, F., Monahan, D., Peat, B., Petit, M. 2001. Determination of fat in raw and processed milks by the Gerber method: collaborative study. *Journal of AOAC international*. 84(5): 1499-1508.
- Knothe, G., and Dunn, R. O. 2009. A Comprehensive Evaluation of the Melting Points of Fatty Acids and Esters Determined by Differential Scanning Calorimetry. *Journal of the American oil chemists' society*. 86(9): 843–856.
- Kouzounis, D., Lazaridou, A., and Katsanidis, E. 2017. Partial replacement of animal fat by oleogels structured with monoglycerides and phytosterols in frankfurter sausages. *Meat science*. 130: 38–46.
- Kris-Etherton, P. M. 1999. Nutrition Committee, Monounsaturated fatty acids and risk of cardiovascular disease, *Circulation*. AHA Science Advisory. American heart association. 100 (11): 1253–1258.
- Laurance, W. F., Koh, L. P., Butler, R., Sodhi, N. S., Bradshaw, C. J. A., Neidel, J. D., Consunji, H., and Mateo Vega, J. 2010. Improving the Performance of the Roundtable on Sustainable Palm Oil for Nature Conservation. *Conservation biology*. 24(2): 377–381.
- Lázaro Soares Viriato, R., de Souza Queirós, M., Gomes da Silva, M., Pavie Cardoso, L., Paula Badan Ribeiro, A., and Lúcia Gigante, M. 2020. Milk fat crystal network as a strategy for delivering vegetable oils high in omega-9, -6, and -3 fatty acids. *Food research international*. 128: 108780.
- Lim, J., Hwang, H. S., and Lee, S. 2017. Oil-structuring characterization of natural waxes in canola oil oleogels: rheological, thermal, and oxidative properties. *Applied biological chemistry*. 60(1): 17–22.
- Liu, A. G., Ford, N. A., Hu, F. B., Zelman, K. M., Mozaffarian, D., and Kris-Etherton, P. M. 2017. A healthy approach to dietary fats: Understanding the science and taking action to reduce consumer confusion. *Nutrition journal*. 16(1): 1–15.
- Lopez, C., Lesieur, P., Bourgaux, C., and Ollivon, M. 2005. Thermal and structural behavior of anhydrous milk fat. 3. Influence of cooling rate. *Journal of dairy science*. 88(2): 511–526.
- Marchesseau, S., Gastaldi, E., Lagaude, A., and Cuq, J. L. 1997. Influence of pH on Protein Interactions and Microstructure of Process Cheese. *Journal of dairy science*. 80(8): 1483–1489.
- Mallia, V. A., Butler, P. D., Sarkar, B., Holman, K. T., and Weiss, R. G. 2011. Reversible Phase Transitions within Self-Assembled Fibrillar Networks of (R)-18-(n-Alkylamino) octadecan-7-ols in Their Carbon Tetrachloride Gels. *Journal of the American chemical society*. 133(38): 15045-15054.

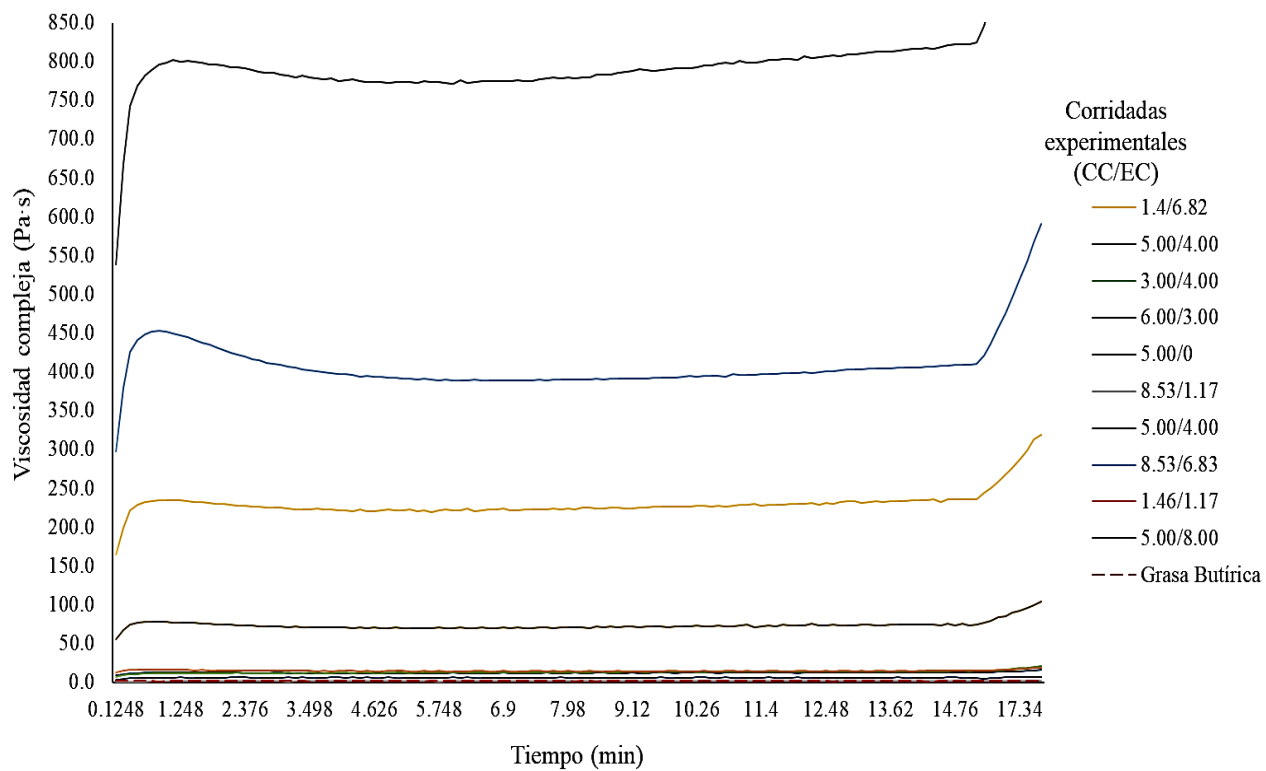
- Masotti, F., Cattaneo, S., Stuknytèn, M., and De Noni, I. 2018. Status and developments in analogue cheese formulations and functionalities. *Trends in food science & technology*. 47: 158-169.
- Marangoni, A. G. And Garti, N. 2011. An overview of the past, present and future of organogels: Edible oleogels. Elsevier Inc. Segunda Ed. Londres. 352: 1-17.
- Martins, A. J., Vicente, A. A., Pastrana, L. M., and Cerqueira, M. A. 2020. Oleogels for development of health-promoting food products. *Food science and human wellness*. 9 (1): 31-39.
- Mba, O. I., Dumont, M.-J., and Ngadi, M. 2015. Palm oil: Processing, characterization and utilization in the food industry – A review. *Food bioscience*. 10: 26–41.
- McLellan, M. R., Lind, L. R. and Kime, R. W. 1995. Hue angle determinations and statistical analysis for multiquadrant Hunter L, a, b data. *Journal of food quality*. 18(3): 235-240.
- Mezger, T. G. 2006. *The Rheology Handbook*. Vincentz Network Publishing House. Second edition. Hannover. 528 pp.
- Moriano, M. E., and Alamprese, C. 2017. Organogels as novel ingredients for low saturated fat ice creams. *LWT - Food science and technology*. 86: 371-376.
- Guerra-Martínez, J. A., Montejano, J. G., and Martín-del-Campo, S. T. 2012. Evaluation of proteolytic and physicochemical changes during storage of fresh Panela cheese from Queretaro, Mexico and its impact in texture. *CyTA-Journal of food*. 10(4): 296-305.
- Narine, S. S., and Marangoni, A. G. 1999. Microscopic and rheological studies of fat crystal networks. *Journal of crystal growth*. 198: 1315–1319.
- Norma mexicana NMX-F-475-SCFI. (2017). ALIMENTOS – Aceite comestible puro de canola – ESPECIFICACIONES. http://sitios1.dif.gob.mx/alimentacion/docs/NMX-F-475-SCFI-2017_canola.pdf
- Norma Oficial Mexicana NOM- 051- SCFI/SSA1. (2010). Especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados- información comercial y sanitaria. https://www.dof.gob.mx/2020/SEECO/NOM_051.pdf
- Norma Oficial Mexicana NOM-223-SCFI/SAGARPA. (2018). Queso- Denominación, especificaciones, información comercial y métodos de prueba. <http://sidof.segob.gob.mx/notas/5549319>
- O'Brien, R. D. (2008). *Oils and fats: Formulating and processing for applications*. CRC Press (Third edition). New York. 680 pp.
- Ospina E., Sierra C., Ochoa O, Perez- Alvarez J. and Fernandez-Lopez J. 2012. Substitution of saturated fat in processed meat products: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*. 52: 113–22.
- Okuro, P. K., Martins, A. J., Vicente, A. A., and Cunha, R. L. 2020. Perspective on oleogelator mixtures, structure design and behaviour towards digestibility of oleogels. *Current opinion in food science*. 35: 27-35.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2013). Global initiative on diet, physical activity and health. World health Organization. <https://www.who.int/topics/diet/es/>

- Panagiotopoulou, E., Moschakis, T., and Katsanidis, E. 2016. Sunflower oil organogels and organogel-in-water emulsions (part II): Implementation in frankfurter sausages. *LWT - Food science and technology*. 73: 351–356.
- Park, C., Bemer, H. L., and Maleky, F. 2018. Oxidative stability of rice bran wax oleogels and an oleogel cream cheese product. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 95(10): 1267-1275.
- Patel, A. R. 2020. Oil Structuring in Dairy Fat Products. En: Truong, T., Lopez, C., Bhandari, B. and Prakash, S. (First Edition). *Dairy Fat Products and Functionality*. Springer Nature, Switzerland. 307-325.
- Patel, A. R., Cludts, N., Sintang, M. D. B., Lesaffer, A. and Dewettinck, K. 2014. Edible oleogels based on water soluble food polymers: preparation, characterization and potential application. *Food & function*. 5: 2833-2841.
- Pedersen, J. I., and Kirkhus, B. 2011. Health aspects of saturated fatty acids. In *Reducing Saturated Fats in Foods*. Woodhead Publishing Limited.
- Peng, B., Yao, Z., Wang, X., Crombeen, M., Sweeney, D. G. and Tam, K. C. 2020. Cellulose-based Materials in wastewater treatment of petroleum industry. *Green energy & environment*. 4 (1): 37-49.
- Pernetti, M., Vanmalssen, K., Kalnin, D. and Floter, E. 2007. Structuring edible oil with lecithin and sorbitan tri-stearate. *Food hydrocolloids*. 21(5–6): 855–861.
- PROFECO. (2017). Quesos panela. *Revista Del Consumidor: Procuraduría del consumidor*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/227531/Laboratorio_Profeco_Reporta_Queso_Panela_EdC_RdC_junio_2017_20170531.pdf
- Puşcaş, A., Mureşan, V., Socaciu, C., and Sevastiţa Muste, S. 2020. Oleogels in food: A Review of Current and potential applications. *Foods*. 9 (1): 70.
- Ramel, P. R., and Marangoni, A. G. 2017. Characterization of the polymorphism of milk fat within processed cheese products. *Food structure*. 12: 15-25.
- Ramel, P. R., and Marangoni, A. G. 2018. Processed cheese as a polymer matrix composite: A particle toolkit for the replacement of milk fat with canola oil in processed cheese. *Food research international*. 107: 110–118.
- Ramel, P. R. R., Peyronel, F., and Marangoni, A. G. 2016. Characterization of the nanoscale structure of milk. *Food chemistry*. 203: 224- 230.
- Rekhi, G. S., and Jambhekar, S. S. 1995. Ethylcellulose - A Polymer Review. *Drug development and industrial pharmacy*. 21(1): 61–77.
- Rocha, J. C. B., Lopes, J. D., Mascarenhas, M. C. N., Arellano, D. B., Guerreiro, L. M. R., and da Cunha, R. L. 2013. Thermal and rheological properties of organogels formed by sugarcane or candelilla wax in soybean oil. *Food research international*. 50(1): 318–323.
- Rogers, M. A. 2009. Novel structuring strategies for unsaturated fats – Meeting the zero-trans, zero-saturated fat challenge: A review. *Food research international*. 42(7): 747–753.
- Sánchez-Becerril, M., Marangoni, A. G., Perea-Flores, M. J., Cayetano-Castro, N., Martínez-Gutiérrez, H., Andraca-Adame, J. A., and Pérez-Martínez, J. D. 2018. Characterization of

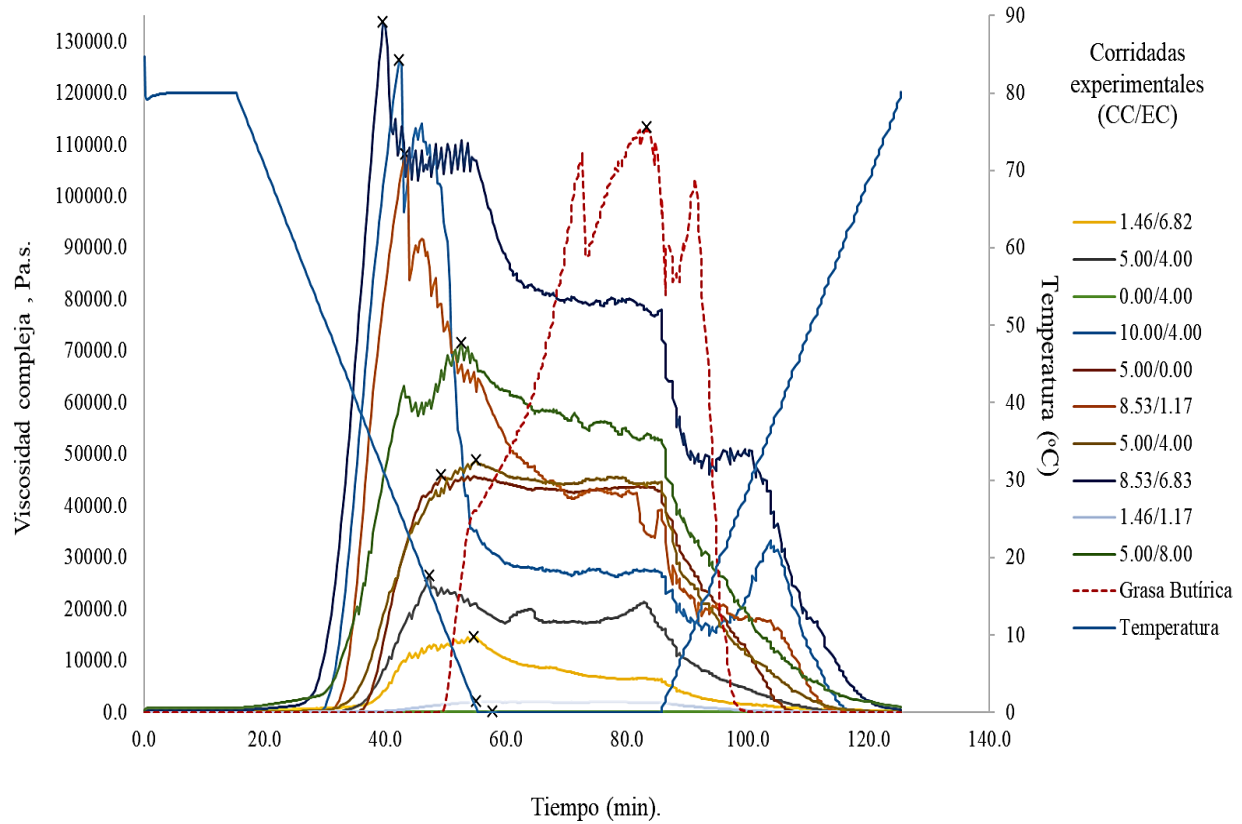
- the micro and nanostructure of the candelilla wax organogels crystal networks. *Food structure*. 16: 1–7.
- Sanderson, K. and Nichols, D. 2002. *The Nomenclature, Structure, and Properties of Food Lipids*. En: Sikorski, Z. E. and Kolakowska, A (First Edition). *Chemical and functional properties of food lipids*. CRC Press, Boca Raton. 30-58.
- Singh, A., Auzanneau, F. I. and Rogers, M. A. 2017. Advances in edible oleogel technologies- Adecade in review. *Food research international*. 97: 307-317.
- Stortz, T. A., Zetzl, A. K., Barbut, S., Cattaruzza, A. and Marangoni, A. G. 2012. Edible oleogels in food products to help maximize health benefits and improve nutritional profiles. *Lipid technology*. 24(7): 151–154.
- Toro-Vazquez, J. F., Morales-Rueda, J. A., Dibildox-Alvarado, E., Charó-Alonso, M., Alonzo-Macias, M., & González-Chávez, M. M. 2007. Thermal and textural properties of organogels developed by candelilla wax in safflower oil. *Journal of the american oil chemists' society*. 84(11): 989–1000.
- United states department of agriculture (USDA). (2019). *Food Category: Fats and Oils*. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/?query=CANOLA%20OIL>
- Utrilla, M. C., García Ruiz, A., & Soriano, A. 2014. Effect of partial replacement of pork meat with an olive oil organogel on the physicochemical and sensory quality of dry-ripened venison sausages. *Meat science*. 97(4): 575–582.
- Villegas de Gante, A., Santos- Moreno, A. and Cervantes Escoto, F. 2016. *Los quesos mexicanos tradicionales*. Universidad autónoma de Chapingo. Primera edición. 297.
- Wolfer, T. L., Acevedo, N. C., Prusa, K. J., Sebranek, J. G., and Tarté, R. 2018. Replacement of pork fat in frankfurter-type sausages by soybean oil oleogels structured with rice bran wax. *Meat science*. 145: 352–362.
- Weiss, J., Decker, E. A., McClements, D. J., Kristbergsson, K., Helgason, T., and Awad, T. (2008). Solid lipid nanoparticles as delivery systems for bioactive food components. *Food biophysics*. 3(2): 146-154.
- Wright, A. J., Hartel, R. W., Narine, S. S., and Marangoni, A. G. 2000. Effect of minor components on milk fat crystallization. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 77(5): 463–475.
- Zetzl, A. K., Marangoni, A. G., and Barbut, S. 2012. Mechanical properties of ethylcellulose oleogels and their potential for saturated fat reduction in frankfurters †. *Food & function*. 3(3): 327–337.
- Zhang, X., Wan, J., Chen, K., and Wang, S. 2013. Controlled synthesis of spherical and cubic magnetite nanocrystal clusters. *Journal of crystal growth*. 372: 170-174.
- Zulim Botega, D. C., Marangoni, A. G., Smith, A. K., and Goff, H. D. 2013. Development of formulations and processes to incorporate wax oleogels in ice cream. *Journal of food science*. 78(12): 1845–1851.

10. ANEXOS

10.1. Gráfico de Viscosidad Inicial.

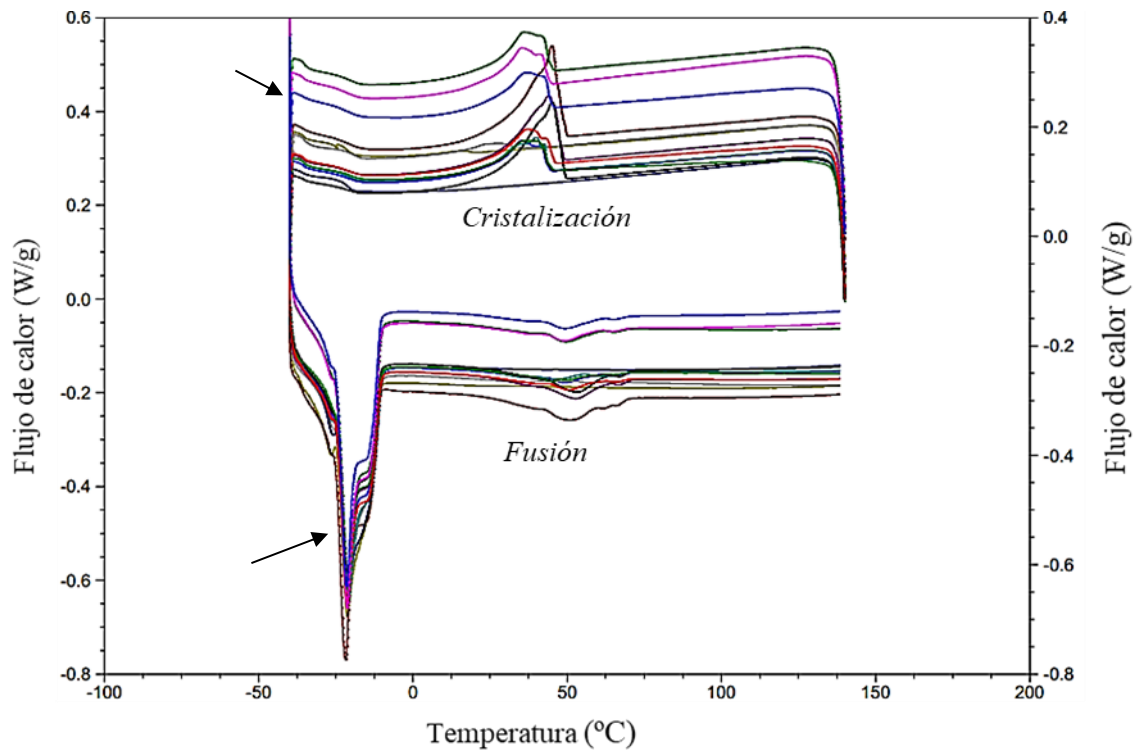


10.2. Gráfico de Viscosidad Compleja.



Puntos marcados con x en los gráficos denotan la lectura máxima de viscosidad (η^*_{Max}) para cada uno de los oleogel formulados.

10.3. Gráfico de Calorimetría Diferencias de Barrido en Oleogeles.



Comportamiento de fusión señalado con la leyenda de “Fusión”; Comportamiento de cristalización con la leyenda al inferior de “Cristalización”. (→) Señalan el comportamiento tanto de cristalización y fusión del aceite de canola.

10.4. Formato de análisis sensorial.

(LUZ ROJA)

ANÁLISIS SENSORIAL DE QUESO PANELA

Nombre: _____

Fecha: _____

Edad: _____ Sexo: _____

INSTRUCCIONES:

1. Consumir galleta y enjuagar con agua la boca para iniciar prueba.
2. Marque con una X la escala que le asigne a cada una de las muestras de acuerdo con la intensidad de percepción.
3. Antes de continuar con otra muestra oler café, probar galletas y agua.

Olor



Sabor



Textura



Sensación residual a grasa



Fracturabilidad



¿Su nivel de agrado es suficiente para comprar este queso en el mercado?

Sí: _____ No: _____

Observaciones/ Comentarios

¡Gracias por participar!

(LUZ BLANCA)

ANALISIS SENSORIAL DE QUESO PANELA

Nombre: _____

Fecha: _____

Edad: _____ Sexo: _____

INSTRUCCIONES:

1. Marque con una X la escala que le asigne a cada una de las muestras de acuerdo con la intensidad de percepción.

Color

Me disgusta extremadamente Me disgusta mucho Me disgusta poco Ni me gusta, ni me disgusta Me gusta poco Me gusta mucho Me gusta extremadamente

Apariencia general

Me disgusta extremadamente Me disgusta mucho Me disgusta poco Ni me gusta, ni me disgusta Me gusta poco Me gusta mucho Me gusta extremadamente

¿ Su nivel de agrado es suficiente para comprar este queso en el mercado?

Sí: _____ No: _____

Observaciones/ Comentarios

¡Gracias por participar!